

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



NGUYỄN QUANG XUÂN

**ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG HỆ THỐNG GHÉP KÊNH
QUANG THEO BƯỚC SÓNG ĐA TỐC ĐỘ ĐƯỜNG**

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT
(Theo định hướng ứng dụng)

HÀ NỘI - 2019

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



NGUYỄN QUANG XUÂN

**ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG HỆ THỐNG GHÉP KÊNH
QUANG THEO BƯỚC SÓNG ĐA TỐC ĐỘ ĐƯỜNG**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông

Mã số: 8.52.02.08

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: TS. VŨ TUẤN LÂM

HÀ NỘI - 2019

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi.

Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận văn

Nguyễn Quang Xuân

LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên, học viên xin gửi lời cảm ơn chân thành đến tất cả các thầy cô trong khoa Đào tạo và Sau đại học, Khoa Viễn thông 1 - Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông đã luôn nhiệt tình hướng dẫn, truyền đạt kiến thức trong suốt thời gian học tập tại trường, là nền tảng giúp học viên có thể thực hiện luận văn tốt nghiệp này.

Học viên xin chân thành cảm ơn TS. Vũ Tuấn Lâm, công tác tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, đã tận tình hướng dẫn học viên hoàn thành luận văn này.

Học viên xin chân thành cảm ơn các bạn bè đã sát cánh giúp học viên có được những kết quả như ngày hôm nay.

Đề tài nghiên cứu của luận văn có nội dung bao phủ rộng. Tuy nhiên, thời gian nghiên cứu còn hạn hẹp. Vì vậy, luận văn có thể có những thiếu sót. Học viên rất mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các thầy cô và các bạn.

Xin chân thành cảm ơn!

Tác giả luận văn

Nguyễn Quang Xuân

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN.....	ii
MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC CÁC THUẬT NGỮ, CHỮ VIẾT TẮT	v
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	vii
DANH MỤC HÌNH VẼ, SƠ ĐỒ.....	viii
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ WDM	2
1.1 Sự phát triển của công nghệ truyền tải quang.....	2
1.1.1 Lịch sử phát triển công nghệ truyền tải quang.....	3
1.1.2 Sợi quang	4
1.2. Hệ thống truyền thông quang WDM	11
1.2.1. Tổng quan hệ thống WDM	13
1.2.2 Công nghệ DWDM và CWDM.....	21
1.3 Kết luận chương 1.....	22
CHƯƠNG 2 HỆ THỐNG WDM ĐA TỐC ĐỘ ĐƯỜNG.....	23
2.1. Giới thiệu chung.....	23
2.1. Kiến trúc hệ thống WDM đa tốc độ đường	24
2.2. Các thành phần hệ thống.....	26
2.2.1. Nguồn quang Laser.....	26
2.2.2 Bộ tách và ghép kênh phân chia theo bước sóng quang.....	27
2.2.3 Phân tử chuyển đổi quang (OUT)	27
2.2.4 Bộ khuếch đại EDFA.....	28
2.2.5 Bộ giám sát kênh quang (OSC).....	29
2.3. Kỹ thuật điều chế trong hệ thống WDM đa tốc độ đường.....	29
2.4. Các yếu tố ảnh hưởng hiệu năng hệ thống WDM đa tốc độ đường.....	36
2.5. Ảnh hưởng hiệu ứng phi tuyến.....	39
2.6 Kết luận chương 2.....	41

CHƯƠNG 3 ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG HỆ THỐNG WDM ĐA TỐC ĐỘ ĐƯỜNG	42
3.1 Hệ thống WDM đa tốc độ đường	42
3.2 Mô hình hóa hệ thống WDM đa tốc độ đường 4 kênh	43
3.2.1 Công cụ mô phỏng Optisystem [7.0].....	43
3.2.2 Các thành phần hệ thống WDM đa tốc độ đường.....	44
3.3 Đánh giá hiệu năng hệ thống WDM đa tốc độ đường.....	46
3.3.1 Kênh cùng tốc độ.....	46
3.3.2 Kênh khác tốc độ	60
3.4 Kết luận chương 3.....	67
KẾT LUẬN.....	68
DANH MỤC CÁC TÀI LIỆU THAM KHẢO	69

DANH MỤC CÁC THUẬT NGỮ, CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Chế độ truyền tải không đồng bộ
AWGN	Additive white Gaussian noise	Nhiều Gaussian trắng
BER	Bit Error Rate	Tỷ lệ lỗi bit
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Điều chế khóa dịch pha nhị phân
CD	Chromatic Dispersion	Tán sắc màu
Coherent		Mô hình hệ thống truyền dẫn điều chế kết hợp
DCF	Dispersion Compensating Fiber	Sợi bù tán sắc
DCM	Dispersion Compensating Module	Mô đun bù tán sắc
DEMUX	Demultiplexer	Bộ tách tín hiệu
DP-QPSK	Dual-Polarization Quadrature Phase Shift Keying	Điều chế khóa dịch pha cầu phương, phân cực kép
DQPSK	Differential Quaternary Phase Shift Keying	Điều chế khóa dịch pha cầu phương vi phân
DSP	Digital Signal Processing	Bộ xử lý tín hiệu số
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia bước sóng theo mật độ
EDC	Electronic Dispersion Compensation	Bù tán sắc ở miền điện
EDFA	Erbium Doped Fibre Amplifier	Bộ khuếch đại sợi quang trộn Eribium
E-FEC	Enhanced Forward Error Correction	Sửa sai hướng đi mở rộng
FBG	Fiber Bragg Gratings	Sợi cách tử Bragg

FEC	Forward Error Correction	Sửa sai hướng đi
FWM	Four Wave Mixing	Trộn 4 bước sóng
G-FEC	Generic- Forward Error Correction	Sửa sai hướng đi nói chung
LD	Laser Diode	Điốt laser
LDPC	Low-Density Parity Check Codes	Mã kiểm tra chẵn lẻ - mật độ thấp
LO	Local Oscillator	Bộ dao động nội
MLR	Mixed Line Rate	Đa tốc độ đường
MUX	Multiplexer	Bộ ghép kênh
NCG	Net Coding Gain	Độ lợi mã hóa
NRZ	Non Return to Zero	Không trả về không
OBA	Optical Booster Amplifier	Khuyếch đại công suất
OEO	Optical to Electronic to Optical	Chuyển đổi quang – điện - quang
OLA	Optical Line Amplifier	Khuyếch đại bù suy hao đường truyền
OOK	On Off Keying	Khóa On - Off
OPA	Optical Pre-Amplifier	Tiền khuếch đại
OPLL	Optical Phase-Locked Loop	Vòng lặp khóa pha quang
SBS	Stimulated Brillouin Scattering	Tán xạ do kích thích Brillouin
SPM	Self Phase Modulation	Hiệu ứng tự điều pha
SPX	Cross Phase Modulation	Điều chế xuyên pha
SRS	Stimulated Raman Scattering	Tán xạ do kích thích Raman
TDM	Time Division Multiplexing	Ghép kênh theo thời gian
TDMA	Time Division Multiplexing Access	Đa truy nhập theo thời gian
TWDM	Time Wave Length Division Multiplexing	Ghép kênh theo thời gian và bước sóng
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Hệ thống ghép kênh theo bước sóng

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1: Sự phân chia các băng sóng.....	14
Bảng 2.1: Cụ ly bị hạn chế bởi tán sắc khi không có trạm lặp (trị số lý thuyết).....	38
Bảng 3.1: Bảng thiết bị đo, hiển thị dạng tín hiệu sử dụng trong phần mềm Optisystem [7.0]	46
Bảng 3.2: Thông số hệ thống	47
Bảng 3.3: Thông số hệ thống	54
Bảng 3.4: Thông số hệ thống	61

DANH MỤC HÌNH VẼ, SƠ ĐỒ

Hình 1.1: Các thành phần chính của tuyến truyền dẫn cáp sợi quang	3
Hình 1.2: Cấu trúc cơ bản của sợi quang	5
Hình 1.3: Cơ chế ánh sáng lan truyền trong sợi quang	6
Hình 1.4: Mô tả sợi đa mode chiết suất bậc	6
Hình 1.5: Mô tả sợi quang đơn mode chiết suất bậc	7
Hình 1.6: Miêu tả sợi quang chiết suất giảm dần	8
Hình 1.7: Sự tán sắc làm xung bị rộng ra	9
Hình 1.8: Nhiều liên ký tự	9
Hình 1.9: Mode truyền trong sợi quang	10
Hình 1.10: Sơ đồ hệ thống WDM	15
Hình 1.11: Sơ đồ truyền dẫn 2 chiều trên 2 sợi	17
Hình 1.12: Sơ đồ truyền dẫn 2 chiều trên cùng 1 sợi quang	18
Hình 2.1: Phân bổ băng tần và kênh phụ có sẵn để chia thành băng tần hệ thống WDM 10-40-100 Gbps	23
Hình 2.2: Sơ đồ hệ thống WDM đa tốc độ đường	24
Hình 2.3: Cấu trúc cơ bản hệ thống WDM đa tốc độ đường	26
Hình 2.4: Bộ tách/ ghép kênh quang	27
Hình 2.5: Bộ khuếch đại EDFA	28
Hình 2.6: Vị trí của bộ giám sát kênh quang OSC	29
Hình 2.7: Sơ đồ chòm sao biểu diễn 8-PSK	30
Hình 2.8: Sơ đồ chòm sao của BPSK	32
Hình 2.9: Sơ đồ chòm sao của QPSK với mã hóa Gray	33
Hình 2.10: Đồ thị mã hóa NRZ	35
Hình 2.11: Mã hóa NRZ-L và NRZ-I	35
Hình 2.12: Mã hóa tín hiệu RZ	36
Hình 3.1: Mô hình hệ thống WDM đa tốc độ đường 4 kênh	42
Hình 3.2: Giao diện phần mềm Optisystem	43
Hình 3.3: Khối phát tín hiệu	44

Hình 3.4: Khôi thu và hiển thị	44
Hình 3.5: Tuyến truyền quang	45
Hình 3.6: Bộ tách và ghép bước sóng 4 kênh	45
Hình 3.7: Sơ đồ mô phỏng hệ thống WDM 4 kênh tốc độ 10Gbps, cùng phương thức điều chế	48
Hình 3.8: Công suất tại nguồn phát và nguồn thu kênh 1 của hệ thống WDM tốc độ 10Gbps	49
Hình 3.9: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 1	49
Hình 3.10: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 2	50
Hình 3.11: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 3	50
Hình 3.12: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 4	51
Hình 3.13: Đo BER của 4 kênh trong hệ thống WDM tốc độ 10Gbps	51
Hình 3.14: Đồ thị phổ đầu vào (a) – ra (b) cho kênh 4	52
Hình 3. 15: Đồ thị BER theo độ dài tuyến quang	52
Hình 3.16: Quan hệ BER theo công suất phát quang	53
Hình 3.17: Sơ đồ hệ thống WDM đa tốc đường, đa phương thức điều chế	54
Hình 3.18: Công suất đầu ra tại bộ phát và đầu vào tại bộ thu kênh 1 của hệ thống WDM, đa phương thức điều chế	55
Hình 3.19: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 1	56
Hình 3.20: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 2	56
Hình 3.21: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 3	57
Hình 3.22: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 4	57
Hình 3.23: Đo BER của 4 kênh trong hệ thống WDM đa tốc độ đường	58
Hình 3.24: Đồ thị phổ đầu vào – ra cho kênh 4	58
Hình 3.25: Đồ thị BER theo độ dài tuyến truyền dẫn	59
Hình 3.26: Quan hệ BER theo công suất quang	60
Hình 3.27: Sơ đồ hệ thống WDM đa tốc độ đường (2.5-2.5-10-10Gbps)	61
Hình 3.28: Công suất đầu vào và ra hệ thống WDM đa tốc độ đường	62
Hình 3.29: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 1	63

Hình 3.30: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 2	63
Hình 3.31: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 3	64
Hình 3.32: Đồ thị mất đầu vào – ra cho kênh 4	64
Hình 3.33: Đo BER của 4 kênh trong hệ thống WDM đa tốc độ đường (2.5-2.5-10-10Gbps).....	65
Hình 3.34: Đồ thị phổ đầu vào – ra cho kênh 4(a) và 4(b).....	65
Hình 3.35: Đồ thị BER theo độ dài tuyến quang	66
Hình 3.36: Quan hệ BER theo công suất quang	67

MỞ ĐẦU

Hiện nay, hệ thống thông tin quang trở thành xương sống, cốt lõi của hạ tầng viễn thông. Nhất là công nghệ WDM đang được ứng dụng giúp tối ưu hóa hạ tầng đường trục đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về chất lượng và độ phủ rộng khắp thì việc triển khai hệ thống thông tin quang càng trở nên cấp thiết và không thể thiếu. Vì vậy việc sử dụng công nghệ WDM đa tốc độ đường đang trở thành xu hướng phát triển của công nghệ WDM trong tương lai. Công nghệ WDM cho phép tối ưu hạ tầng và sử dụng tối đa tài nguyên hệ thống.

Trong mạng quang đa tốc độ đường trong suốt, truyền dữ liệu được thực hiện trên các bước sóng khác nhau ở tỷ lệ tần số khác nhau trong cùng một sợi. Mạng quang đa tốc độ đường có tốc độ 10/40/100 Gb/s trên các kênh bước sóng khác nhau là một điều mới trong mô hình mạng trong suốt. Công nghệ WDM cũng cho thấy cải thiện tốc độ dữ liệu và chất lượng truyền tải. Từ đó tối ưu được tài nguyên truyền dẫn và tiết kiệm chi phí vận hành sử dụng và bảo dưỡng hệ thống sau này. Đây cũng là hướng đi mới mà nhiều nhà cung cấp trên thế giới chọn để triển khai phát triển và tối ưu hệ thống.

Nội dung luận văn này trình bày tổng quát về lịch sử truyền dẫn thông tin quang, sự phát triển của công nghệ WDM, hệ thống WDM đa tốc độ đường, đánh giá được hiệu năng của hệ thống WDM đa tốc độ đường có được những ưu điểm nhược điểm cũng như tiềm năng mà hệ thống WDM đa tốc độ đường mang lại.

Bố cục luận văn được chia thành 3 chương. Chương 1 là tổng quan công nghệ WDM, giới thiệu về lịch sử phát triển công nghệ quang, công nghệ WDM. Chương 2 là hệ thống WDM đa tốc độ đường, nói về kiến trúc, thành phần hệ thống, các phương pháp điều chế và giải điều chế, các yếu tố ảnh hưởng đến hệ thống WDM đa tốc độ đường. Chương 3 là mô hình mô phỏng hệ thống sử dụng công cụ hỗ trợ optisystem và đánh giá hiệu năng hệ thống WDM đa tốc độ đường.

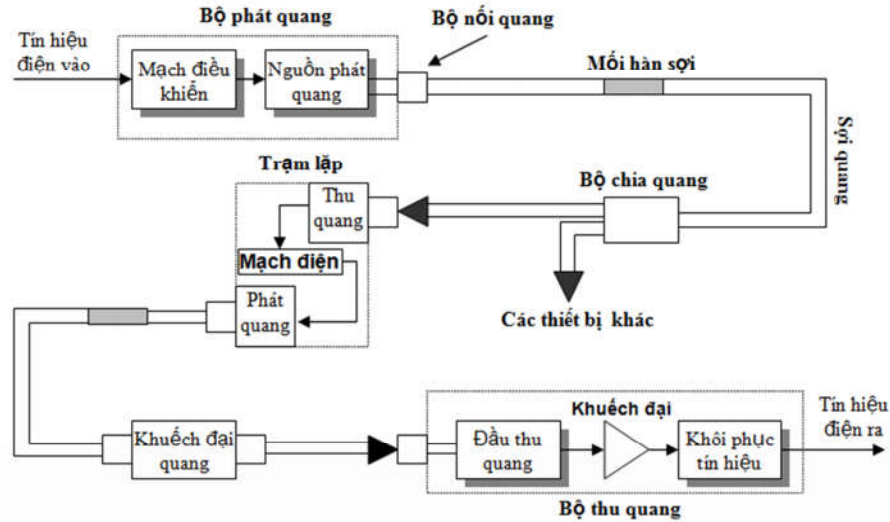
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ WDM

1.1 Sự phát triển của công nghệ truyền tải quang

Ngay từ xa xưa để thông tin cho nhau, con người đã biết sử dụng ánh sáng để báo hiệu. Qua thời gian dài của lịch sử phát triển nhân loại, các hình thức thông tin phong phú dần và ngày càng được phát triển thành những hệ thống thông tin hiện đại như ngày nay, tạo cho mọi nơi trên thế giới có thể liên lạc với nhau một cách thuận lợi và nhanh chóng. Cách đây 20 năm, từ khi các hệ thống thông tin cáp sợi quang được chính thức đưa vào khai thác trên mạng viễn thông, mọi người đều thừa nhận rằng phương thức truyền dẫn quang đã thể hiện khả năng to lớn trong việc chuyển tải các dịch vụ viễn thông ngày càng phong phú và hiện đại của nhân loại. Trong vòng 10 năm trở lại đây, cùng với sự tiến bộ vượt bậc của công nghệ điện tử - viễn thông, công nghệ quang sợi và thông tin quang đã có những tiến bộ vượt bậc. Các nhà sản xuất đã chế tạo ra những sợi quang đạt tới giá trị suy hao rất nhỏ, giá trị suy hao 0,154 dB/km tại bước sóng 1550 nm đã cho thấy sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ sợi quang trong hơn hai thập niên qua. Cùng với đó là sự tiến bộ lớn trong công nghệ chế tạo các nguồn phát quang và thu quang, để từ đó tạo ra các hệ thống thông tin quang với nhiều ưu điểm trội hơn so với các hệ thống thông tin cáp kim loại. Dưới đây là những ưu điểm nổi trội của môi trường truyền dẫn quang so với các môi trường truyền dẫn khác như: Suy hao truyền dẫn nhỏ, băng tần truyền rất lớn, không bị ảnh hưởng của nhiễu điện từ, có tính bảo mật tín hiệu thông tin cao, có kích thước và trọng lượng nhỏ, sợi có tính cách điện tốt, độ tin cậy cao và sợi quang được chế tạo từ vật liệu rất sẵn có...[1, 2]

Chính bởi các lý do trên mà hệ thống thông tin quang đã có sức hấp dẫn mạnh mẽ các nhà khai thác viễn thông. Các hệ thống thông tin quang không những chỉ phù hợp với các tuyến thông tin xuyên lục địa, tuyến đường trục, và tuyến trung kế mà còn có tiềm năng to lớn trong việc thực hiện các chức năng của mạng nội hạt

với cấu trúc tin cậy và đáp ứng mọi loại hình dịch vụ hiện tại và tương lai. Mô hình chung của một tuyến thông tin quang được mô tả như hình 1.1.



Hình 1.1: Các thành phần chính của tuyến truyền dẫn cáp sợi quang

1.1.1 Lịch sử phát triển công nghệ truyền tải quang

Với khởi đầu là sự phát triển thành công công nghệ laser và được tiếp nối bằng những tiến bộ trong công nghệ vật liệu và xử lý quang học, truyền tải quang trong mạng viễn thông đã sớm trở thành hiện thực từ những năm 1980. Trong hơn ba mươi năm vừa qua, công nghệ truyền tải quang đã được phát triển nhanh chóng, dung lượng truyền tải tăng lên hơn 10 ngàn lần. Quá trình phát triển của công nghệ truyền tải quang được chia thành ba thời kỳ (thế hệ) tương ứng với ba xu hướng tiến bộ công nghệ chính bao gồm:

- Thế hệ thứ nhất - Công nghệ ghép kênh theo thời gian TDM: được dựa trên kỹ thuật ghép kênh trong miền điện.
- Thế hệ thứ hai - Công nghệ khuếch đại quang kết hợp với công nghệ ghép kênh theo bước sóng quang WDM: đang được ứng dụng rộng khắp trong các mạng truyền tải
- Thế hệ thứ ba - Công nghệ coherent số: là công nghệ hiện mới trong quá trình nghiên cứu phát triển. Thế hệ truyền dẫn quang thứ nhất bắt đầu từ năm 1980 đến những năm đầu của thập kỷ 90. Trong giai đoạn này, ghép kênh theo thời gian

TDM là công nghệ truyền tải chính trong các hệ thống truyền dẫn sợi quang. Các hệ thống này, các thiết bị điện và quang tốc độ cao cũng như các bộ khuếch đại quang là chìa khóa để hiện thực các hệ thống truyền dẫn quang đường trục tốc độ cao. Các hệ thống này thực hiện ghép kênh TDM lên một bước sóng quang và có khả năng hỗ trợ truyền tải với dung lượng 10 Gbps [2].

Từ cuối những năm 1990 đến nay, những tiến bộ vượt bậc trong công nghệ truyền dẫn quang như công nghệ laser, công nghệ khuếch đại quang và đặc biệt là công nghệ ghép kênh theo bước sóng WDM đã góp phần tạo ra sự đột phá trong quá trình phát triển dung lượng của hệ thống truyền tải quang. Tương tự với kỹ thuật ghép kênh theo tần số trong miền tín hiệu điện, nguyên lý cơ bản của công nghệ WDM là thực hiện truyền đồng thời các tín hiệu quang thuộc nhiều bước sóng khác nhau trên cùng một sợi quang. Do đó, công nghệ WDM cho phép xây dựng những hệ thống truyền tải thông tin quang có dung lượng lớn hơn nhiều so với hệ thống thông tin quang đơn bước sóng. Không những thế, công nghệ WDM hiện nay còn có khả năng cho phép mỗi sợi quang mang đồng thời hàng trăm hoặc thậm chí hàng ngàn bước sóng (sử dụng DWDM hay ultra-DWDM) và mỗi bước sóng lại có thể truyền dẫn với tốc độ rất cao. Hệ thống truyền dẫn WDM mới nhất với 40 bước sóng ở tốc độ 40 Gbps/bước sóng đã bắt đầu được triển khai trong một số mạng lõi, và dung lượng truyền dẫn tổng đạt đến 1.6 Tbps. Công nghệ truyền dẫn WDM hiện đang là và trong tương lai gần vẫn sẽ là công nghệ truyền dẫn nền tảng cho mạng toàn quang [1].

Tuy nhiên, để bắt kịp với sự phát triển nhanh chóng của lưu lượng truyền tải trong tương lai, các công nghệ mới hỗ trợ các hệ thống truyền tải quang 10 Tbit/s dựa trên tốc độ 100 Gbps/kênh đang được hướng đến. Một trong các công nghệ ứng cử viên hấp dẫn cho các hệ thống WDM tốc độ truyền dẫn nối tiếp 100 Gbps là truyền dẫn coherent số quang trong đó kết hợp tách quang coherent và xử lý tín hiệu số quang.

1.1.2 Sợi quang

a. Suy hao trên sợi quang

Suy hao trong hệ thống được biểu diễn như sau:

$$Loss = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1.1)$$

Trong đó, P_{in} là công suất đi vào sợi cáp và P_{out} là công suất cho phép ở đầu ra của sợi cáp quang. Để thuận tiện, suy hao sợi quang thường được biểu diễn dưới dạng decibels (dB) và được tính như sau:

$$Loss_{dB} = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1.2)$$

Suy hao trong sợi quang cũng được biểu diễn là (dB/km), tức là suy hao trung bình trong sợi quang dài 1 kilomet. Công suất quang trong các hệ thống sợi quang thường được biểu diễn là dBm, đó là do decibel được quy vào 1mW. Với công suất quang được biểu diễn là dBm, công suất lối ra mọi nơi trong hệ thống có thể được xác định đơn giản bởi biểu diễn công suất lối vào là dBm và trừ đi các thành phần suy hao riêng lẻ cũng được biểu diễn là dBm.

Các nguyên nhân chính gây ra suy hao trong sợi quang là: Do hấp thụ bởi vật liệu hay tạp chất cấu tạo nên sợi quang, tán xạ tuyến tính và do bị uốn cong.

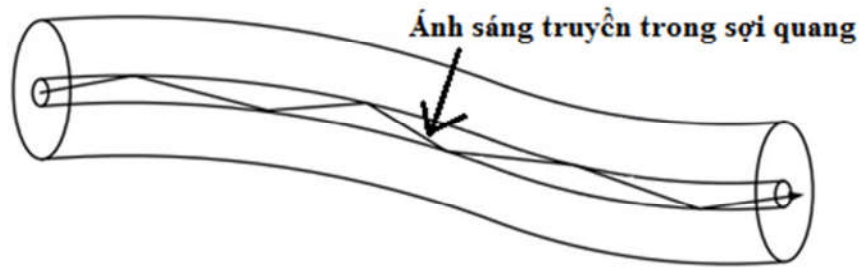
b. Cấu tạo cơ bản của sợi quang

Ứng dụng hiện tượng vật lý phản xạ toàn phần, sợi quang được chế tạo cơ bản gồm có 2 lớp như sau: Cấu trúc tổng quát được minh họa trong hình 1.2.



Hình 1.2: Cấu trúc cơ bản của sợi quang

- Lớp trong cùng (lớp lõi) có dạng hình trụ tròn, có đường kính $d = 2a$, làm bằng thủy tinh có chiết suất n_1 được gọi là lõi sợi (core)
- Lớp thứ 2 cũng có dạng hình trụ bao quanh lõi nên được gọi là lớp vỏ bọc (cladding) có đường kính $D = 2b$, làm bằng thủy tinh hoặc nhựa plastic, có chiết suất $n_2 < n_1$.



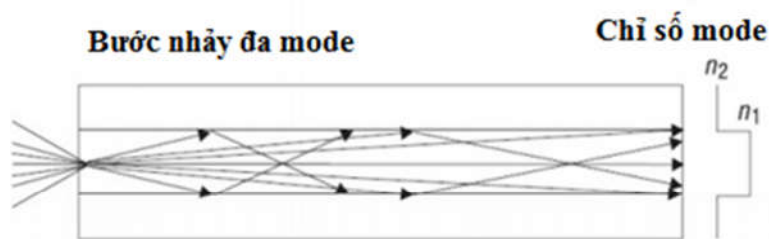
Hình 1.3: Cơ chế ánh sáng lan truyền trong sợi quang

Ánh sáng truyền từ đầu này đến đầu kia của sợi quang bằng cách phản xạ toàn phần tại mặt ngăn cách giữa lõi và lớp vỏ bọc, và được định hướng trong lõi. Hình 1.3 minh họa cơ chế ánh sáng lan truyền trong sợi quang.

c. Các loại sợi quang

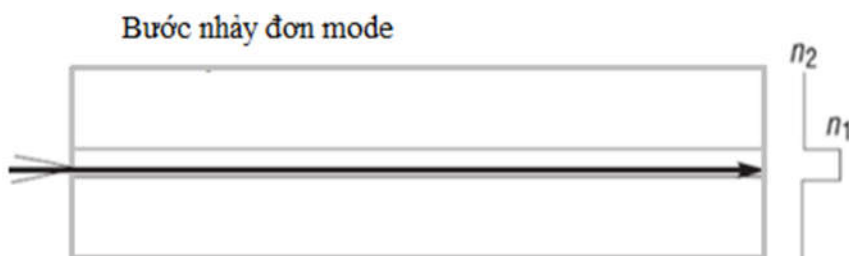
Có 3 loại cáp sợi quang cơ bản được sử dụng trong hệ thống thông tin quang:

✓ **Sợi đa mode chiết suất bậc:** Sợi đa mode chiết suất bậc có chiết suất khúc xạ biến đổi từ thấp - cao - thấp khi được tính từ lớp vỏ (cladding) – lõi (core) – vỏ (cladding) (Hình 1.4). Thuật ngữ “đa mode” nói lên thực tế rằng có nhiều mode làm việc trong sợi quang. Sợi đa mode chiết suất bậc được sử dụng trong các ứng dụng yêu cầu tốc độ bit thấp và băng rộng (< 1GHz) trên khoảng cách ngắn (<3 km) như là mạng nội bộ (LAN) hoặc 1 mạng đường trục cỡ nhỏ.



Hình 1.4: Mô tả sợi đa mode chiết suất bậc

✓ **Sợi đơn mode chiết suất bậc:** Được mô hình trong hình 1.5.



Hình 1.5: Mô tả sợi quang đơn mode chiết suất bậc

Sợi đơn mode chiết suất bậc cho phép chỉ một đường, hoặc mode cho ánh sáng đi qua sợi quang, được minh họa trong hình 1.4. Trong sợi đa mode chiết suất bậc, số mode M_n truyền có thể được tính xấp xỉ là:

$$M_n = \frac{V^2}{2} \quad (1.3)$$

Ở đây V được hiểu là tần số, hay V-number, liên quan đến kích thước sợi quang, chỉ số khúc xạ, và bước sóng. V-number được cho bởi phương trình sau:

$$V = \left[\frac{2\pi a}{\lambda} \right] \times N.A.; \quad (1.4)$$

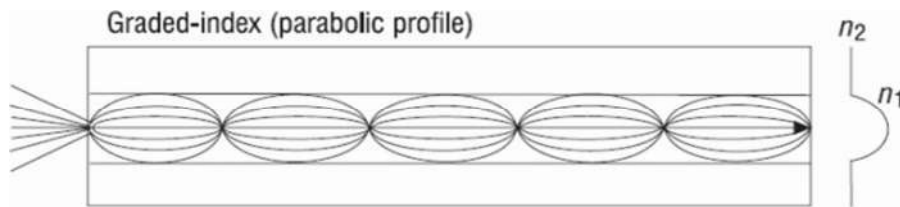
$$N.A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta}; \quad (1.5)$$

Trong phương trình trên, a là bán kính lõi sợi quang, λ là bước sóng làm việc, N.A là khẩu độ số, n_1 là chiết suất lõi, n_2 là chiết suất lớp vỏ và Δ là chênh lệch chỉ số khúc xạ giữa lõi và vỏ.

Các sợi đơn mode được sử dụng trong các ứng dụng mà trong đó yêu cầu suy hao tín hiệu thấp và yêu cầu tốc độ dữ liệu cao, như là trong các tuyến đường dài mà ở đó khoảng cách lặp hay là khuếch đại đạt được tối đa. Bởi vì sợi đơn mode cho phép chỉ một mode hay tia sáng để truyền (mode bậc thấp nhất), nó không bị tán sắc mode giống như sợi đa mode và vì thế có thể được sử dụng cho các ứng dụng băng rộng cao hơn. Tuy nhiên, thông thường sợi đơn mode không bị ảnh hưởng bởi sự tán sắc mode, ở tốc độ dữ liệu cao hơn sự tán sắc màu có thể giới hạn hiệu năng của đường truyền. Hạn chế chính của sợi đơn mode là tương đối khó

khăn để làm việc vì kích thước lõi của nó nhỏ. Sợi đơn mode được sử dụng chỉ với nguồn phát laser.

✓ **Sợi chiết suất giảm dần:** Sợi chiết suất giảm dần là một sự ràng buộc giữa thông số độ rộng lõi và khẩu độ số N.A của sợi đa mode và băng rộng cao hơn của sợi đơn mode (Hình 1.6). Với sự tạo thành của lõi mà chiết suất khúc xạ giảm xuống theo hình parabol từ trung tâm lõi đến vỏ, ánh sáng truyền qua trung tâm của sợi có chỉ số chiết suất cao hơn ánh sáng truyền trong các mode cao. Điều này nghĩa là các mode cao truyền nhanh hơn các mode thấp hơn, nó cho phép “rượt theo” tới các mode thấp, vì thế làm giảm số lượng của sự tán sắc mode, tức là làm tăng băng thông của sợi quang



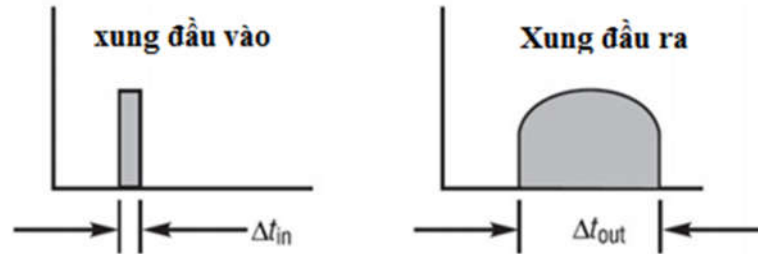
Hình 1.6: Miêu tả sợi quang chiết suất giảm dần

d. Sự tán sắc

Trong quang học, sự tán sắc là hiện tượng mà vận tốc pha của sóng ánh sáng phụ thuộc vào tần số của nó hoặc là khi vận tốc nhóm phụ thuộc vào tần số. Phương tiện truyền thông tin có một thuộc tính là thông số tán sắc, và gây ra nhiều ảnh hưởng khác nhau. Sự tán sắc đôi khi được gọi là sự tán sắc màu để nhấn mạnh tính chất phụ thuộc bước sóng của nó hoặc sự tán sắc vận tốc nhóm của nó để ám chỉ quy luật vận tốc nhóm. Sự tán sắc hầu như thường được miêu tả cho các sóng ánh sáng, nhưng nó có thể xảy ra cho nhiều loại sóng mà tương tác với môi trường hay truyền xuyên qua một môi trường từ tính không đồng đều, như là các sóng âm thanh. Sự tán sắc vật liệu được đo bởi số Abbe của nó V , với các số Abbe thấp tương ứng với sự tán sắc mạnh.

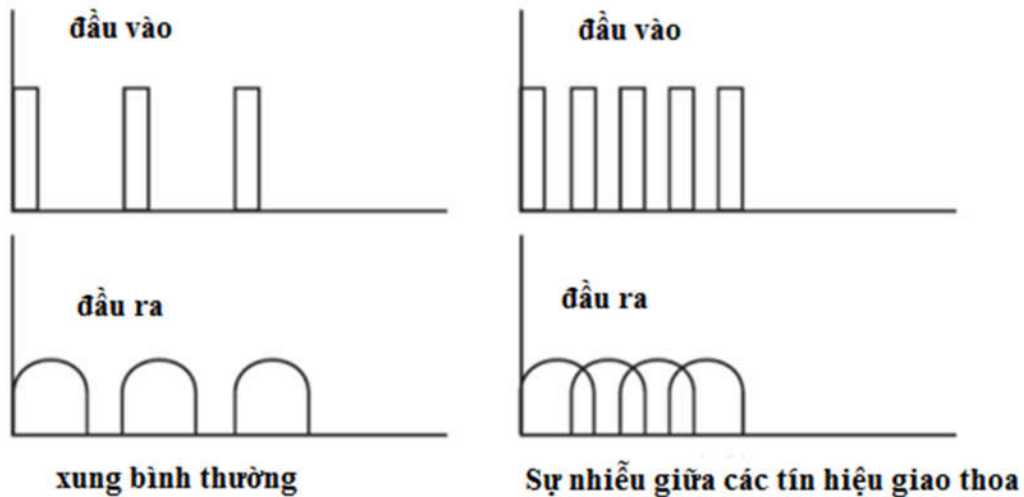
Sự tán sắc, được biểu thị bởi số hạng t , được định nghĩa như dải rộng xung trong sợi quang. Khi một xung ánh sáng truyền qua sợi quang, các yếu tố như là khẩu độ số, đường kính lõi, chỉ số khúc xạ, bước sóng và độ rộng tia laser là nguyên

nhân gây ra xung bị rộng ra (Hình 1.7). Sự tán sắc ảnh hưởng tới năng lực của hệ thống thông tin sợi quang được hiểu như là “nhiều liên ký tự – intersymbol interference”, Hình 1.8.



Hình 1.7: Sự tán sắc làm xung bị rộng ra

Nhiều liên ký tự xảy ra khi xung bị rộng ra do nguyên nhân bởi sự tán sắc làm cho các xung ở đầu ra của hệ thống bị chồng lên nhau nên không thể nhận dạng được các xung này. Nếu một xung đầu bị trải rộng ra mà khi thay đổi tốc độ của đầu vào vượt quá giới hạn sự tán sắc của sợi quang, dữ liệu đầu ra sẽ không thể nhận dạng được.



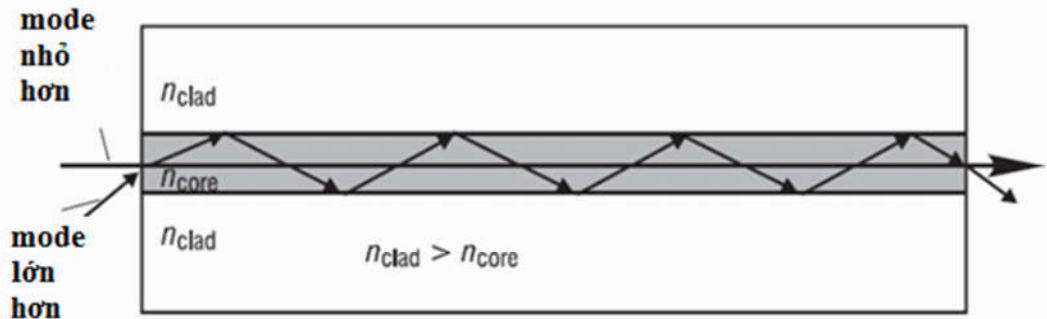
Hình 1.8: Nhiều liên ký tự

e. Các loại tán sắc

Sự tán sắc được chia thành 2 loại: tán sắc mode và tán sắc màu

✓ **Tán sắc mode:** Tán sắc mode được định nghĩa là khi xung trải rộng ra do thời gian trễ giữa các mode bậc thấp hơn và các mode cao hơn. Tán sắc mode khó khắc phục

trong sợi quang đa mode, là nguyên nhân băng thông bị giới hạn nhưng nó không phải là vấn đề trong sợi quang đơn mode ở đó chỉ một mode cho phép truyền đi (Hình 1.9).



Hình 1.9: Mode truyền trong sợi quang

✓ **Tán sắc màu:** Tán sắc màu là xung bị trải rộng ra do thực tế các bước sóng khác nhau của ánh sáng truyền ở các vận tốc ánh sáng khác nhau qua sợi quang. Tất cả các nguồn sáng, laser có độ rộng tia hạn chế. Bởi vì chiết suất khúc xạ của sợi thủy tinh phụ thuộc vào bước sóng, các bước sóng khác nhau truyền ở vận tốc khác nhau.

Tán sắc màu gồm có 2 phần: tán sắc vật liệu và tán sắc ống dẫn

$$\Delta t_{\text{tansao}} = \Delta t_{\text{vật liệu}} + \Delta t_{\text{ống dẫn}} \quad (1.6)$$

Tán sắc vật liệu có bước sóng phụ thuộc vào chiết suất khúc xạ của thủy tinh. Tán sắc vật liệu và tán sắc ống dẫn có thể có dấu ngược lại tùy thuộc vào bước sóng truyền dẫn. Trong trường hợp sợi quang đơn mode chiết suất bậc, hai loại tán sắc này triệt tiêu lẫn nhau ở bước sóng 1310nm, gọi là không tán sắc. Điều này cho phép truyền thông tin băng thông rất cao ở bước sóng 1310nm. Tuy nhiên, mặt hạn chế là mặc dù tán sắc tối thiểu ở 1310nm, còn suy hao thì không. Sợi thủy tinh có suy hao tối thiểu ở 1550nm. Kết hợp với thực tế các bộ khuếch đại quang trộn erbium hoạt động ở dải bước sóng 1550nm, nếu thuộc tính tán sắc không của 1310 nm được dịch trùng với cửa sổ truyền dẫn 1550 nm, thông tin băng rộng đường dài sẽ khả thi. Với ý tưởng này, các sợi dịch chuyển vùng tán sắc không đã được phát triển. Khi để ý đến tán sắc tổng từ nhiều nguyên nhân khác nhau, chúng ta có thể tính gần đúng tán sắc tổng bởi:

$$\Delta t_{total} = \left[(\Delta t_1)^2 + (\Delta t_2)^2 + \dots + (\Delta t_n)^2 \right]^{1/2} \quad (1.7)$$

Ở đây, t_n biểu thị cho tán sắc do các thành phần khác nhau trong hệ thống. Dung lượng truyền dẫn của sợi quang thường được biểu diễn dưới dạng (‘băng thông’ x ‘khoảng cách’). Băng thông gần đúng của sợi quang có thể liên quan tới tán sắc tổng theo quan hệ sau:

$$BW = 0.35 / \Delta t_{total} \quad (1.8)$$

1.2. Hệ thống truyền thông quang WDM

Từ sự phát triển không ngừng của các dịch vụ tốc độ cao, băng thông rộng trong thời đại thông tin hiện nay, hệ thống thông tin sợi quang là một hệ thống (với những đặc tính nổi trội như: dung lượng lớn, chất lượng tín hiệu tốt, suy hao nhỏ, khả năng đảm bảo an ninh tín hiệu hoàn hảo và khoảng cách truyền dẫn lớn) được mong đợi đáp ứng nhu cầu truyền thông các dịch vụ băng rộng. Một công nghệ không thể thiếu trong hệ thống truyền thông quang đó là công nghệ ghép kênh quang, sử dụng đặc tính dung lượng lớn, băng thông rộng của sợi quang để truyền dẫn đồng thời nhiều kênh tín hiệu trên một sợi quang [1].

Công nghệ ghép kênh quang đã trải qua 3 giai đoạn phát triển:

- Ghép kênh phân chia theo không gian (SDM)
- Ghép kênh phân chia theo thời gian (TDM)
- Ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM)

Công nghệ SDM có thiết kế đơn giản và đặc tính thực tiễn, nhưng SDM yêu cầu số lượng sợi truyền dẫn cần phải phù hợp với số lượng tín hiệu ghép kênh, điều này gây khó khăn trong việc nâng cấp hệ thống và ích lợi đầu tư thấp. Công nghệ TDM được ứng dụng rộng rãi, đây là công nghệ ghép kênh cơ bản của hệ thống truyền thông PDH, SDH, ATM và IP, nhưng khả năng sử dụng đường truyền quang của công nghệ này vẫn còn rất thấp, chưa khai thác được hết tài nguyên băng rộng của sợi quang [2].

Công nghệ mạng quang đã trở thành nhân tố quan trọng trong sự phát triển của mạng viễn thông. Yêu cầu băng tần sử dụng lớn là hệ quả tất yếu của nhu cầu

truyền thông dữ liệu ngày nay. Trong hai thập kỷ qua, công nghệ truyền tải quang WDM đã có sự phát triển vượt bậc. Sự phát triển này có được là nhờ công nghệ chế tạo linh kiện quang. Những thành tựu của công nghệ này đã góp phần tạo nên hệ thống WDM dung lượng lớn như ngày nay. Theo thời gian, xuất phát từ những nhu cầu thực tế, các hệ thống WDM ngày càng trở nên phức tạp. Ở một góc độ nào, sự phức tạp trong hệ thống WDM là trong những chức năng của thiết bị. Nhờ có chức năng này mà cấu hình hệ thống WDM chuyển từ đơn giản như cấu hình điểm- điểm sang cấu hình phức tạp như Ring và Mesh.

Các hệ thống WDM đầu tiên xuất hiện từ cuối những năm 1980 sử dụng hai kênh bước sóng trong các vùng 1310nm và 1550nm và thường được gọi là hệ thống WDM băng rộng. Đầu những năm 1990 xuất hiện các hệ thống WDM thể hệ hai sử dụng các phần tử WDM thụ động, được gọi là hệ thống WDM băng hẹp từ 2 đến 8 kênh. Các kênh này nằm trong cửa sổ 1550nm và với khoảng cách kênh 400GHz. Đến giữa những năm 1990 đã có hệ thống WDM mật độ cao (DWDM) sử dụng từ 16 đến 40 kênh với khoảng cách kênh từ 100 đến 200 GHz. Các hệ thống này đã tích hợp các chức năng xen rẽ và quản lý mạng. Các hệ thống WDM ban đầu sử dụng với khoảng cách kênh lớn. Việc lắp đặt hệ thống WDM chi phối bởi những lý do kinh tế. Việc nâng cấp thiết bị đầu cuối để khai thác các năng lực của WDM có chi phí thấp hơn việc lắp đặt cáp sợi quang mới. Sự xuất hiện bộ khuếch đại quang EDFA đã chuyển hầu hết các hệ thống WDM sang cửa sổ 1530 nm đến 1565nm. Các hệ thống WDM mới lắp đặt gần đây đã sử dụng các kênh quang có khoảng cách giữa các kênh hẹp từ 25 GHz đến 50 GHz. Nhu cầu về băng tần mạng đang tăng gần 100%/một năm sẽ tiếp tục gia tăng ít nhất là trong vài chục năm tiếp theo. Việc giảm giá thành của các nhà cung cấp và trên hết là ứng dụng phổ cập của Internet đòi hỏi băng tần lớn sẽ được tiếp tục đẩy mạnh [1, 2].

Các giải pháp thực tế đối với các vấn đề giới hạn ảnh hưởng của tán sắc mode phân cực, hiệu ứng phi tuyến, sẽ làm tăng cả số lượng kênh và tốc độ bit của hệ thống WDM. Số lượng các kênh tăng đòi hỏi yêu cầu khắt khe hơn đối với độ ổn định của laser, độ chính xác của bộ lọc và vấn đề liên quan đến quản lý tán sắc,

hiệu ứng phi tuyến... Mạng tiến dần tới mô hình toàn quang, do đó sẽ xuất hiện các hệ thống thiết bị quang mới có khả năng thực hiện các chức năng mà các thiết bị điện tử đang đảm nhận. Việc loại bỏ các yêu cầu khôi phục và tái tạo lưu lượng qua thiết bị điện tử làm giảm đáng kể tính phức tạp phần cứng của mạng, nhưng sẽ làm tăng các hiệu ứng quang khác. Mặc dù trên khía cạnh nào đó các kỹ thuật WDM mật độ cao sẽ đạt tới giới hạn của nó. Sự truyền dẫn của vài trăm kênh trên một sợi quang cũng đã được kiểm chứng. Nhờ có sự phát triển của công nghệ WDM, trong tương lai không xa sẽ xuất hiện các dịch vụ thông tin quang giá thành thấp tốc độ cao.

1.2.1. Tổng quan hệ thống WDM

a. Giới thiệu nguyên lý ghép kênh quang theo bước sóng

✓ ***Truyền dẫn ghép phân chia theo bước sóng (WDM):*** Ghép thêm nhiều bước sóng để có thể truyền trên một sợi quang, không cần tăng tốc độ truyền dẫn trên một bước sóng. Công nghệ WDM có thể mang đến giải pháp hoàn thiện nhất trong điều kiện công nghệ hiện tại. Thứ nhất nó vẫn giữ tốc độ xử lý của các linh kiện điện tử ở mức 10 Gbps, bảo đảm thích hợp với sợi quang hiện tại. Thay vào đó, công nghệ WDM tăng băng thông bằng cách tận dụng cửa sổ làm việc của sợi quang trong khoảng bước sóng 1260 nm đến 1675 nm. Khoảng bước sóng này được chia làm nhiều băng sóng hoạt động như minh họa trên bảng. Ban đầu, hệ thống WDM hoạt động ở băng C (do EDFA hoạt động trong khoảng băng sóng này). Về sau, EDFA có khả năng hoạt động ở cả băng C và băng L nên hệ thống WDM hiện tại dùng EDFA có thể hoạt động ở cả băng C và băng L. Nếu theo chuẩn ITU-T, xét khoảng cách giữa các kênh bước sóng là 100 GHz (đảm bảo khả năng chống xuyên nhiễu kênh trong điều kiện công nghệ hiện tại), sẽ có 32 kênh bước sóng hoạt động trên mỗi băng. Như vậy, nếu vẫn giữ nguyên tốc độ bit trên mỗi kênh truyền, dùng công nghệ WDM cũng đủ làm tăng băng thông truyền trên một sợi quang lên 64 lần .

Bảng 1.1: Sự phân chia các băng sóng

Băng sóng	Mô tả	Phạm vi bước sóng (nm)
Băng O	Original	1260 đến 1360
Băng E	Extended	1360 đến 1460
Băng S	Short	1460 đến 1530
Băng C	Conventional	1530 đến 1565
Băng L	Long	1565 đến 1625
Băng U	Ultra-long	1625 đến 1675

Đặc điểm nổi bật của hệ thống ghép kênh theo bước sóng quang (WDM) là tận dụng hữu hiệu nguồn tài nguyên băng rộng trong khu vực tổn hao thấp của sợi quang đơn mode, nâng cao rõ rệt dung lượng truyền dẫn của hệ thống đồng thời hạ giá thành của kênh dịch vụ xuống mức thấp nhất. Ở đây việc thực hiện ghép kênh sẽ không có quá trình biến đổi điện nào. Mục tiêu của ghép kênh quang là nhằm để tăng dung lượng truyền dẫn. Ngoài ý nghĩa đó việc ghép kênh quang còn tạo ra khả năng xây dựng các tuyến thông tin quang có tốc độ rất cao. Khi tốc độ đường truyền đạt tới một mức độ nào đó người ta đã thấy được những hạn chế của các mạch điện trong việc nâng cao tốc độ truyền dẫn. Khi tốc độ đạt tới hàng trăm Gbit/s, bản thân các mạch điện tử sẽ không thể đảm bảo đáp ứng được xung tín hiệu cực kỳ hẹp; thêm vào đó, chi phí cho các giải pháp trở nên tốn kém và cơ cấu hoạt động quá phức tạp đòi hỏi công nghệ rất cao. Kỹ thuật ghép kênh quang theo bước sóng ra đời đã khắc phục được những hạn chế trên [2].

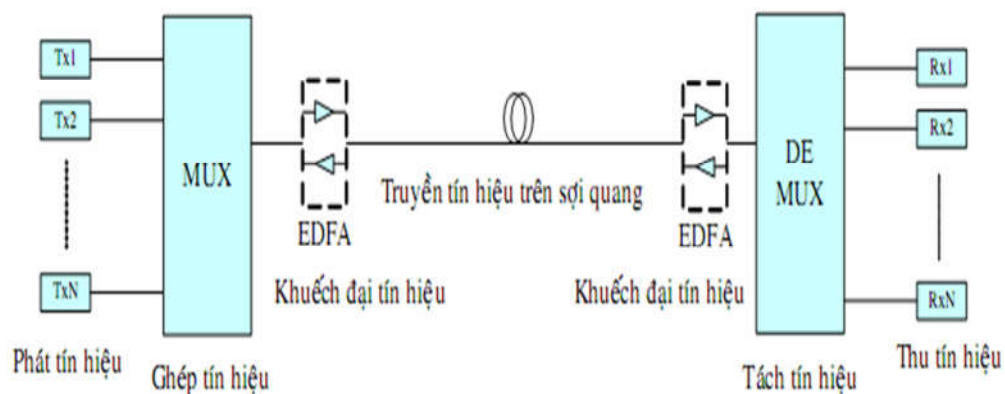
Hệ thống WDM dựa trên cơ sở tiềm năng băng tần của sợi quang để mang đi nhiều bước sóng ánh sáng khác nhau, điều thiết yếu là việc truyền đồng thời nhiều bước sóng cùng một lúc này không gây nhiễu lẫn nhau. Mỗi bước sóng đại diện cho một kênh quang trong sợi quang. Công nghệ WDM phát triển theo xu hướng mà sự riêng rẽ bước sóng của kênh có thể là một phần rất nhỏ của 1 nm hay 10^{-9} m, điều này dẫn đến các hệ thống ghép kênh theo bước sóng mật độ cao (DWDM). Các thành phần thiết bị trước kia chỉ có khả năng xử lý từ 4 đến 16 kênh, mỗi kênh hỗ

trợ luồng dữ liệu đồng bộ tốc độ 2,5 Gbit/s cho tín hiệu mạng quang phân cấp số đồng bộ (SDH/SONET). Các nhà cung cấp DWDM đã sớm phát triển các thiết bị nhằm hỗ trợ cho việc truyền nhiều hơn các kênh quang. Các hệ thống với hàng trăm kênh giờ đây đã sẵn sàng được đưa vào sử dụng, cung cấp một tốc độ dữ liệu kết hợp hàng trăm Gbit/s và tiến tới đạt tốc độ Tbit/s truyền trên một sợi đơn [2].

✓ **Đặc điểm của hệ thống WDM:** Công nghệ ghép kênh quang theo bước sóng có những ưu điểm vượt trội như tăng số lần băng thông truyền trên sợi quang tương ứng với bước sóng ghép vào để truyền trên sợi quang, tính trong suốt của công nghệ WDM nên nó có thể hỗ trợ các định dạng số liệu và thoại như: ATM, Gigabit Ethernet, ESCON, chuyển mạch kênh, IP ... Cũng như khả năng mở rộng của công nghệ WDM hứa hẹn tăng băng thông truyền trên sợi quang lên đến hàng Tbps, đáp ứng nhu cầu mở rộng mạng ở nhiều cấp độ khác nhau.

Tuy vậy công nghệ WDM vẫn tồn tại những nhược điểm như: Vẫn chưa khai thác hết băng tần hoạt động có thể của sợi quang (chỉ mới tận dụng được băng C và băng L). Quá trình khai thác, bảo dưỡng phức tạp hơn gấp nhiều lần. Nếu hệ thống sợi quang đang sử dụng là sợi DSF theo chuẩn G.653 thì rất khó triển khai WDM vì xuất hiện hiện tượng trộn bốn bước sóng khá gay gắt.

b. Mô hình hệ thống WDM



Hình 1.10: Sơ đồ hệ thống WDM

✓ **Phát tín hiệu:** hệ thống WDM sử dụng nguồn phát quang là laser. Hiện nay, đã có một số loại nguồn phát như: laser điều chỉnh được bước sóng (tunable laser),

laser đa bước sóng (multiwavelength laser)... Yêu cầu đối với nguồn phát laser là phải có độ rộng phổ hẹp, bước sóng phát ổn định, mức công suất phát đỉnh, bước sóng trung tâm, độ rộng phổ, độ rộng chirp phải nằm trong giới hạn cho phép.

✓ **Ghép/tách tín hiệu:** ghép tín hiệu WDM là sự kết hợp một số nguồn sáng khác nhau thành một luồng tín hiệu ánh sáng tổng hợp để truyền dẫn qua sợi quang. Tách tín hiệu WDM là sự phân chia luồng ánh sáng tổng hợp đó thành các tín hiệu ánh sáng riêng lẻ tại mỗi cổng đầu ra của bộ tách. Hiện nay, đã có các bộ tách/ghép tín hiệu WDM như: bộ lọc màng mỏng điện môi, cách tử Bragg sợi, cách tử nhiễu xạ, linh kiện quang tổ hợp AWG, bộ lọc Fabry-Perot... Khi xét đến các bộ ghép/tách WDM, cần phải quan tâm đến các tham số như: khoảng cách giữa các kênh bước sóng, độ rộng băng tần của mỗi kênh, bước sóng trung tâm của kênh, mức xuyên âm giữa các kênh, tính đồng đều của kênh, suy hao xen, suy hao phản xạ Bragg, xuyên âm đầu gần - đầu xa.

✓ **Truyền dẫn tín hiệu:** quá trình truyền dẫn tín hiệu trong sợi quang chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố: Suy hao sợi quang, tán sắc, các hiệu ứng phi tuyến, các vấn đề liên quan đến khuếch đại tín hiệu... Mỗi vấn đề kể trên đều phụ thuộc rất nhiều vào các đặc tính của sợi quang (loại sợi quang, chất lượng sợi...).

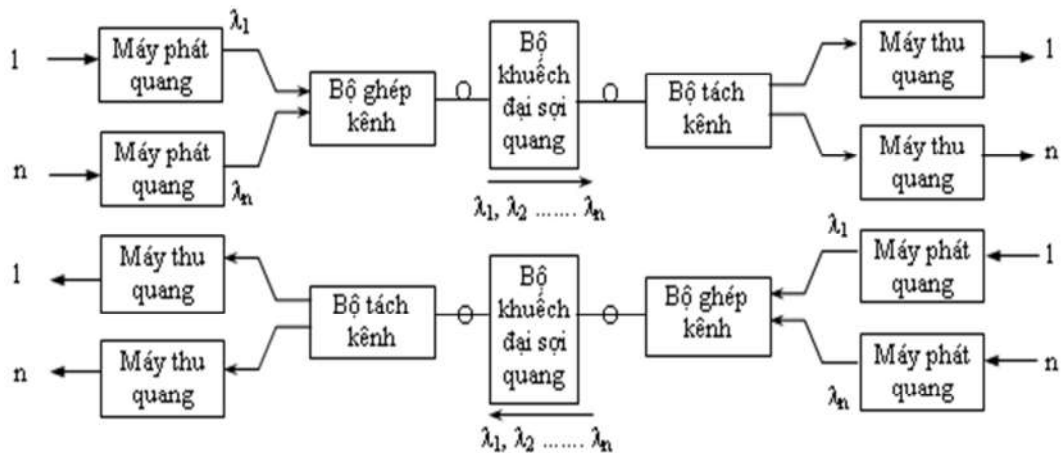
✓ **Khuếch đại tín hiệu:** Hệ thống WDM hiện tại chủ yếu sử dụng bộ khuếch đại quang sợi EDFA. Có 3 chế độ khuếch đại: khuếch đại công suất, khuếch đại đường và tiền khuếch đại. Khi dùng bộ khuếch đại EDFA cho hệ thống WDM phải đảm bảo các yêu cầu sau:

- Hệ số khuếch đại đồng đều đối với tất cả các kênh bước sóng (mức chênh lệch không quá 1 dB).
- Sự thay đổi số lượng kênh bước sóng làm việc không làm ảnh hưởng đến mức công suất đầu ra của các kênh.
- Có khả năng phát hiện sự chênh lệch mức công suất đầu vào để điều chỉnh lại các hệ số khuếch đại nhằm đảm bảo đặc tuyến khuếch đại bằng phẳng đối với tất cả các kênh.

✓ **Thu tín hiệu:** để thu tín hiệu, các hệ thống WDM cũng sử dụng các loại bộ tách sóng quang như trong hệ thống thông tin quang thông thường: PIN, APD.

c. Phân loại hệ thống truyền dẫn trong hệ thống WDM

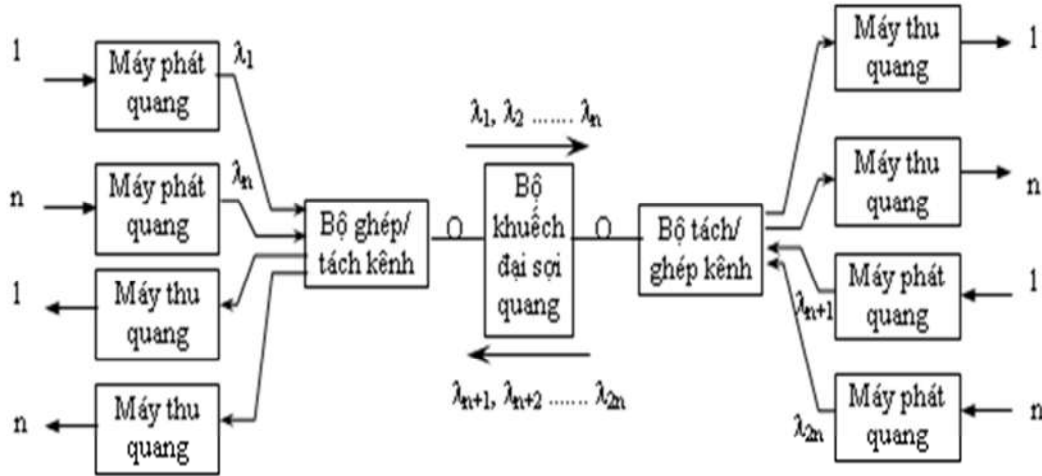
✓ **Hệ thống ghép bước sóng một hướng:** Hệ thống WDM truyền dẫn 2 chiều trên hai sợi là: tất cả kênh quang cùng trên một sợi quang truyền dẫn theo cùng một chiều (như Hình 1.11), ở đầu phát các tín hiệu có cùng các bước sóng quang tín hiệu khác nhau và đã được điều chế $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ thông qua bộ ghép kênh tổ hợp lại với nhau, và truyền dẫn một chiều trên một sợi quang. Vì các tín hiệu được mang thông qua các bước sóng khác nhau, do đó sẽ không lẫn lộn. Ở đầu thu, bộ tách kênh quang tách các tín hiệu có bước sóng khác nhau, hoàn thành truyền dẫn tín hiệu quang nhiều kênh. Ở chiều ngược lại truyền dẫn qua một sợi quang khác, nguyên lý giống như trên.



Hình 1.11: Sơ đồ truyền dẫn 2 chiều trên 2 sợi

✓ **Hệ thống ghép bước sóng hai hướng:** Nếu hệ thống sợi quang đang sử dụng là sợi DSF theo chuẩn G.653 thì rất khó triển khai WDM vì xuất hiện hiện tượng trộn bốn bước sóng khá gay gắt. Hệ thống WDM truyền dẫn hai chiều trên một sợi là: ở hướng đi, các kênh quang tương ứng với các bước sóng $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ qua bộ ghép/tách kênh được tổ hợp lại với nhau truyền dẫn trên một sợi. Cũng sợi quang đó, ở hướng về các bước sóng $\lambda_{n+1}, \lambda_{n+2}, \dots, \lambda_{2n}$ được truyền dẫn theo chiều ngược

lại (xem Hình 1.12). Nói cách khác ta dùng các bước sóng tách rời để thông tin hai chiều (song công).



Hình 1.12: Sơ đồ truyền dẫn 2 chiều trên cùng 1 sợi quang

Hệ thống WDM hai chiều trên hai sợi được ứng dụng và phát triển tương đối rộng rãi. Hệ thống WDM hai chiều trên một sợi thì yêu cầu phát triển và ứng dụng cao hơn, đòi hỏi yêu cầu kỹ thuật cực kỳ nghiêm ngặt. Ở phía phát, các thiết bị ghép kênh phải có suy hao nhỏ từ mỗi nguồn quang tới đầu ra của bộ ghép kênh. Ở phía thu, các bộ tách sóng quang phải nhạy với dải rộng của các bước sóng quang. Khi thực hiện tách kênh cần phải cách ly kênh quang thật tốt với các bước sóng khác bằng cách thiết kế các bộ tách kênh thật chính xác, các bộ lọc quang nếu được sử dụng phải có bước sóng cắt chính xác, dải làm việc ổn định.

Hệ thống WDM được thiết kế phải giảm tối đa các hiệu ứng có thể gây ra suy hao truyền dẫn. Ngoài việc đảm bảo suy hao xen của các thiết bị thấp, cần phải tối thiểu hoá thành phần công suất có thể gây ra phản xạ tại các phần tử ghép, hoặc tại các điểm ghép nối các module, các môi hàn..., bởi chúng có thể làm gia tăng vấn đề xuyên kênh giữa các bước sóng, dẫn đến làm suy giảm nghiêm trọng tỉ số S/N của hệ thống. Các hiệu ứng trên đặc biệt nghiêm trọng đối với hệ thống WDM

truyền dẫn hai chiều trên một sợi, do đó hệ thống này có khả năng ít được lựa chọn khi thiết kế tuyến.

d. Các yêu cầu của hệ thống WDM

✓ **Phần phát:** Trong hệ thống WDM, nguồn phát đóng một vai trò quan trọng. Khác với hệ thống thông thường, hệ thống WDM sử dụng các nguồn phát từ các laser khác nhau hoặc từ một laser chủ. Bên cạnh các yêu cầu như laser thông thường thì một trong những tham số quan trọng đối với laser là dải bước sóng có thể điều chỉnh được. Để đáp ứng nhu cầu thông tin hiện nay người ta sử dụng loại nguồn phát có khả năng điều chỉnh bước sóng trong một dải rộng đến hàng chục nm

✓ **Môi trường truyền:** Trong hệ thống WDM, để đảm bảo nhu cầu truyền khoảng cách lớn, ta phải sử dụng các bộ khuếch đại quang trên đường truyền, khoảng cách càng lớn thì các EDFA càng nhiều. Chính điều này làm hạn chế băng thông của hệ thống do hiện tượng làm hẹp phổ khuếch đại của các EDFA mắc nối tiếp vì bản thân phổ khuếch đại của từng EDFA có tính chọn lọc đối với các bước sóng. Do đó, để đảm bảo băng thông truyền cho hệ thống đa kênh thì cần phải khắc phục nhược điểm trên bằng cách sử dụng các kỹ thuật làm phẳng phổ khuếch đại của hệ thống.

✓ **Phần thu:** Cũng như phần phát, phần thu có bộ giải ghép kênh quang. Một trong những loại đang được sử dụng rộng rãi là bộ ghép kênh quang thụ động ghép sợi do tính đơn giản và hiệu quả của nó. Khi số kênh nhiều, mật độ kênh lớn thì các bộ lọc này đòi hỏi phải hoạt động chính xác và ổn định, tránh hiện tượng xuyên kênh từ các kênh lân cận. ngoài các yêu cầu trên, khi số kênh trong hệ thống WDM tăng lên, công suất trong sợi quang lớn thì các hiện tượng phi tuyến của sợi xuất hiện làm suy giảm chất lượng hệ thống.

d. Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng của hệ thống WDM

Các yếu tố ảnh hưởng đến hệ thống WDM có thể kể đến như: Suy hao, tán sắc và hiện tượng phi tuyến xảy ra trong sợi quang. Để là rõ vấn đề này luận văn sẽ tìm hiểu thêm các yếu tố sau:

✓ **Tán xạ do kích thích Brillouin:** Trong trường hợp SBS, các phonon liên quan đến sự tác động tán xạ là các phonon âm học và sự tương tác này xảy ra trên dải tần hẹp $\Delta f = 20\text{MHz}$ ở bước sóng 1550 nm. Sóng bơm và sóng Stokes truyền theo hai hướng ngược nhau. Do đó, SBS không gây ra bất kỳ tác động qua lại nào giữa các bước sóng khác nhau khi mà khoảng cách bước sóng lớn hơn 20 MHz (là trường hợp đặc trưng cho WDM). Tuy nhiên, SBS cũng có thể tạo nên sự méo khá quan trọng trong một kênh đơn lẻ. SBS tạo ra độ lợi theo hướng ngược lại với hướng lan truyền tín hiệu, nói cách khác là hướng về phía nguồn.

✓ **Tán xạ do kích thích Raman:** Nếu đưa vào trong sợi quang hai hay nhiều tín hiệu có bước sóng khác nhau thì SRS gây ra sự chuyển năng lượng từ các kênh có bước sóng thấp sang các kênh có bước sóng cao hơn. Sự chuyển năng lượng từ kênh tín hiệu có bước sóng thấp sang kênh tín hiệu có bước sóng cao là một hiệu ứng cơ bản làm cơ sở cho khuếch đại quang và laser. Năng lượng của photon ở bước sóng λ là hc/λ ở với h là hằng số Planck (6.63×10^{-34} Js). Do đó, photon của bước sóng thấp có năng lượng cao hơn. Sự chuyển năng lượng từ tín hiệu bước sóng thấp sang tín hiệu bước sóng cao tương ứng với sự sinh ra các photon năng lượng thấp từ các photon năng lượng cao hơn.

✓ **Hiệu ứng tự điều pha (SPM):** Trong tán sắc màu, các bước sóng khác nhau (các tần số) lan truyền theo các vận tốc khác nhau. Như vậy xung mang các tần số khác nhau khi lan truyền sẽ giãn ra. Rõ ràng SPM gây ra giãn xung thông qua tán sắc màu. Cần lưu ý một ưu điểm của SPM là: khi công suất lan truyền cao, ở khoảng đầu sợi quang, SPM có thể nén xung. Tuy nhiên khi xung lan truyền xa hơn, xung sẽ bị giãn nhiều hơn. Hiện tượng nén xung này có thể sử dụng để bù tán sắc. Các hiệu ứng phi tuyến thường được đánh giá qua các giới hạn công suất cho hệ thống thông tin. Để ảnh hưởng của SPM là tối thiểu, độ dịch pha phi tuyến phải rất nhỏ tức là $\kappa \ll 1$.

✓ **Hiệu ứng điều chế xuyên pha:** SPM là giới hạn phi tuyến chủ yếu trong hệ thống đơn kênh. Trong hệ thống đa kênh độ dịch pha của một kênh, ví dụ như kênh thứ nhất ϕ_1 , phụ thuộc không những vào cường độ (công suất) của chính kênh đó

mà cũng phụ thuộc vào cường độ của những kênh còn lại. Hiện tượng này gọi là điều chế xuyên pha CPM. Ví dụ xem xét hệ thống ba kênh. Khi đó ϕ_1 sẽ là: $\phi_1 = \gamma \text{NLLeff}(P_1 + 2P_2 + 2P_3)$.

✓ **Hiệu ứng trộn bốn bước sóng:** Trong hệ thống WDM sử dụng các tần số góc $\omega_1 \dots \omega_n$, sự phụ thuộc của chiết suất vào cường độ (công suất) không chỉ gây ra sự dịch pha trong mỗi kênh mà cũng sinh ra tần số mới như là $2\omega_i - \omega_j$ và $\omega_i + \omega_j - \omega_k$. Hiện tượng này gọi là hiện tượng trộn bốn bước sóng (FWM_Four-wave Mixing). Trái với SPM và CPM chỉ có ảnh hưởng đối với các hệ thống tốc độ bit cao, hiệu ứng trộn bốn bước sóng không phụ thuộc vào tốc độ bit mà phụ thuộc chặt chẽ vào khoảng cách kênh và tán sắc màu của sợi. Giảm khoảng cách kênh làm tăng ảnh hưởng của hiệu ứng trộn bốn bước sóng và việc giảm tán sắc màu cũng vậy. Do đó, các ảnh hưởng của FWM phải được xem xét ngay cả ở các hệ thống tốc độ vừa phải khi khoảng cách kênh gần nhau và/hoặc khi sử dụng sợi dịch chuyển tán sắc.

1.2.2 Công nghệ DWDM và CWDM

✓ **Công nghệ DWDM:** Tương tự như ghép kênh quang WDM thì công nghệ DWDM là công nghệ ghép kênh theo bước sóng với số bước sóng lớn trong một băng tần hạn chế. Hệ thống ghép kênh DWDM hiện tại hoạt động ở băng C hoặc băng L, dung lượng 32 hoặc 40 kênh, khoảng kênh 0,4 nm và tốc độ tới 10GHz. Các bước sóng được chuẩn hóa theo khuyến nghị ITU-T G.692. Hiện tại, hệ thống DWDM đã nghiên cứu thử nghiệm với dung lượng kênh được nâng đến 40G hoặc số lượng kênh được nâng đến 80.

✓ **Công nghệ CWDM:** Ngược lại với hệ thống DWDM là ghép kênh với mật độ cao thì công nghệ CWDM là công nghệ ghép bước sóng thô hay là ghép thưa bước sóng. Hệ thống CWDM được phát triển nhằm đáp ứng các ứng dụng dung lượng nhỏ để giảm chi phí đầu tư. CWDM là hệ thống ghép kênh bước sóng với mật độ kênh thấp, yêu cầu xử lý băng tần không cao. Số kênh của CWDM nhỏ hơn hoặc bằng 18 với khoảng kênh 20nm (tương đương khoảng 2,5 THz), dung lượng một kênh đến 10G, bước sóng theo khuyến nghị ITU-T G.694.2.

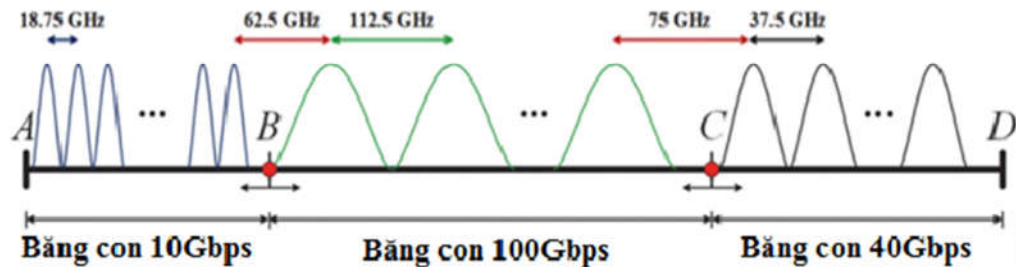
1.3 Kết luận chương 1

Chương 1 luận văn đã tìm hiểu về sự phát triển của công nghệ truyền tải quang, thấy được lịch sử hình thành và tiềm năng của hệ thống thông tin quang. Và tìm hiểu về sợi quang, yếu tố chủ yếu hình thành các công nghệ truyền trên sợi quang. Bên cạnh đó cũng đã khái quát được hệ thống truyền thông quang WDM và các công nghệ WDM.

CHƯƠNG 2 HỆ THỐNG WDM ĐA TỐC ĐỘ ĐƯỜNG

2.1. Giới thiệu chung

Trong các hệ thống WDM đa tốc độ đường (MLR), hiệu suất của đường truyền dẫn sẽ phụ thuộc vào sự phân bổ các kênh bước sóng 10 Gbps, 40 Gbps và 100 Gbps cho một dải tần số. Trong nghiên cứu này, các bước sóng này được đặt trong các dải con được chỉ định đặc biệt (xem hình 2.1). Độ rộng của mỗi băng con có thể khác nhau tùy thuộc vào phân phối được chọn trong các bước sóng 10 Gbps, 40 Gbps và 100 Gbps. Các băng con được phân tách bằng cách sử dụng khoảng cách giữa băng con được thiết lập trước đó, trong khi các bước sóng trong một băng con được phân tách bằng cách sử dụng khoảng cách kênh tối thiểu được chấp nhận trước đó. Do đó, độ rộng của mỗi băng con, khoảng cách kênh trong một băng con và khoảng cách băng con sẽ xác định trước số bước sóng cụ thể có thể được nén trong dải tần có sẵn để truyền dữ liệu, điều đó có nghĩa là tăng hiệu suất đường truyền [3, 4, 5].



Hình 2.1: Phân bổ băng tần và kênh phụ có sẵn để chia thành băng tần hệ thống WDM 10-40-100 Gbps.

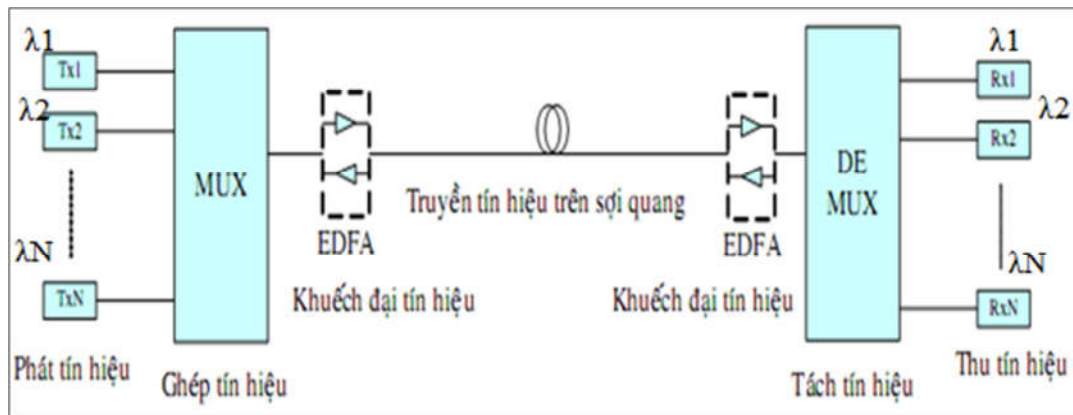
Trong mạng MLR như vậy, các bước sóng khác nhau sẽ mang các tốc độ đường truyền khác nhau. Tuy nhiên, các bước sóng đồng truyền với các tốc độ đường truyền khác nhau tạo ra các hiệu ứng phi tuyến tính (ví dụ: điều chế pha chéo (XPM), v.v.) với nhau và làm giảm phạm vi truyền (khoảng cách truyền tối đa mà không cần tái tạo tín hiệu) của các tốc độ đường truyền khác nhau dựa trên ngưỡng tỷ lệ lỗi bit (BER) chấp nhận được, ví dụ: 10^{-3} . Một mạng MLR lý tưởng phải đảm

bảo phạm vi tiếp cận tối đa của từng tín hiệu tốc độ đường truyền ngay cả khi nó được truyền cùng với các tín hiệu tốc độ đường truyền khác. Ta có thể thấy rằng các hiệu ứng phi tuyến tính có thể được giảm với quản lý phân tán, kế hoạch kênh, định dạng điều chế, quản lý năng lượng đầu vào kênh, [6] v.v.

Bất cứ một công nghệ nào cũng tồn tại những giới hạn và những vấn đề kỹ thuật. Khi triển khai công nghệ WDM vào mạng thông tin quang, cần phải lưu ý một số vấn đề như: Số kênh được sử dụng và khoảng cách giữa các kênh, ổn định bước sóng của nguồn quang, xuyên nhiễu giữa các kênh, tán sắc, bù tán sắc, quỹ công suất của hệ thống, ảnh hưởng của các hiệu ứng phi tuyến, EDFA và một số vấn đề khi sử dụng EDFA trong mạng WDM.

2.1. Kiến trúc hệ thống WDM đa tốc độ đường

Mô hình hệ thống WDM đa tốc độ đường giống hệt với mô hình của hệ thống WDM thông thường chỉ có điều là các thiết bị đầu cuối phải đồng bộ với nhau để có thể làm việc trong cùng nhiều tốc độ khác nhau [1] (Hình 2.2).



Hình 2.2: Sơ đồ hệ thống WDM đa tốc độ đường

✓ **Phát tín hiệu:** Hệ thống WDM đa tốc độ đường sử dụng nguồn phát quang là laser. Hiện nay, đã có một số loại nguồn phát như: laser điều chỉnh được bước sóng (tunable laser), laser đa bước sóng (multiwavelength laser)... Yêu cầu đối với nguồn phát laser là phải có độ rộng phổ hẹp, bước sóng phát ổn định, mức công suất phát định, bước sóng trung tâm, độ rộng phổ, độ rộng chirp phải nằm trong giới hạn cho phép.

✓ **Ghép/tách tín hiệu:** Ghép tín hiệu WDM đa tốc độ đường là sự kết hợp một số nguồn sáng khác nhau thành một luồng tín hiệu ánh sáng tổng hợp để truyền dẫn qua sợi quang. Tách tín hiệu WDM là sự phân chia luồng ánh sáng tổng hợp đó thành các tín hiệu ánh sáng riêng lẻ tại mỗi cổng đầu ra của bộ tách. Hiện nay, đã có các bộ tách/ghép tín hiệu WDM như: bộ lọc màng mỏng điện môi, cách tử Bragg sợi, cách tử nhiễu xạ, linh kiện quang tổ hợp AWG, bộ lọc Fabry-Perot... Khi xét đến các bộ ghép/tách WDM đa tốc độ đường, cần phải quan tâm đến các tham số như: khoảng cách giữa các kênh bước sóng, độ rộng băng tần của mỗi kênh, bước sóng trung tâm của kênh, mức xuyên âm giữa các kênh, tính đồng đều của kênh, suy hao xen, suy hao phản xạ Bragg, xuyên âm đầu gần - đầu xa.

✓ **Truyền dẫn tín hiệu:** Quá trình truyền dẫn tín hiệu trong sợi quang chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố: suy hao sợi quang, tán sắc, các hiệu ứng phi tuyến, các vấn đề liên quan đến khuếch đại tín hiệu... Mỗi vấn đề kể trên đều phụ thuộc rất nhiều vào các đặc tính của sợi quang (loại sợi quang, chất lượng sợi...).

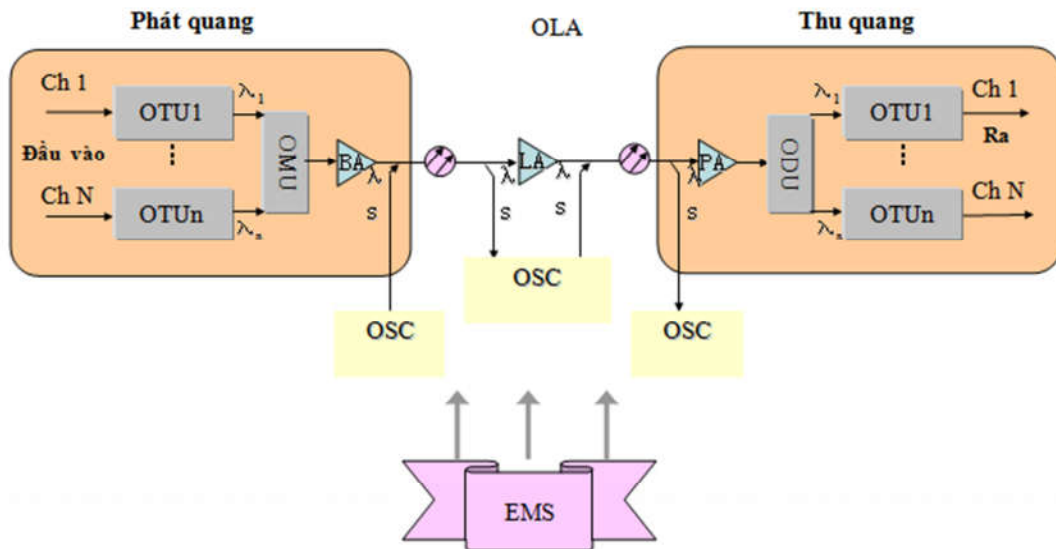
✓ **Khuếch đại tín hiệu:** Hệ thống WDM đa tốc độ đường hiện tại chủ yếu sử dụng bộ khuếch đại quang sợi EDFA. Có 3 chế độ khuếch đại: khuếch đại công suất, khuếch đại đường và tiền khuếch đại. Khi dùng bộ khuếch đại EDFA cho hệ thống WDM đa tốc độ đường phải đảm bảo các yêu cầu sau:

- Hệ số khuếch đại đồng đều đối với tất cả các kênh bước sóng (mức chênh lệch không quá 1 dB).
- Sự thay đổi số lượng kênh bước sóng làm việc không làm ảnh hưởng đến mức công suất đầu ra của các kênh.
- Có khả năng phát hiện sự chênh lệch mức công suất đầu vào để điều chỉnh lại các hệ số khuếch đại nhằm đảm bảo đặc tuyến khuếch đại bằng phẳng đối với tất cả các kênh.

✓ **Thu tín hiệu:** Để thu tín hiệu, các hệ thống WDM đa tốc độ đường cũng sử dụng các loại bộ tách sóng quang như trong hệ thống thông tin quang thông thường: PIN, APD.

2.2. Các thành phần hệ thống

Đối với thành phần hệ thống WDM đa tốc độ đường gồm các cặp thu phát, tách ghép đồng bộ với nhau và được thiết kế riêng cho hệ thống WDM đa tốc độ đường. Về nguyên lý các thành phần này tương tự như các thành phần trong hệ thống WDM truyền thống nhưng được điều chỉnh để phù hợp với hệ thống WDM đa tốc độ đường. Như thành phần vẫn có bộ phát, bộ thu được thiết kế đồng bộ với nhau. Bộ ghép kênh quang và bộ tách kênh quang cũng đồng bộ với nhau. Các bộ khuếch đại quang thì khác vì nó khuếch đại các tín hiệu có tốc độ khác nhau. Đường truyền quang vẫn là đường truyền trên hệ thống WDM truyền thống. Cấu trúc cơ bản của hệ thống WDM đa tốc độ đường bao gồm các thành phần chính sau: Nguồn quang Laser, bộ tách/ghép kênh quang (OMU/ODU), bộ khuếch đại quang sợi EDFA, bộ phát đáp quang (OUT), bộ giám sát kênh quang (OSC) [2]. Như Hình 2.3 Sau các bộ BA, LA, PA (các bộ khuếch đại) là các bộ OSC để giám sát tín hiệu và chất lượng đường truyền.



Hình 2.3: Cấu trúc cơ bản hệ thống WDM đa tốc độ đường

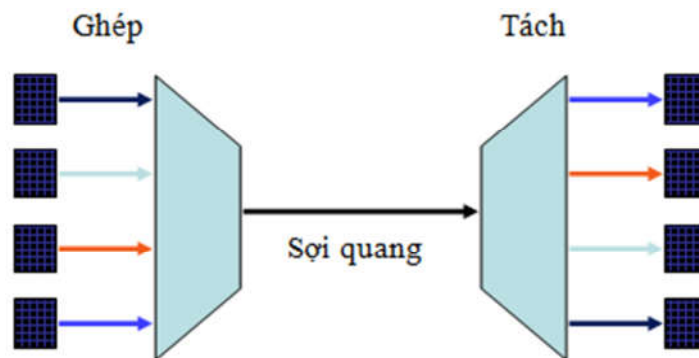
2.2.1. Nguồn quang Laser

Nguồn quang laser tạo ánh sáng laser sử dụng công nghệ DFB với khả năng chi tán sắc tương đối lớn, bước sóng phát chuẩn và ổn định.

Có 2 phương pháp điều chế là điều chế trực tiếp được sử dụng trong hệ thống PDH và SDH truyền thống 2.5Gb/s hoặc thấp hơn. Và điều chế gián tiếp được sử dụng trong các hệ thống có tốc độ truyền dẫn $\geq 2.5\text{Gbit/s}$ và khoảng cách truyền dẫn dài hơn 300km. Bởi vậy, trong các hệ thống DWDM có sử dụng bộ khuếch đại đường quang thì laser tại đầu phát thường là laser điều chế gián tiếp.

2.2.2 Bộ tách và ghép kênh phân chia theo bước sóng quang

Trong hình 2.4 là mô hình bộ tách và ghép quang. Bộ tách/ ghép kênh quang thực chất đó là một kiểu của bộ lọc quang, thực hiện chức năng tách/ ghép các bước sóng (kênh) quang. Tại nơi phát, bộ ghép kênh quang (OM) được sử dụng để kết hợp các tín hiệu quang trong mỗi một kênh ghép kênh với bước sóng danh định thành một chùm sóng quang, và khi đó nó được phát vào trong sợi để truyền dẫn, đây là sóng quang đã được ghép. Tại phía nhận, bộ tách quang (OD) được sử dụng để tách các bước sóng quang trong sợi thành các tín hiệu quang của mỗi kênh với dạng sóng danh định, tương ứng với các bộ thu kênh quang, đây là các sóng quang đã được tách. Có 4 kiểu OM phổ biến là OM kiểu con cách (Garting), OM kiểu màng mỏng điện môi, OM ma trận ống dẫn sóng, OM kiểu kết nối.



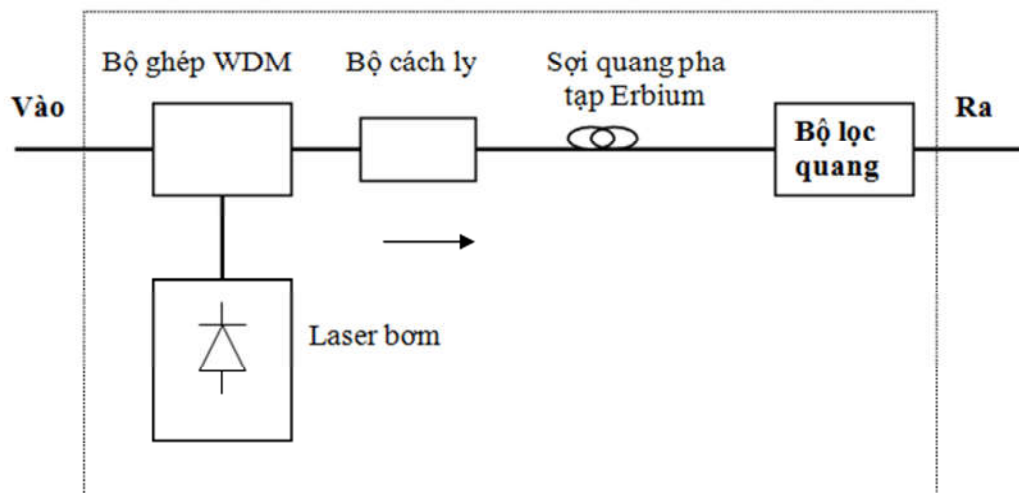
Hình 2.4: Bộ tách/ ghép kênh quang

2.2.3 Phần tử chuyển đổi quang (OUT)

Thực hiện chuyển đổi bước sóng của tín hiệu kênh quang thành các bước sóng quang danh định của hệ thống WDM, đồng bộ, tái tạo tín hiệu, giám sát chất lượng truyền. Có các loại OUT như sau: OTUT, OTUR, OUT 2.5G, OUT 10G, Multi-services OUT, OUT có FEC và OUT không có FEC.

2.2.4 Bộ khuếch đại EDFA

Cấu trúc tiêu biểu của bộ EDFA được chỉ ra như hình vẽ 2.5 EDFA có thành phần chính gồm một đoạn ngắn cáp quang có lõi pha tạp khoảng 0,1% Erbium. Erbium là một nguyên tố đất hiếm có tính năng quang tích cực. Đoạn sợi pha tạp Erbium được ký hiệu là EDF (Erbium - Doped Fiber) thường có chiều dài khoảng 10 - 20m. Ngoài ra EDFA còn có một laser bơm để cung cấp năng lượng cho đoạn EDF, một bộ ghép bước sóng WDM để ghép bước sóng ánh sáng tín hiệu và bước sóng ánh sáng bơm vào đoạn EDF và bộ phân cách để hạn chế ánh sáng phản xạ từ hệ thống.



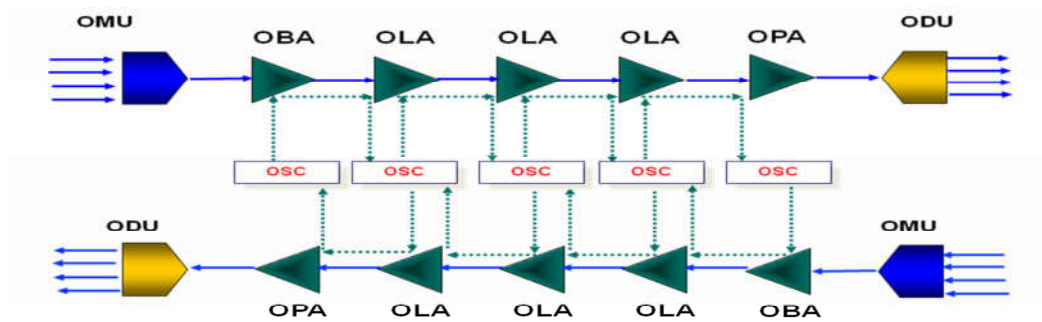
Hình 2.5: Bộ khuếch đại EDFA

Laser bơm trong EDFA là laser bán dẫn thông thường và được gọi là nguồn bơm. Nguồn bơm có thể bơm ở nhiều bước sóng nhưng hiệu quả cao nhất là ở hai bước sóng 980nm và 1480nm. Khi sử dụng EDFA thì chỉ cần một nguồn bơm có công suất nhỏ từ 10 đến 100mW là đủ để công suất ra lớn theo yêu cầu, điều này giảm nguồn nuôi lên hệ thống EDFA có cấu trúc nhỏ nhẹ, linh hoạt. Độ tin cậy là đặc điểm quan trọng đối với laser bơm vì nó được bơm cho khoảng cách dài và để tránh làm nhiễu tín hiệu. Hiện tại thì bước sóng bơm 1480nm được sử dụng rộng rãi hơn vì chúng có sẵn và độ tin cậy cao hơn. Nếu tăng được độ ổn định của laser diode có bước sóng 980nm thì chúng có thể được chọn làm nguồn bơm. Đặc tính cơ bản của EDFA: là đặc tính tăng ích, đặc tính công suất ra và đặc tính âm. Công suất

đầu ra, hệ số khuếch đại (là tỉ số giữa công suất đầu ra và công suất đầu vào), hệ số khuếch đại tạp âm (OSNR out/OSNR in) vì tạp âm của hệ thống sinh ra chủ yếu do các bộ khuếch đại.

2.2.5 Bộ giám sát kênh quang (OSC)

OSC (Optical Supervision Channel) được sử dụng để truyền tải các thông tin giám sát và quản lý các phần tử mạng của hệ thống DWDM trên một bước sóng dài, các thông tin bao gồm: cảnh báo lỗi, vị trí lỗi, giám sát các thông số chất lượng khi hệ thống hoạt động, điều khiển backup và giám sát EDFA. Bởi vậy, OSC giúp cho các nhà vận hành mạng quản lý rất hiệu quả hệ thống DWDM. Như hình 2.6 là vị trí bộ OSC trong hệ thống thông tin quang. Tín hiệu qua các bộ ghép quang đưa qua các OBA, OLA, OPA thì được các bộ OSC giám sát, quản lý mạng, rồi được đưa tới bộ ghép quang. Tương tự như vậy ta sẽ có chiều ngược lại.



Hình 2.6: Vị trí của bộ giám sát kênh quang OSC

Các tham số chính:

- Bước sóng làm việc: 1510nm
- Tốc độ: 2,048 Mb/s
- Độ nhạy thu: -48dBm
- Công suất phát: 0 ~ -7 dBm

2.3. Kỹ thuật điều chế trong hệ thống WDM đa tốc độ đường

a. Kỹ thuật điều chế PSK

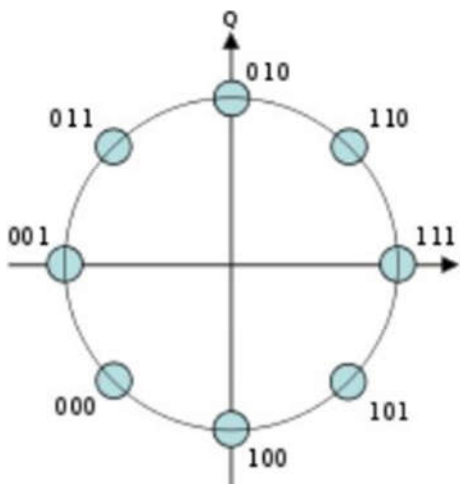
Tất cả dữ liệu truyền đạt bởi thay đổi một vài khía cạnh của tín hiệu gốc, sóng mang (thường là sóng hình sin) hưởng ứng tín hiệu dữ liệu. Trong trường hợp

của PSK, pha được thay đổi đặc trưng cho tín hiệu dữ liệu. Có 2 cách cơ bản để sử dụng pha của tín hiệu:

- Bằng cách kiểm tra pha của nó với thông tin truyền đạt, trong trường hợp giải điều chế phải có một tín hiệu tham chiếu để so sánh với pha của tín hiệu nhận được.

- Bằng cách thay đổi pha với thông tin truyền đạt – phương pháp vi phân, một số trong đó không cần tín hiệu sóng mang tham chiếu (đến một mức độ nhất định) Cách thuận tiện để biểu diễn phương thức PSK là biểu diễn trên sơ đồ chòm sao.

Các điểm này biểu diễn trên mặt phẳng phức hợp, các trục thực và ảo được gọi là pha và trục vuông góc tương ứng với khoảng cách 90° của chúng. Biểu diễn như vậy trên trục vuông góc của nó để thực hiện dễ dàng. Biên độ của mỗi điểm đến trục pha được sử dụng cho điều chế sóng hình cosin (hoặc là sin) và biên độ về phía trục vuông góc để điều chế sóng hình sin (hoặc cosin), minh họa trên Hình 2.7.



Hình 2.7: Sơ đồ chòm sao biểu diễn 8-PSK.

Trong PSK, các điểm chòm sao lựa chọn thường được chọn với một góc và khoảng cách quanh vòng tròn. Điều này cho tối đa các pha riêng biệt giữa các điểm liền kề. Chúng được chọn trên vòng tròn và tất cả được phát đi với cùng năng lượng. Theo cách này, cũng tương tự như biểu diễn các số phức và vì thế các biên độ cần các sóng hình sin và cosin. Hai ví dụ điển hình là “khóa dịch pha nhị phân – BPSK” sử dụng 2 pha và “khóa dịch pha cầu phương – QPSK” sử dụng 4 pha, mặc

dù có thể sử dụng nhiều hơn số pha. Do dữ liệu được truyền đạt thường là nhị phân, phương thức PSK thường được thiết kế với số các điểm chòm sao là lũy thừa của 2.

Trong đó:

Để xác định công thức tỷ lệ lỗi, một vài định nghĩa sau được cần đến:

- E_b = năng lượng của mỗi bit
- E_s = năng lượng của mỗi ký tự = E_b / n với n bit trong một ký tự
- T_b = chu kỳ của bit
- T_s = chu kỳ của ký tự
- $N_0/2$ = mật độ phổ nguồn nhiễu (W/Hz), nhiễu AWGN.
- P_b = xác suất bit lỗi
- P_s = xác suất ký tự lỗi

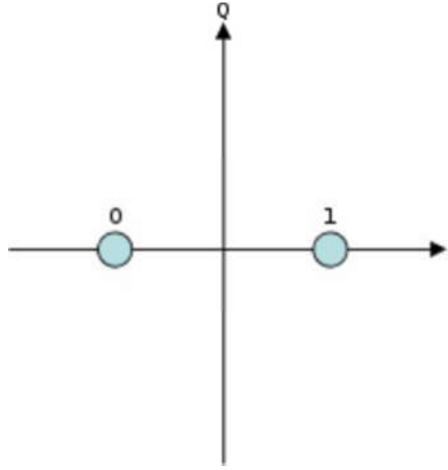
$Q(x)$ là xác suất mà một mẫu lấy từ một tiến trình ngẫu nhiên với trung bình không và hàm mật độ xác suất Gaussian biến đơn vị sẽ lớn hơn hoặc bằng x . Hàm lỗi Gaussian:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right), x \geq 0 \quad (2.1)$$

b. Điều chế BPSK

BPSK là dạng đơn giản nhất của điều chế khóa dịch pha (PSK). Nó sử dụng 2 pha lệch nhau 180° và cũng có thể được gọi là dạng 2-PSK. Nó không quan trọng phải đặc biệt chính xác vị trí xác định các điểm chòm sao, và trong sơ đồ hình sao chúng thể hiện trên trục thực ở 0° và 180°. Cách điều chế này là mạnh nhất của các phương thức PSK từ khi nó có mức nhiễu hoặc biến dạng cao nhất để làm phạm vi giải điều chế cuối cùng không chính xác. Tuy nhiên, chỉ cho phép điều chế 1 bit/ký tự (Hình 2.8) và cũng không phù hợp cho các ứng dụng tỷ lệ dữ liệu khi băng thông bị giới hạn. Loại điều chế này cần khôi phục pha và nó có thể thực hiện được. Giải mã vi phân dễ dàng sử dụng nhưng tiêu tốn nhiều hiệu năng. Dạng tín hiệu cho BPSK theo phương trình sau:

$$s_b(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi(1-n)), n=0,1 \quad (2.2)$$



Hình 2.8: Sơ đồ chòm sao của BPSK

$$s_0(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t), \text{wỏgvz i bit "0"} \quad (2.3)$$

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t), \text{wỏgvz i bit "1"} \quad (2.4)$$

Vì thế, khoảng cách tín hiệu có thể được biểu diễn bởi phương trình:

$$\phi(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad (2.5)$$

Ở đây bit 1 được biểu diễn bởi $\sqrt{E_b}\phi(t)$ và bit 0 được biểu diễn bởi $-\sqrt{E_b}\phi(t)$. Sử dụng phương trình 2.5 để biểu diễn kết quả của mục tiếp theo trong sơ đồ tín hiệu định thời. Tín hiệu cao nhất là dạng sóng cosin được điều chế BPSK sử dụng thủ tục điều chế BPSK. Luồng bit ở đầu ra được biểu diễn tín hiệu trên.

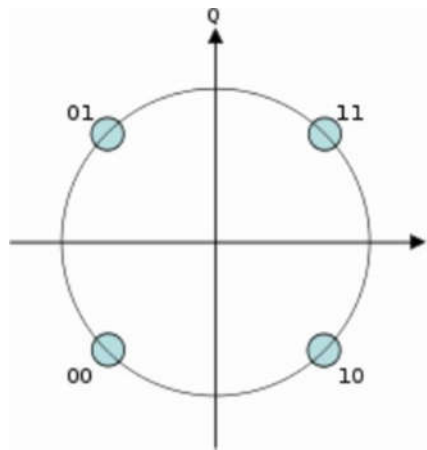
Tỷ lệ lỗi bit (BER) của BPSK trong AWGN được tính:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \text{ hoặc } P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (2.6)$$

Đây chỉ là một bit trên một ký tự, nó cũng là tỷ lệ lỗi ký tự.

c. Điều chế QPSK

Đôi khi QPSK được hiểu là PSK 4 phần, PSK 4 chiều, 4-PSK hoặc 4-QAM. (mặc dù các khái niệm gốc về QPSK và 4-QAM là khác nhau, kết quả điều chế các sóng âm thành là chính xác như nhau). QPSK sử dụng 4 điểm trên sơ đồ chòm sao được đặt ở các vị trí bằng nhau trên một vòng tròn. Với 4 pha (Hình 2.9), QPSK có thể giải mã 2 bit trên một ký tự, biểu diễn trong sơ đồ với mã hóa Gray là tỷ lệ lỗi bit (BER) tối thiểu. Thuật toán phân tích thể hiện QPSK có thể được sử dụng để nhân đôi tỷ lệ dữ liệu được so sánh với hệ thống BPSK trong khi duy trì băng thông tương đương của tín hiệu hoặc duy trì tỷ lệ dữ liệu của BPSK nhưng yêu cầu giảm một nửa băng thông. Trong trường hợp khác, BER của QPSK chính xác là tương tự với BER của BPSK. Với BPSK, đó là vấn đề chưa rõ ràng về pha ở đầu thu và QPSK được mã hóa vì phân thường được sử dụng trong thực tế.



Hình 2.9: Sơ đồ chòm sao của QPSK với mã hóa Gray

Mã hóa QPSK là phổ biến hơn BPSK và PSK có bậc cao hơn. Viết các ký tự trong sơ đồ chòm sao dưới dạng các sóng hình sin và cosin được sử dụng để phát đi:

$$S_n(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + (2n-1)\frac{\pi}{4}\right), n=1, 2, 3, 4. \quad (2.7)$$

Kết quả cần 4 pha: $\pi/4$, $3\pi/4$, $5\pi/4$, và $7\pi/4$

Kết quả này trong khoảng cách 2 lần kích thước tín hiệu với hàm đơn vị cơ sở:

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad (2.8)$$

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad (2.9)$$

Phương trình cơ sở đầu tiên (2.7) được sử dụng là thành phần pha của tín hiệu và phương trình thứ 2 (2.8) là thành phần cầu phương của tín hiệu. Vì thế, tín hiệu chòm sao bao gồm 4 điểm vị trí tín hiệu ($\pm\sqrt{E_s/2}, \pm\sqrt{E_s/2}$). Hệ số $1/2$ chỉ ra rằng công suất tổng tách ra đều nhau giữa 2 sóng mang.

Mặc dù QPSK có thể được coi như một điều chế 4 phân, dễ dàng thấy khi nó như 2 nguồn độc lập được điều chế sóng mang cầu phương. Với sự giải thích này các bit chẵn (hoặc lẻ) được sử dụng để điều chế thành phần pha cầu phương của sóng mang. BPSK được sử dụng trên cả 2 sóng mang và chúng có thể được điều chế độc lập.

Xác suất bit lỗi của QPSK là tương tự như BPSK:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2.10)$$

Tuy nhiên, để đạt được xác suất lỗi bit giống như BPSK, QPSK sử dụng nguồn kép (2 bit được phát đồng thời).

Tỷ lệ lỗi ký tự được cho bởi:

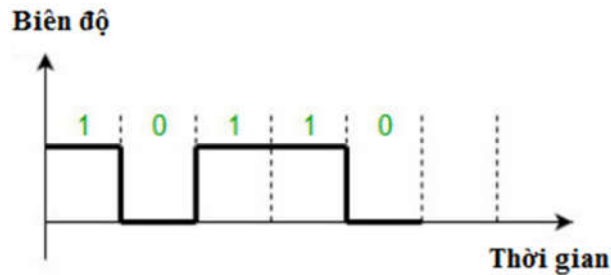
$$P_s = 1 - (1 - P_b)^2 = 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) - Q^2\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) \quad (2.11)$$

Nếu tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu cao (điều cần thiết cho các hệ thống QPSK thực tiễn) xác suất lỗi ký tự có thể được tính xấp xỉ:

$$P_s \approx 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) \quad (2.12)$$

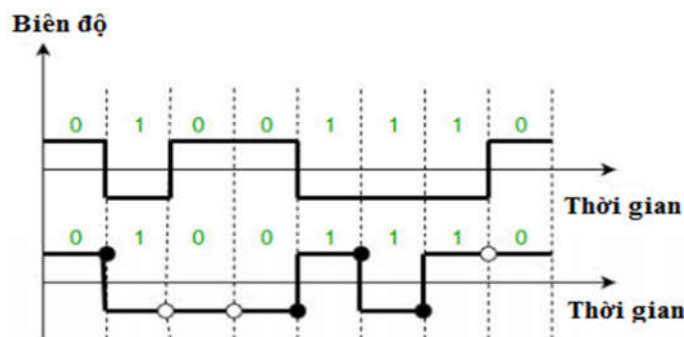
d. Điều chế NRZ và RZ

Điều chế NRZ là sơ đồ mã hóa đơn cực trong đó điện áp dương xác định bit 1 và điện áp 0 xác định bit 0 (Hình 2.10). Tín hiệu không trở về 0 ở giữa bit do đó được gọi là NRZ. Ví dụ: Dữ liệu = 10110.



Hình 2.10: Đồ thị mã hóa NRZ

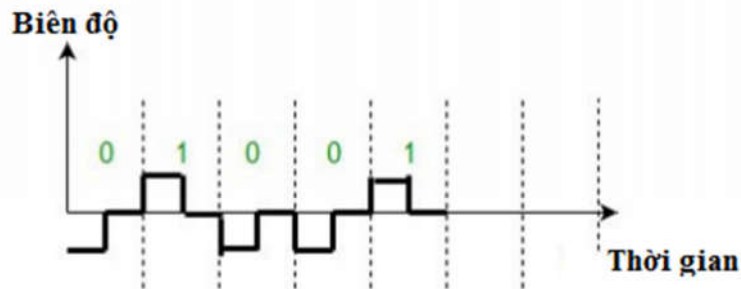
Nhưng Hình 2.11 sử dụng nhiều năng lượng hơn so với sơ đồ cực để gửi một bit trên mỗi đơn vị điện trở dòng. Ngoài ra, đối với các số 0 hoặc số liên tục sẽ có vấn đề tự đồng bộ hóa và dòng cơ sở. Trong các sơ đồ cực, các điện áp nằm ở cả hai phía của trục. NRZ-L và NRZ-I - Chúng hơi giống với sơ đồ NRZ đơn cực nhưng ở đây chúng tôi sử dụng hai mức biên độ (điện áp). Đối với NRZ-L (NRZ-Level), mức điện áp xác định giá trị của bit, điển hình là ánh xạ nhị phân 1 ở mức logic cao và ánh xạ nhị phân 0 xuống mức logic thấp và đối với NRZ-I (NRZ- Đảo ngược), tín hiệu hai cấp có sự chuyển tiếp tại một ranh giới nếu bit tiếp theo mà chúng ta sẽ truyền là logic 1 và không có chuyển đổi nếu bit tiếp theo mà chúng ta sẽ truyền là 0 logic. Lưu ý - Đối với NRZ-I, chúng tôi giả sử trong ví dụ rằng tín hiệu trước đó trước khi bắt đầu tập dữ liệu, 01001110, là dương. Do đó, không có sự chuyển đổi nào ở đầu và bit đầu tiên 0 0 trong tập dữ liệu hiện tại, 01001110, bắt đầu từ + V. Ví dụ: Dữ liệu = 01001110.



Hình 2.11: Mã hóa NRZ-L và NRZ-I

So sánh giữa NRZ-L và NRZ-I: sự chuyển tiếp tín hiệu về cơ bản đối với cả hai, nhưng đối với NRZ-L thì nó tệ gấp đôi so với NRZ-I. Điều này là do quá trình chuyển đổi tại ranh giới cho NRZ-I (nếu bit tiếp theo mà chúng ta sẽ truyền tải là logic 1). Vấn đề tự đồng bộ hóa tương tự cũng tương tự ở cả hai chuỗi dài 0, nhưng đối với chuỗi dài 1 LẦN thì nghiêm trọng hơn ở NRZ-L.

Điều chế RZ là một giải pháp cho vấn đề NRZ, sử dụng ba giá trị dương, âm và 0. Trong hình 2.12, tín hiệu đi về 0 ở giữa mỗi bit. Lưu ý - Logic chúng tôi đang sử dụng ở đây để biểu thị dữ liệu là cho bit 1 một nửa tín hiệu được biểu thị bằng +V và một nửa bằng điện áp bằng 0 và cho bit 0 một nửa tín hiệu được biểu thị bằng -V và một nửa bằng điện áp 0. Ví dụ: Dữ liệu = 01001.



Hình 2.12: Mã hóa tín hiệu RZ

Nhược điểm chính của mã hóa RZ là nó đòi hỏi băng thông lớn hơn. Một vấn đề khác là sự phức tạp vì nó sử dụng ba cấp điện áp. Do tất cả những thiếu sót này, chương trình này không được sử dụng ngày nay.

2.4. Các yếu tố ảnh hưởng hiệu năng hệ thống WDM đa tốc độ đường

a. Suy hao quỹ công suất của hệ thống WDM

Trong bất kỳ hệ thống số nào thì vấn đề quan trọng là phải đảm bảo được tỷ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) sao cho đầu thu có thể thu được tín hiệu với một mức BER cho phép. Giả sử máy phát phát tín hiệu đi tới phía thu với một mức công suất P_{ph} nhất định, công suất của tín hiệu sẽ bị suy giảm dần trên đường truyền dẫn do rất nhiều nguyên nhân như: suy hao do bản thân sợi quang gây ra, suy hao do các thành phần quang thụ động...cực ly truyền dẫn càng dài thì công suất tín hiệu bị suy hao càng nhiều, nếu suy hao quá lớn làm cho công suất tín hiệu đến được máy thu

nhỏ hơn công suất ngưỡng thu nhỏ nhất ($P_{thu \min}$) cho phép thì thông tin truyền đi sẽ bị mất. Để máy thu thu được thông tin thì công suất tín hiệu đến máy thu phải nằm trong dải công suất của máy thu.

$$P_{\text{máy phát}} = P_{\text{phát}} + P_{\text{dự trữ}} \quad (2.13)$$

$$P_{\text{thu min}} < P_{\text{phát}} - P_{\text{tổng suy hao}} < P_{\text{thu max}} \quad (2.14)$$

Như vậy để đảm bảo được thông tin thì công suất phát phải càng lớn khi cự ly truyền dẫn càng lớn. Để khắc phục điều này người ta sử dụng bộ lặp tín hiệu trên đường truyền. Trước đây khi chưa có bộ khuếch đại quang, suy hao tín hiệu trên đường truyền sẽ được bù lại thông qua việc sử dụng các trạm lặp điện 3R, quá trình này được thực hiện tương đối phức tạp. Đầu tiên, phải tách tất cả các kênh (nhờ thiết bị DEMUX), biến đổi các kênh tín hiệu quang này thành các kênh tín hiệu điện, thực hiện khuếch đại từng kênh, biến đổi từng kênh trở lại tín hiệu quang, sau đó mới thực hiện ghép các kênh tín hiệu quang này lại với nhau (nhờ thiết bị MUX), điều này làm cho việc tính toán, thiết kế tuyến thông tin quang gặp nhiều khó khăn.

Việc sử dụng các trạm lặp điện 3R không những làm cho số lượng thiết bị trên tuyến tăng lên mà còn làm giảm quỹ công suất của hệ thống (do suy hao xen của các thiết bị tách/ ghép bước sóng là tương đối lớn). Tuy nhiên, khi bộ khuếch đại quang sợi EDFA ra đời, việc đảm bảo quỹ công suất quang cho hệ thống không còn khó khăn nữa, nó làm giảm bớt số trạm lặp trên tuyến rất nhiều, với khả năng khuếch đại đồng thời nhiều bước sóng, EDFA đặc biệt thích hợp với các hệ thống WDM (cấu tạo và nguyên lý làm việc của EDFA sẽ được đề cập đến ở chương sau).

b. Xuyên nhiễu giữa các kênh tín hiệu quang

Xuyên nhiễu giữa các kênh trong sợi quang ảnh hưởng tới độ nhạy của máy thu, chính vì vậy có ảnh hưởng lớn đến chất lượng của hệ thống WDM. Có thể chia ra làm hai loại xuyên nhiễu chính như: Xuyên nhiễu tuyến tính, do đặc tính không lý tưởng của các thiết bị tách kênh, mức xuyên nhiễu này chủ yếu phụ thuộc vào kiểu thiết bị tách kênh được sử dụng cũng như khoảng cách giữa các kênh. Và xuyên nhiễu phi tuyến, chủ yếu do các hiệu ứng phi tuyến của sợi quang gây nên ra.

c. Bù tán sắc

Sau khi sử dụng EDFA trên tuyến thì vấn đề suy hao đã được giải quyết, cự ly truyền dẫn được nâng lên rõ rệt, nhưng tổng tán sắc cũng tăng lên. Do đó, lại yêu cầu phải giải quyết vấn đề tán sắc, nếu không, không thể thực hiện được việc truyền thông tin tốc độ cao và truyền dẫn cự ly dài. Bây giờ ảnh hưởng của hiệu ứng tán sắc sợi quang lại là một yếu tố hạn chế chủ yếu, nhất là đối với hệ thống tốc độ cao lại càng thể hiện rõ rệt. Ví dụ sợi quang G. 652 tán sắc ở tốc độ 2,5 Gbit/s cự ly bị hạn chế ở khoảng 928 km, nếu tốc độ tăng lên 10 Gbit/s thì cự ly truyền dẫn bị hạn chế chỉ còn 58 km.

Bảng 2.1: Cự ly bị hạn chế bởi tán sắc khi không có trạm lặp (trị số lý thuyết)

Tốc độ	1550 nm(G.652)	1550 nm(G.655)	1310 nm(G.652)
2.5 bit/s	928 km	4528 km	6400 km
10 Gbit/s	58 km	283 km	400 km
20 Gbit/s	14,5 km	70 km	100 km

Bản chất của tán sắc là sự giãn rộng xung tín hiệu khi truyền dẫn trên sợi quang. Tán sắc tổng cộng bao gồm: tán sắc mode, tán sắc vật liệu, và tán sắc dẫn sóng:

✓ **Tán sắc mode:** chỉ phụ thuộc vào kích thước sợi, đặc biệt là đường kính lõi của sợi, tán sắc mode tồn tại ở các sợi đa mode vì các mode trong sợi này lan truyền theo các đường đi khác nhau, có cự ly đường truyền khác nhau và do đó thời gian lan truyền giữa các mode khác nhau.

✓ **Tán sắc vật liệu:** chỉ số chiết suất trong sợi quang thay đổi theo bước sóng đã gây ra tán sắc vật liệu, vận tốc nhóm $V_{nhóm}$ của mode là một hàm số của chỉ số chiết suất, cho nên các thành phần phổ khác nhau của mode đã cho sẽ lan truyền đi ở các tốc độ khác nhau, phụ thuộc vào bước sóng, vì thế tán sắc vật liệu là một hiệu ứng tán sắc bên trong mode, và là yếu tố quan trọng đối với các sợi đơn mode và các hệ thống sử dụng nguồn phát quang là diode phát quang LED.

✓ **Tán sắc dẫn sóng:** do sợi đơn mode chỉ giữ được khoảng 80% năng lượng ở trong lõi, còn 20% năng lượng ánh sáng truyền trong vỏ sợi nhanh hơn năng lượng truyền trong lõi. Tán sắc dẫn sóng phụ thuộc vào hằng số lan truyền b (b là hàm của a/λ , với a là bán kính lõi sợi). Tán sắc dẫn sóng thường được bỏ qua trong sợi đa mode nhưng lại cần được quan tâm ở sợi đơn mode. Các phương pháp chính có thể sử dụng để giảm bớt ảnh hưởng của tán sắc là làm hẹp độ rộng phổ nguồn phát hoặc sử dụng một số phương pháp bù tán sắc như: Sử dụng sợi G.653 (sợi có mức tán sắc nhỏ tại cửa sổ truyền dẫn 1550nm), bù tán sắc bằng phương pháp điều chế tự dịch pha SPM, sử dụng các phần tử bù tán sắc thụ động và bù tán sắc bằng sợi DCF.

✓ **Tốc độ truyền dẫn:** Trong hệ thống ghép kênh quan theo bước sóng đa tốc độ đường thì tốc độ truyền trên mỗi kênh ảnh hưởng rất lớn đến tín hiệu và khoảng cách truyền dẫn. Điều này đã được chứng minh trên thực tế khi truyền các tín hiệu có tốc độ 2.5Gbps thì có khoảng cách truyền xa hơn gấp 4 lần với tốc độ 10Gbps và 40 lần với tốc độ 40Gbps.

2.5. Ảnh hưởng hiệu ứng phi tuyến

Đối với hệ thống thông tin sợi quang, công suất quang không lớn, sợi quang có tính năng truyền dẫn tuyến tính, sau khi dùng EDFA, công suất quang tăng lên, trong điều kiện nhất định sợi quang sẽ thể hiện đặc tính truyền dẫn phi tuyến tính, hạn chế rất lớn tính năng của bộ khuếch đại EDFA và hạn chế cự ly truyền dẫn dài không có trạm lặp. Hiệu ứng phi tuyến của sợi quang chủ yếu do ảnh hưởng của hiệu ứng tán xạ bao gồm: Tán xạ bị kích Brillouin (SBS), tán xạ bị kích Raman (SRS).

Do ảnh hưởng của hiệu suất khúc xạ bao gồm: Tự điều chế pha (SPM), điều chế pha chéo (XPM), trộn tần bốn sóng (FWM). Những hiệu ứng này phần lớn đều liên quan đến công suất đưa vào sợi quang.

a. Hiệu ứng SRS

Hiệu ứng Raman là do quá trình tán xạ mà trong đó photon của ánh sáng tới chuyển một phần năng lượng của mình cho dao động cơ học của các phần tử cấu thành môi trường truyền dẫn và phần năng lượng còn lại được phát xạ thành ánh sáng có bước sóng lớn hơn bước sóng của ánh sáng tín hiệu tới (ánh sáng với bước sóng mới này được

gọi là ánh sáng Stocke). Khi ánh sáng tín hiệu truyền trong sợi quang (ánh sáng này có cường độ lớn), quá trình này trở thành quá trình kích thích mà trong đó ánh sáng tín hiệu đóng vai trò sóng bơm (gọi là bơm Raman) làm cho một phần năng lượng của tín hiệu được chuyển tới bước sóng Stocke.

Trong hệ thống WDM hiệu ứng này làm hạn chế số kênh, khoảng cách giữa các kênh, công suất của từng kênh và tổng chiều dài của hệ thống. Hơn nữa, nếu như bước sóng mới tạo ra trùng với kênh tín hiệu thì hiệu ứng này còn gây xuyên nhiễu giữa các kênh.

b. Hiệu ứng SBS

Hiệu ứng SBS tương tự như hiệu ứng SRS, tức là có một phần ánh sáng bị tán xạ và bị dịch tới bước sóng dài hơn bước sóng tới, ánh sáng có bước sóng dài hơn này gọi là ánh sáng Stocke. Điểm khác nhau của hai hiệu ứng này là độ dịch tần xảy ra trong hiệu ứng SBS nhỏ hơn độ dịch tần xảy ra trong hiệu ứng SRS (độ dịch tần trong hiệu ứng SBS là khoảng 11 GHz tại bước sóng 1550 nm). Trong hiệu ứng SBS chỉ có phần ánh sáng bị tán xạ theo chiều ngược lại (tức là ngược chiều với chiều tín hiệu) mới có thể truyền đi ở trong sợi quang. Vì vậy trong hệ thống WDM khi tất cả các kênh cùng truyền theo một hướng thì hiệu ứng SBS không gây xuyên nhiễu giữa các kênh.

Hiệu ứng SBS sẽ ảnh hưởng đến mức công suất của từng kênh và khoảng cách giữa các kênh trong hệ thống WDM. Hiệu ứng này không phụ thuộc vào số kênh của hệ thống.

c. Hiệu ứng SPM

SPM là hiệu ứng xảy ra khi cường độ quang đưa vào thay đổi, hiệu suất khúc xạ của sợi quang cũng biến đổi theo (nói cách khác là chiết suất của môi trường truyền dẫn thay đổi theo cường độ ánh sáng truyền). Sự biến đổi công suất quang càng nhanh thì sự biến đổi tần số quang cũng càng lớn, làm ảnh hưởng lớn đối với xung hẹp, khó khăn trong việc nâng cao tốc độ trong hệ thống.

d. Hiệu ứng XPM

Do trong hệ thống WDM có nhiều bước sóng cùng lan truyền trên một sợi quang, nên hệ số chiết suất tại một bước sóng nào đó không chỉ phụ thuộc vào cường độ sáng của

bản thân sóng ấy mà còn phụ thuộc vào cường độ của các bước sóng khác lan truyền trong sợi. Điều này dẫn tới pha của tín hiệu bị điều chế bởi cường độ ánh sáng của các kênh khác và gây ra xuyên nhiễu giữa các kênh.

e. Hiệu ứng FWM

Hiện tượng chiết suất phi tuyến còn gây ra một hiệu ứng khác trong sợi đơn mode, đó là hiệu ứng FWM. Trong hiệu ứng này, nhiều tín hiệu quang có cường độ tương đối mạnh sẽ tương tác với nhau tạo ra các thành phần tần số mới. Sự tương tác này có thể xảy ra giữa các bước sóng của tín hiệu trong hệ thống WDM, hoặc giữa bước sóng tín hiệu với bức xạ tự phát được khuếch đại ASE (Amplifier Spontaneous Emission) của các bộ khuếch đại quang, cũng như giữa mode chính và mode bên của một kênh tín hiệu.

Sự suy giảm công suất làm giảm tỉ số S/N dẫn đến làm tăng BER của hệ thống. Các hệ thống WDM chủ yếu làm việc ở vùng cửa sổ bước sóng 1550 nm, tán sắc của sợi quang đơn mode thông thường (sợi G.652) tại cửa sổ này là khoảng 18 ps/nm.km, còn tán sắc của sợi tán sắc dịch chuyển (sợi G.653) là nhỏ hơn 3 ps/nm.km. Từ đó ta thấy, hệ thống WDM làm việc với sợi đơn mode chuẩn thông thường (SSMF) sẽ ít bị ảnh hưởng bởi hiệu ứng FWM hơn hệ thống WDM sử dụng sợi dịch tán sắc DSF (Dispersion Shifted Fiber). Ảnh hưởng của hiệu ứng FWM càng lớn nếu như khoảng cách giữa các kênh trong hệ thống WDM càng nhỏ, và mức công suất của mỗi kênh càng lớn. Như vậy hiệu ứng FWM sẽ làm hạn chế dung lượng truyền dẫn của hệ thống WDM.

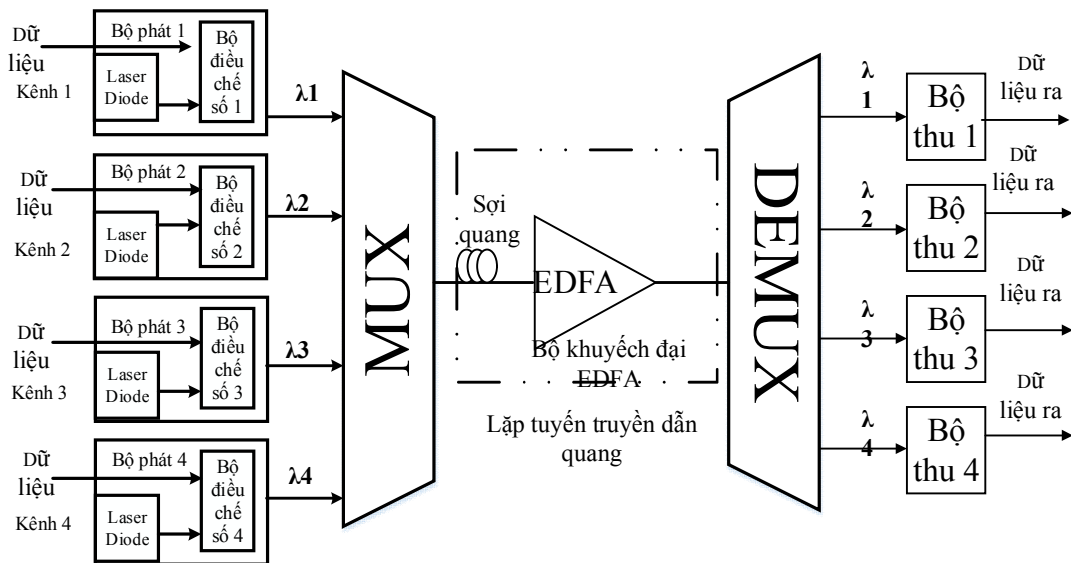
2.6 Kết luận chương 2

Chương 2 luận văn đã tìm hiểu về kiến trúc hệ thống WDM đa tốc độ đường, các thành phần hệ thống, các phương pháp điều chế giải điều chế, các yếu tố ảnh hưởng hiệu năng hệ thống cũng như các hiệu ứng phi tuyến ảnh hưởng tới quá trình truyền dẫn. Trong các yếu tố ảnh hưởng đã kể ra được các yếu tố ảnh hưởng chính đến hệ thống, kênh truyền như hiệu ứng Raman, hiệu ứng SBS, hiệu ứng SPM, hiệu ứng méo xuyên pha, hiệu ứng trộn bốn bước sóng. Chương 2 còn nói đến các thành phần cơ bản của hệ thống WDM đa tốc độ đường như các bộ khuếch đại, bộ phát, bộ tách ghép quang, các bộ giám sát đường truyền... và các phương pháp điều chế sử dụng trong hệ thống WDM đa tốc độ đường.

CHƯƠNG 3 ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG HỆ THỐNG WDM ĐA TỐC ĐỘ ĐƯỜNG

3.1 Hệ thống WDM đa tốc độ đường

Để thực hiện đánh giá được hiệu năng hệ thống WDM đa tốc độ đường luận văn tiến hành khảo sát hệ thống WDM đa tốc độ đường 4 kênh như sơ đồ hệ thống hình 3.1. Mỗi khối tương ứng sẽ ứng với các thiết bị mô phỏng để mô phỏng tiến tới gần với thực tế. Và độ kiểm chứng kết quả sẽ gần với thực tế hơn. Trong hình 3.1, mô hình hệ thống gồm có các thành phần sau: Bộ phát, bộ tách và ghép 4 bước sóng, sợi quang, bộ khuếch đại quang và bộ thu.



Hình 3.1: Mô hình hệ thống WDM đa tốc độ đường 4 kênh

✓ **Bộ phát:** Gồm Laser diode, bộ tạo tốc độ được điều chế với các phương thức điều chế khác nhau như PSK, RZ, NRZ, OOK, DPSK... Được kết hợp với nhau qua bộ Mach-Zender.

✓ **Bộ ghép và tách quang:** Sử dụng bộ ghép quang 4 kênh MUX 4x1 và bộ tách quang DEMUX 1x4. Để ghép và tách 4 bước sóng khác nhau.

✓ **Tuyến truyền dẫn quang:** Sử dụng sợi G652 cho độ suy hao thấp và ổn

định, thích hợp cho truyền đường trực.

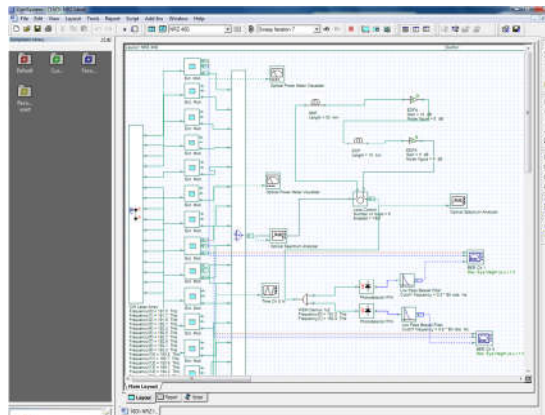
✓ **Bộ khuếch đại:** Sử dụng bộ khuếch đại quang EDFA, giúp giảm các ảnh hưởng không mong muốn và tăng tính trong suốt của hệ thống, đảm bảo tốc độ đường truyền, giảm trễ.

✓ **Bộ thu:** Sử dụng bộ thu quang PIN hoặc APD, qua bộ lọc thông thấp để lấy tín hiệu rồi qua bộ tái tạo tín hiệu 3R để lấy tín hiệu cần xem.

3.2 Mô hình hóa hệ thống WDM đa tốc độ đường 4 kênh

3.2.1 Công cụ mô phỏng Optisystem [7.0]

OptiSystem là phần mềm mô phỏng hệ thống thông tin quang. Phần mềm này có khả năng thiết kế, đo kiểm tra và thực hiện tối ưu hóa rất nhiều loại tuyến thông tin quang, dựa trên khả năng mô hình hóa các hệ thống thông tin quang trong thực tế. Bên cạnh đó, phần mềm này cũng có thể dễ dàng mở rộng do người sử dụng có thể đưa thêm các phần tử tự định nghĩa vào. Phần mềm có giao diện thân thiện, khả năng hiển thị trực quan như hình 3.2. [8]



Hình 3.2: Giao diện phần mềm Optisystem

Hơn thế nữa Optisystem cho phép thiết kế hầu hết các loại tuyến thông tin quang ở lớp vật lý, từ hệ thống đường trực cho đến các mạng LAN, MAN quang. Hỗ trợ đắc lực trong học tập nghiên cứu mô phỏng, xây dựng dự án và thường xuyên được sử dụng trong: Thiết kế mạng TDM/WDM và CATV, thiết kế mạng FTTx dựa trên mạng quang thụ động (PON), đánh giá BER và penalty của hệ thống với các mô hình bộ thu khác nhau hay tính toán BER và quỹ công suất tuyến của các hệ thống có

sử dụng khuếch đại quang. Chương trình mô phỏng Optisystem hỗ trợ một số thiết bị và công cụ đo, hiển thị cơ bản sau:

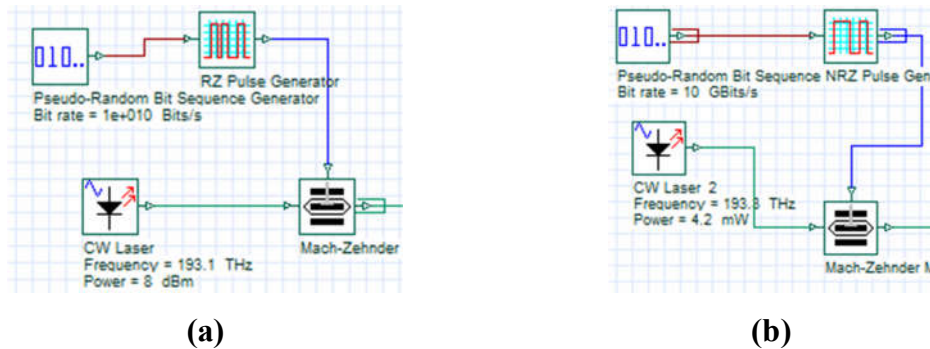
✓ **Các công cụ hiển thị:** Optisystem có đầy đủ các thiết bị đo quang, đo điện. Cho phép hiển thị tham số, dạng, chất lượng tín hiệu tại mọi điểm trên hệ thống.

✓ **Thiết bị đo quang:** Thiết bị đo công suất, thiết bị đo miền thời gian quang, thiết bị phân tích WDM, thiết bị phân tích phân cực, thiết bị đo phân cực ...

✓ **Thiết bị đo điện:** Oscilloscope, Thiết bị phân tích phổ RF, Thiết bị phân tích biểu đồ hình mắt, Thiết bị phân tích lỗi bit, Thiết bị đo công suất, Thiết bị phân tích sóng mang điện...[8]

3.2.2 Các thành phần hệ thống WDM đa tốc độ đường

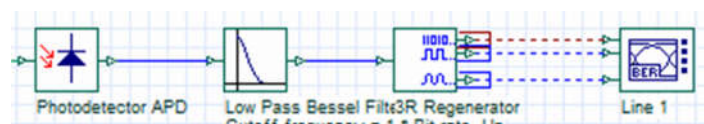
✓ **Bộ phát:** Khối phát gồm các thành phần như trong hình 3.3.



Hình 3.3: Khối phát tín hiệu

Hình 3.2(a) Khối phát gồm có bộ tạo tốc độ bit, bộ tạo xung RZ hoặc NRZ, bộ phát laser và bộ ghép tín hiệu Mach-Zehnder. Bộ tạo tốc độ bit sẽ tạo tốc độ truyền mong muốn trên đường truyền và đưa vào bộ tạo xung để điều chế tín hiệu. Tín hiệu sau điều chế được đưa tới bộ Mach-Zehnder cùng được kết hợp với bộ phát laser, chính là sóng mang sẽ đưa tín hiệu điều chế đi cùng với tốc độ bit mong muốn. Trong hình 3.2 (b) là khối phát sử dụng điều chế NRZ. Cũng có các phương pháp điều chế khác nữa như PAM, PSK, DPSK, MSK...

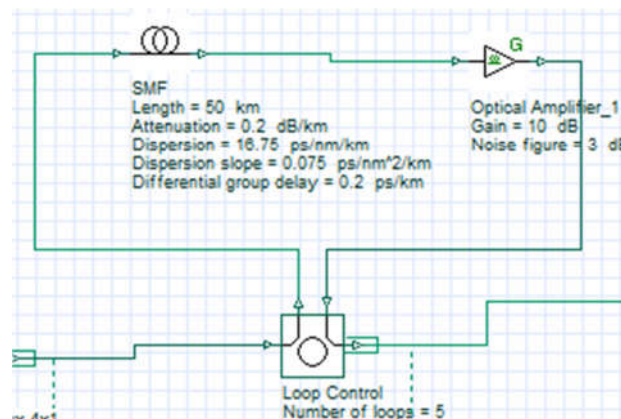
✓ **Bộ thu:** Bộ thu gồm các thành phần như trong hình 3.3:



Hình 3.4: Khối thu và hiển thị

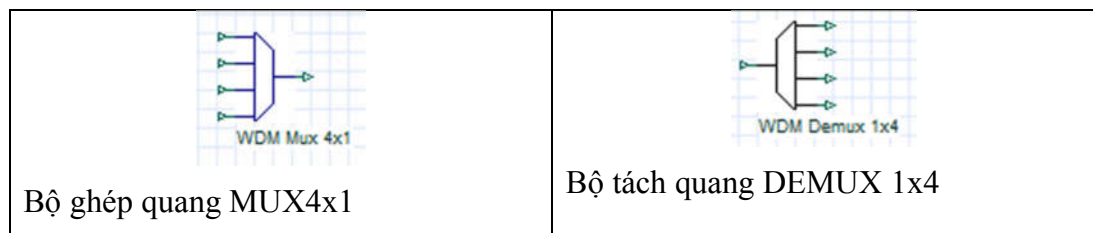
Bộ thu gồm photodetector APD, bộ lọc thông thấp, máy tạo tín hiệu 3R và máy phân tích tín hiệu. Tín hiệu quang được đưa tới photodetector APD để chuyển đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện với tốc độ cao, tần số cao. Sẽ được đưa tới bộ lọc thông thấp để lọc lấy tín hiệu. Tín hiệu thu được lại được chuyển qua máy phát 3R để xử lý rồi chuyển qua máy phân tích tín hiệu để xem dạng tín hiệu, BER của hệ thống.

✓ **Tuyến truyền dẫn quang:** Tuyến truyền dẫn quang gồm các thành phần như mô tả trong hình 3.5. Tuyến truyền gồm sợi quang SMF, bộ khuếch đại quang EDFA, vòng lặp quang Loop. Tín hiệu quang được đưa tới vòng lặp để tăng độ dài tuyến truyền và để sát với thực tế là phải có các trạm lặp tín hiệu trên các tuyến truyền dài. Trong vòng lặp có sợi quang SMF với độ dài là 50 km và hệ số suy hao là 0.2dB/km được nối với bộ khuếch đại quang EDFA có độ lợi $G=10$ dB. Vòng lặp với hệ số n lần sẽ được đặt theo độ dài tuyến quang mong muốn.



Hình 3.5: Tuyến truyền quang

✓ **Tách và ghép bước sóng:** Bộ tách và ghép bước sóng như trong hình 3.6:










Hình 3.6: Bộ tách và ghép bước sóng 4 kênh

Bộ tách ghép quang sử dụng là MUX và DEMUX, hệ thống dùng 4 kênh nên bộ tách và ghép quang sử dụng là bộ MUX 4x1 và bộ DEMUX 1x4. Bộ MUX giúp

gộp 4 bước sóng ánh sáng thành 1 và truyền đi trên sợi quang. Bộ DEMUX thì tách tín hiệu quang thành 4 bước sóng khác nhau.

✓ **Thiết bị đo và hiển thị tín hiệu:** Đây là các thiết bị, công cụ hỗ trợ mô phỏng đo đạc, hiển thị dạng sóng tín hiệu, phổ và cường độ tín hiệu trong bảng 3.1.

Bảng 3.1: Bảng thiết bị đo, hiển thị dạng tín hiệu sử dụng trong phần mềm Optisystem [7.0]

 Oscilloscope Visualizer	Máy phân tích hiển thị tín hiệu theo thời gian thực Oscilloscope
 Eye Diagram Analyzer	Máy hiển thị tín hiệu đồ thị mắt
 Electrical Power Meter Visualizer	Đồng hồ đo tín hiệu điện
 BER Analyzer	Máy phân tích tín hiệu BER
 Optical Spectrum Analyzer	Máy đo phổ tín hiệu
 Optical Power Meter	Đồng hồ đo công suất nguồn quang
 WDM Analyzer Lower frequency limit = 185 THz Upper frequency limit = 200 THz	Máy phân tích hiển thị tín hiệu trong hệ thống WDM

Trong hình có thiết bị đo phân tích phổ, đo công suất quang và máy phân tích BER. Những thiết bị này sẽ được sử dụng khi người thiết kế muốn đo kiểm, lấy kết quả để báo cáo, tính toán. Thiết bị đo rất có ích khi có lỗi xảy ra để người thiết kế dễ dàng điều chỉnh hệ thống.

3.3 Đánh giá hiệu năng hệ thống WDM đa tốc độ đường

3.3.1 Kênh cùng tốc độ

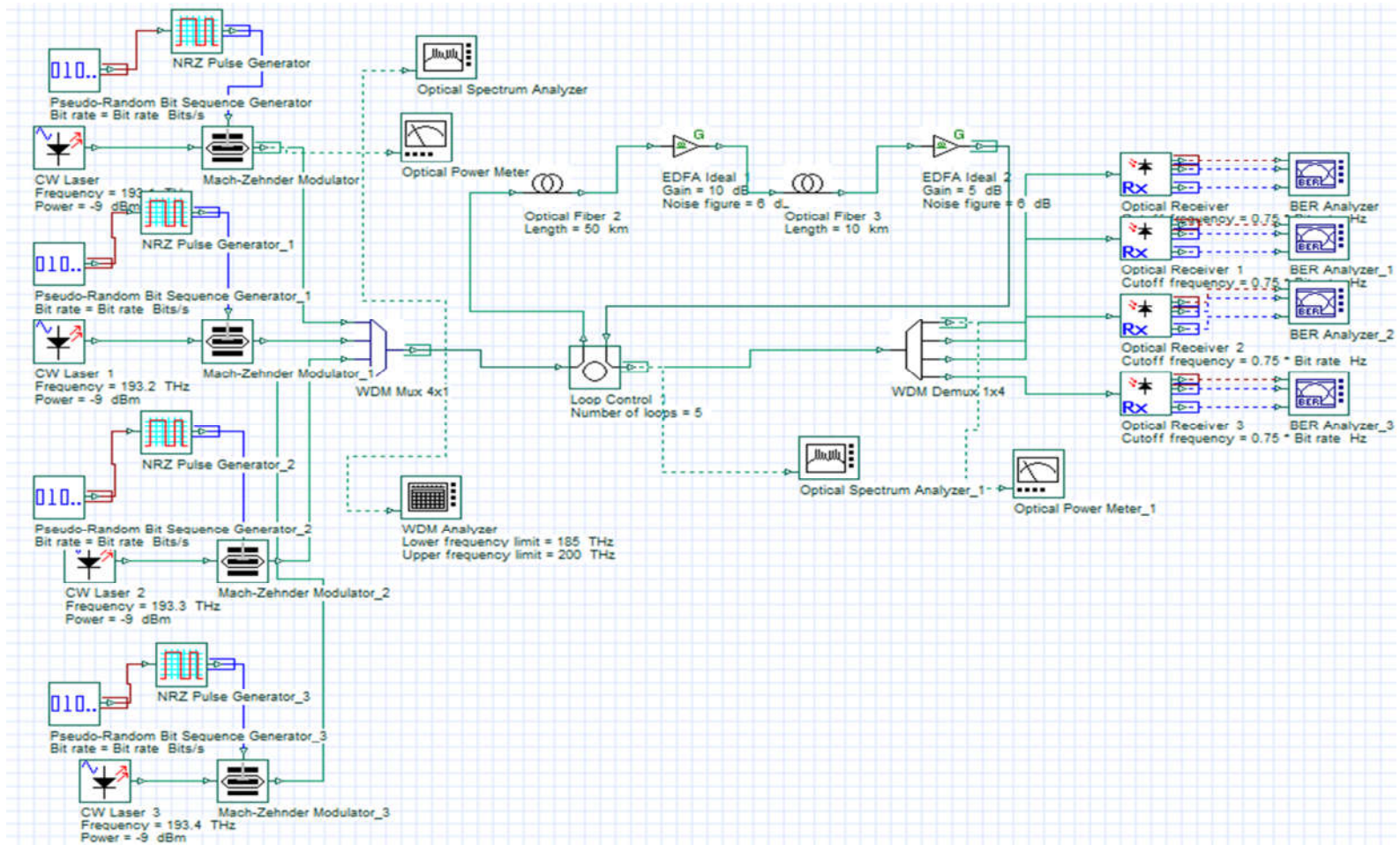
a. Kênh cùng loại điều chế

Đánh giá hệ thống ghép kênh quang theo bước sóng đa tốc độ đường luận văn sẽ xét hệ thống WDM truyền thống tốc độ 10Gbps cùng phương thức điều chế để thấy được sự khác biệt giữa 2 hệ thống. Sơ đồ hệ thống WDM đa tốc độ đường mô phỏng bằng công cụ Optisystem được thể hiện trong hình 3.7.

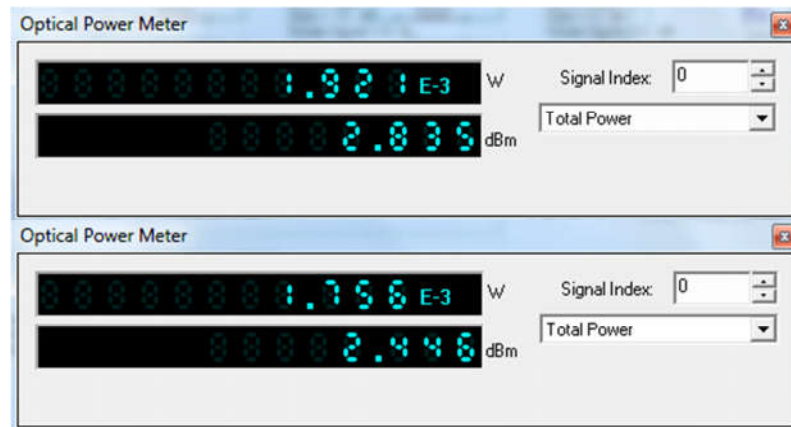
Bảng 3.2: Thông số hệ thống

Thiết bị	Thông số
Bộ phát laser	Công suất phát
Bộ tạo tốc độ	Tốc độ 10Gbps
Bộ mã hóa nhị phân	Mã hóa RZ hoặc NRZ
Bộ ghép tín hiệu điện	Mach-zender
Bộ ghép quang MUX	Bộ ghép kênh 4x1, khoảng cách kênh 100GHz, 4 Bước sóng lần lượt 193.1, 193.2, 193.3, 193.4
Bộ tách quang DEMUX	Bộ tách kênh 1x4, khoảng cách kênh 100GHz, 4 Bước sóng lần lượt 193.1, 193.2, 193.3, 193.4
Sợi quang SMF	Độ dài từng chặng: 50km; suy hao: 0.2dB/km
Sợi bù tán sắc DCF	Độ dài từng chặng: 10km; suy hao: 0.5dB/km
Bộ khuếch đại EDFA	Độ lợi G1: 10dB; G2: 5dB
Số Vòng lặp	5
Bộ thu quang	Sử dụng APD hoặc PIN
Bộ thông thấp	

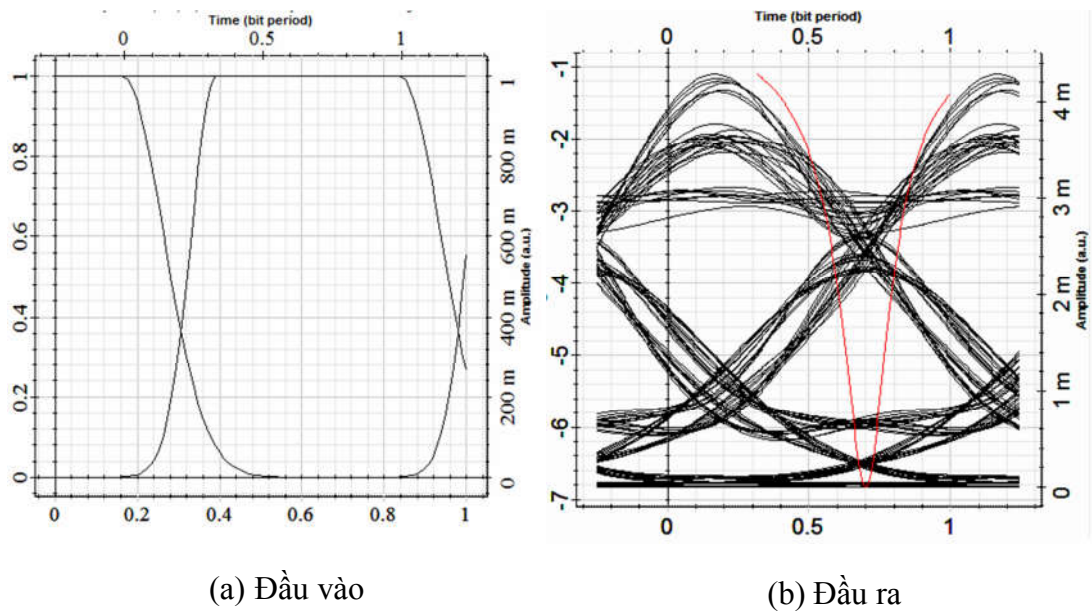
Triển khai mô phỏng hệ thống và sử dụng các thiết bị đo tương ứng, ta thu được các kết quả mô phỏng, chất lượng kênh truyền theo các tham số bao gồm công suất tín hiệu, biểu đồ mắt và tỉ lệ lỗi bit của mỗi kênh. Hình 3.8 thể hiện giá trị công suất tín hiệu quang tại phía phát và phía thu đã được bỏ thiết bị đo công suất Optical Power Meter và Optical Power Meter 1. Kết quả cho thấy suy hao tổng cộng kênh truyền là 0.389 dBm.



Hình 3.7: Sơ đồ mô phỏng hệ thống WDM 4 kênh tốc độ 10Gbps, cùng phương thức điều chế

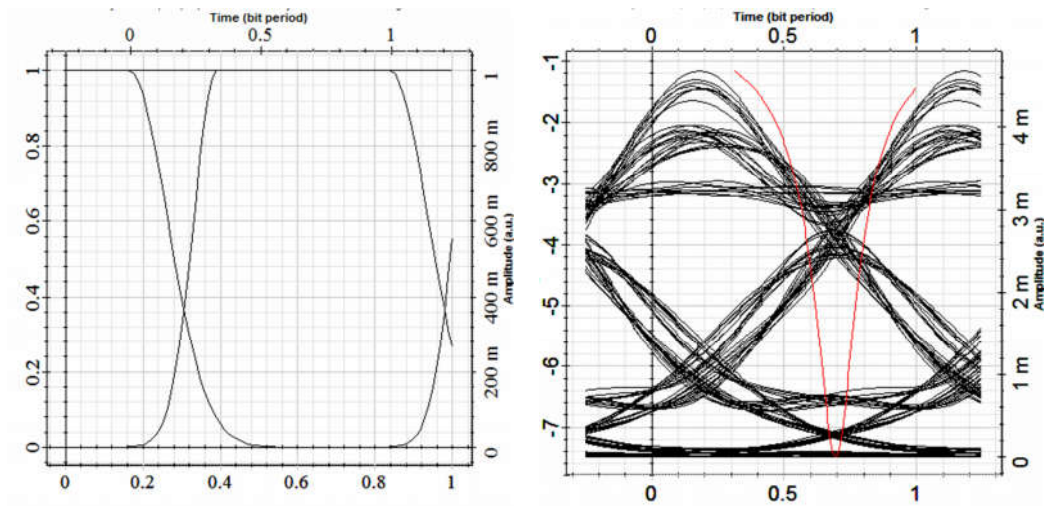


Hình 3.8: Công suất tại nguồn phát và nguồn thu kênh 1 của hệ thống WDM tốc độ 10Gbps



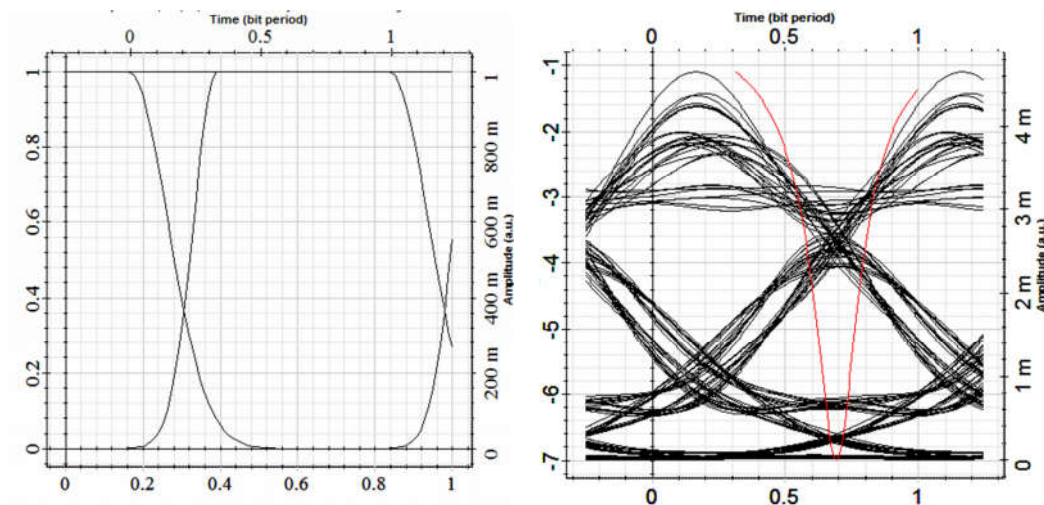
Hình 3.9: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 1

Ở trong hình 3.9 ta thấy được đồ thị mắt của đầu vào kênh 1 và đầu ra ở phía thu, hình ảnh đồ thị mắt thu được có độ mở to, rõ ràng cho thấy chất lượng kênh truyền rất tốt. Tiếp đó là các đồ thị mắt của các kênh còn lại từ hình 3.10 đến hình 3.12 cũng cho kết quả đồ thị mắt to rõ ràng. Nhưng các đồ thị mắt này cho thấy có sự sai khác nhau, lý do là vì đặc tính kênh truyền, bước sóng từng kênh khác nhau nên ảnh hưởng nhiều từng kênh là khác nhau. Nhưng tất cả giá trị thu được tại các kênh truyền đều đạt giá trị tốt và kênh hoạt động tốt.



(a) Đầu vào

(b) Đầu ra

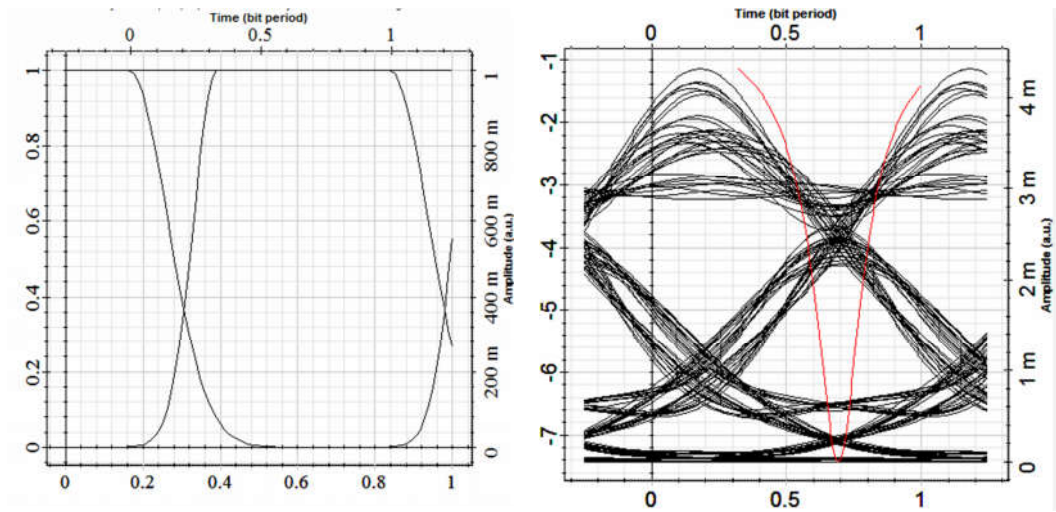
Hình 3.10: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 2

(a) Đầu vào

(b) Đầu ra

Hình 3.11: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 3

Không những thế để đánh giá thêm hiệu năng của kênh, luận văn đã đánh giá BER của từng kênh để đo chất lượng của từng kênh. Như Hình 3.13 lần lượt là tỉ lệ lỗi bit của 4 kênh từ 10^{-7} đến 10^{-8} . Kết quả cho thấy tỉ lệ lỗi bit của các kênh được mô phỏng đều cho phép phía thu thu được tín hiệu tốt.



(a) Đầu vào

(b) Đầu ra

Hình 3.12: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 4

Analysis	
Max. Q Factor	5.12329
Min. BER	1.4999e-007
Eye Height	0.000932018
Threshold	0.00146021
Decision Inst.	0.699219

(a) Kênh 1

Analysis	
Max. Q Factor	5.40133
Min. BER	3.30717e-008
Eye Height	0.00109801
Threshold	0.00153522
Decision Inst.	0.695313

(b) Kênh 2

Analysis	
Max. Q Factor	5.19369
Min. BER	1.03074e-007
Eye Height	0.00100226
Threshold	0.00150495
Decision Inst.	0.691406

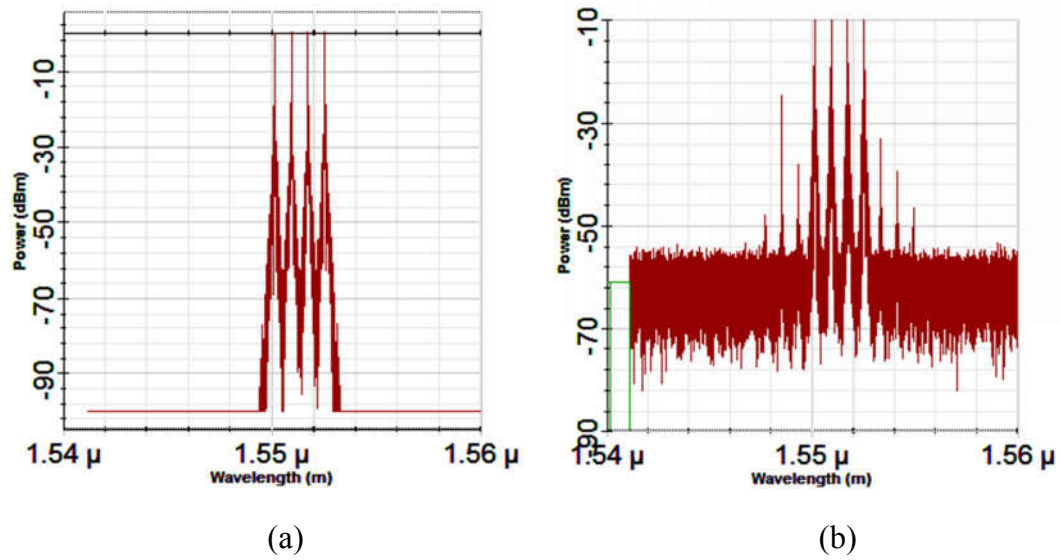
(c) Kênh 3

Analysis	
Max. Q Factor	5.37871
Min. BER	3.74645e-008
Eye Height	0.00100543
Threshold	0.00137965
Decision Inst.	0.691406

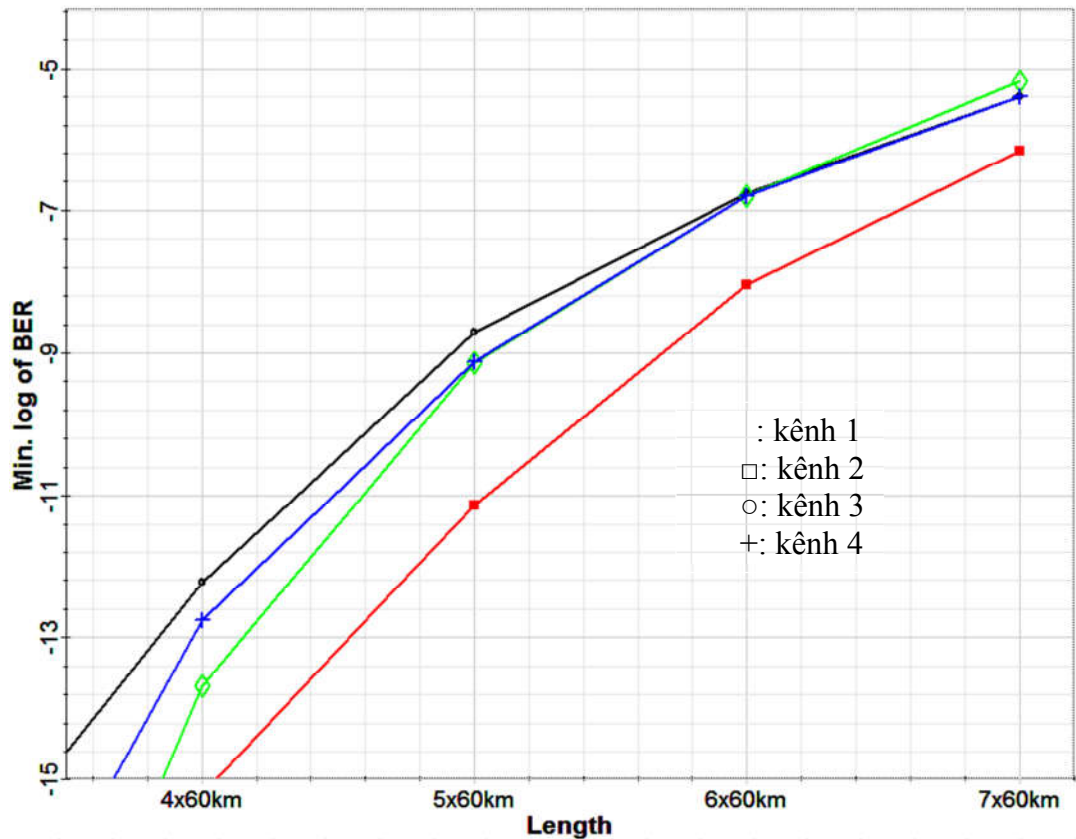
(d) Kênh 4

Hình 3.13: Đo BER của 4 kênh trong hệ thống WDM tốc độ 10Gbps

Hình 3.14 là kết quả đo của máy hiện phổ đo tại 2 điểm. Điểm thứ nhất tại đầu ra của bộ MUX, tại điểm này ta đo được 4 vạch phổ tương ứng với 4 bước sóng hay 4 kênh thông tin (hình 3.24 a). Điểm thứ 2 đo tại đầu vào của bộ DEMUX, lúc này phổ thu được có 4 vạch phổ của ban đầu với các vạch phổ khác do nhiễu của thiết bị hoặc do nhiễu kênh truyền.



Hình 3.14: Đồ thị phổ đầu vào (a) – ra (b) cho kênh 4

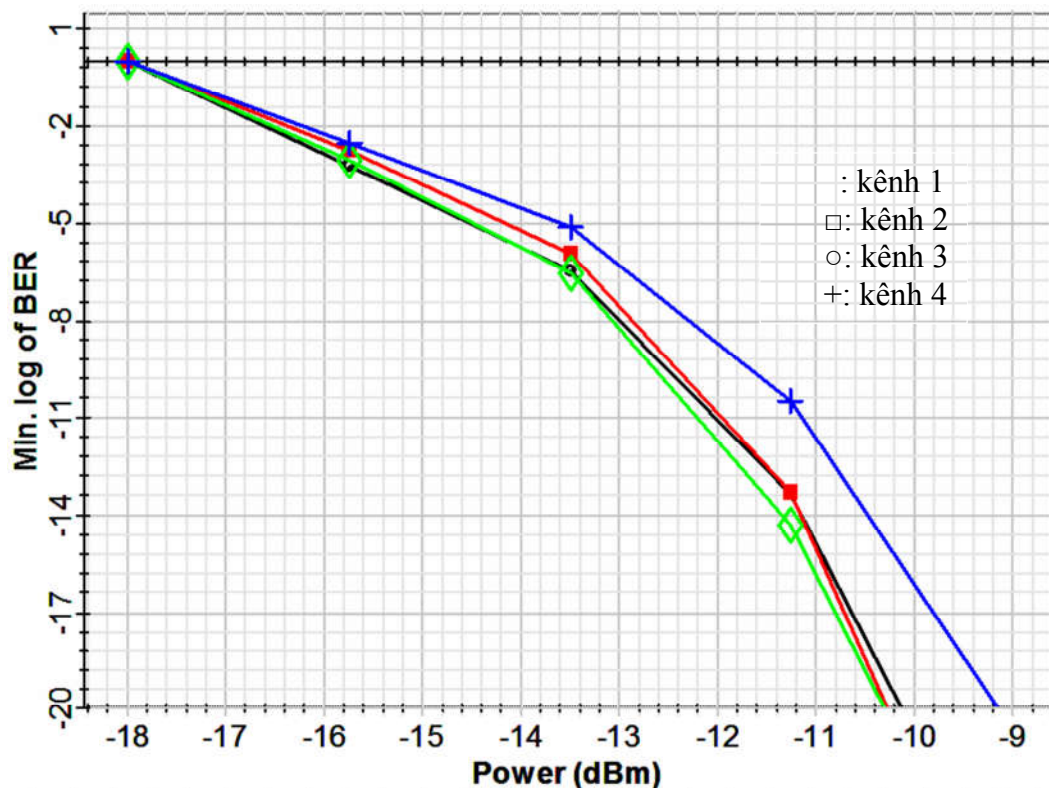


Hình 3. 15: Đồ thị BER theo độ dài tuyến quang

Thêm vào đó hình 3.15 là kết quả báo cáo sử dụng phần mềm Optisystem để đánh giá hiệu năng của hệ thống WDM, đánh giá BER với khoảng cách truyền dẫn

của đồng thời 4 kênh có tốc độ 10Gbps truyền trên tổng độ dài 420 km. Kết quả cho thấy BER tăng khi quãng đường truyền dẫn càng lớn và ngược lại. BER của hệ thống đạt hiệu quả khi trong dải từ 10^{-6} đến 10^{-14} . Các đường biểu diễn của kênh 1 đến 4 có sự sai khác nhau lý do vì sử dụng các bước sóng khác nhau nên sự ảnh hưởng của nhiễu và phi tuyến lên các bước sóng là khác nhau. Hình vẽ cho thấy hệ thống ghép 4 kênh đảm bảo đường truyền với chiều dài 420 km vẫn cho phép thu được tín hiệu.

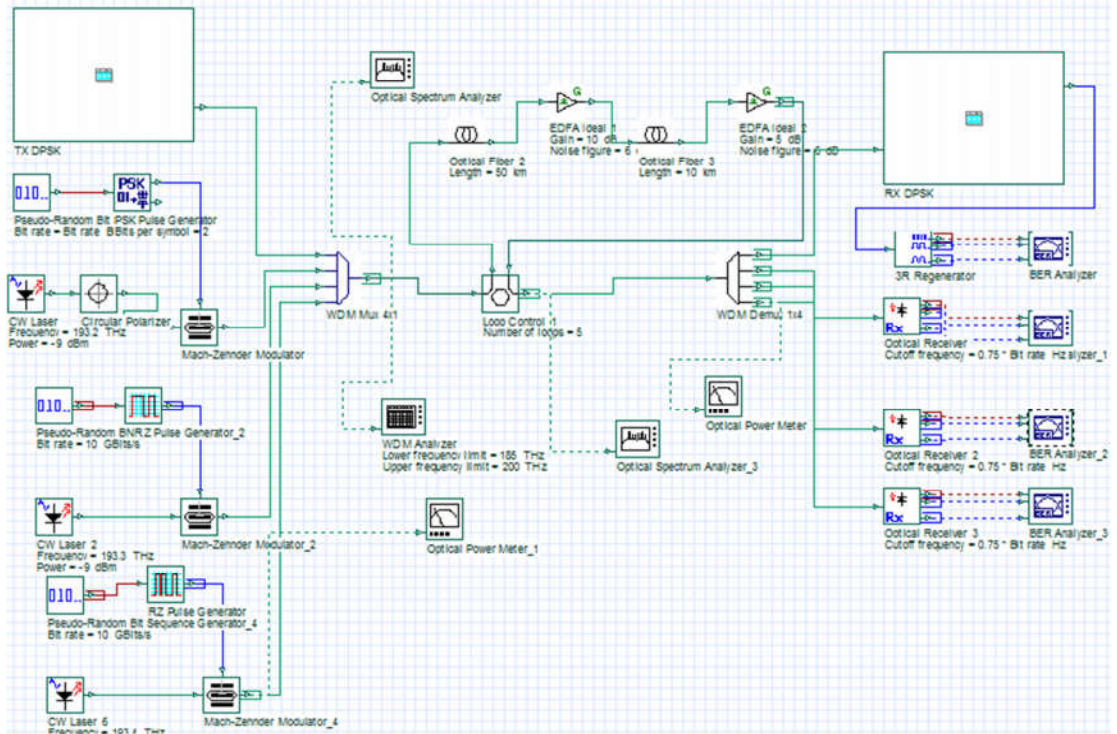
Cuối cùng hình 3.16 là kết quả phản ánh sự phụ thuộc của BER vào công suất phát quang. Kết quả cho thấy tỉ lệ lỗi bit giảm khi công suất tăng và có chiều đi lên khi công suất vượt quá ngưỡng. Bốn kênh trong đồ thị cho thấy sự biến thiên từ từ theo công suất phát tăng dần. Sự tăng và giảm này cũng cho thấy chất lượng đường truyền phụ thuộc nhiều vào công suất phát quang tại phía phát. Do sử dụng các bước sóng khác nhau dẫn đến các đường biểu diễn của các kênh là khác nhau.



Hình 3.16: Quan hệ BER theo công suất phát quang

b. Kênh khác loại điều chế

Đầu tiên, để khảo sát sự ảnh hưởng của các phương pháp điều chế đến công nghệ ghép kênh quang theo bước sóng. Luận văn đã khảo sát hệ thống ghép kênh quang theo 4 bước sóng sử dụng 4 phương pháp điều chế khác nhau: DPSK, BPSK, NRZ, RZ. Do sử dụng 4 phương pháp điều chế ở bộ phát nên sẽ có 4 bộ giải điều chế ở phía thu tương ứng. Như trong hình 3.17 là sơ đồ hệ thống WDM đa tốc độ đường đa phương thức điều chế. Với các thông số hệ thống có chi tiết trong bảng 3.3 ở bảng dưới.



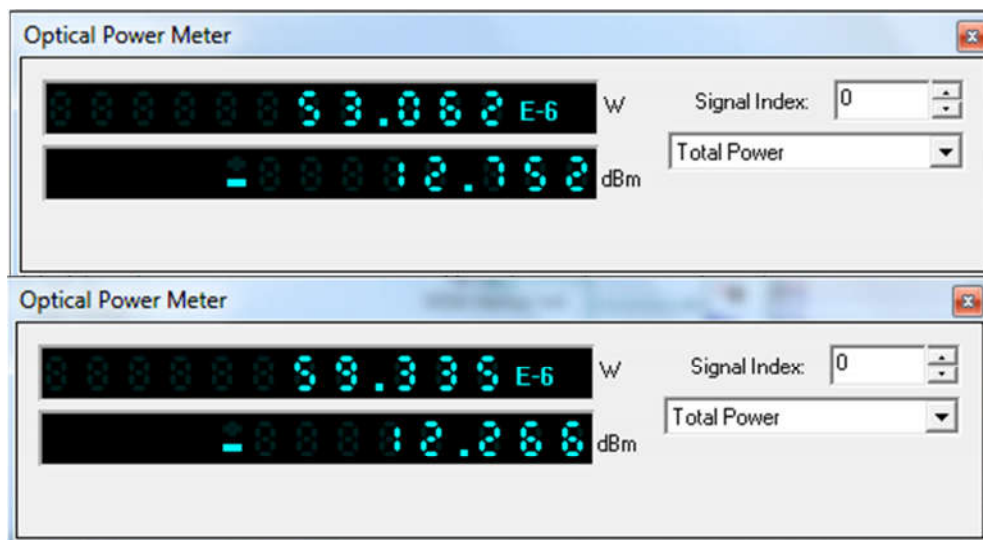
Hình 3.17: Sơ đồ hệ thống WDM đa tốc độ, đa phương thức điều chế

Bảng 3.3: Thông số hệ thống

Thiết bị	Thông số
Bộ phát laser	Công suất phát
Bộ tạo tốc độ	Tốc độ 10Gpbs
Phương pháp điều chế	Mã hóa RZ, NRZ, BPSK, DPSK
Bộ ghép tín hiệu điện	Mach-Zender
Bộ ghép quang MUX	Bộ ghép kênh 4x1, khoảng cách kênh 100GHz, 4

	Bước sóng lần lượt 193.1, 193.2, 193.3, 193.4
Bộ tách quang DEMUX	Bộ tách kênh 1x4, khoảng cách kênh 100GHz, 4 Bước sóng lần lượt 193.1, 193.2, 193.3, 193.4
Sợi quang SMF	Độ dài chặng L1: 50km; suy hao: 0.2dB/km
Sợi bù tán sắc DCF	Độ dài chặng L2: 50km; suy hao: 0.5dB/km
Bộ khuếch đại EDFA	Độ lợi G1: 10dB; G2:5dB
Số vòng lặp	5
Bộ thu quang	Sử dụng APD hoặc PIN
Bộ thông thấp	

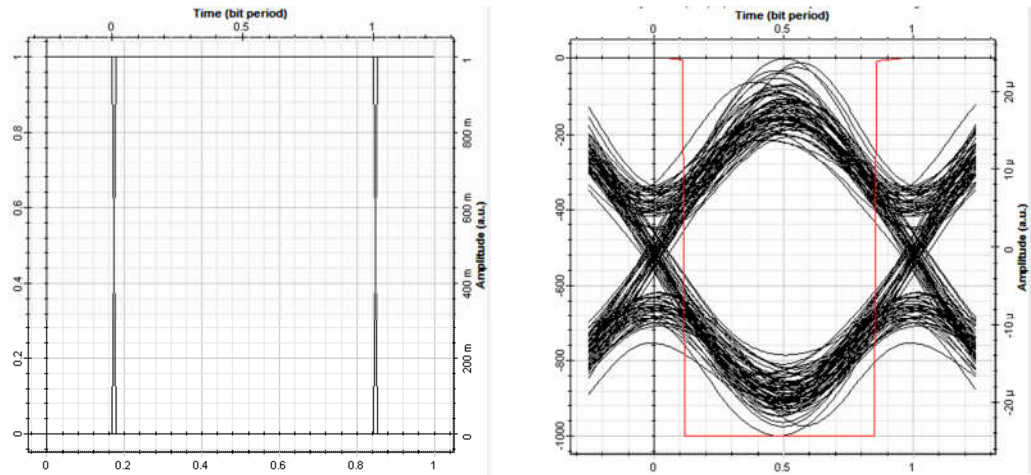
Tiếp theo, triển khai mô phỏng hệ thống và sử dụng các thiết bị đo tương ứng, ta thu được các kết quả mô phỏng, chất lượng kênh truyền theo các tham số bao gồm công suất tín hiệu, biểu đồ mắt và tỉ lệ lỗi bit của mỗi kênh. Hình 3.18 thể hiện giá trị công suất tín hiệu quang tại phía phát và phía thu đã được bố thiết bị đo công suất Optical Power Meter và Optical Power Meter 1. Kết quả cho thấy suy hao tổng cộng kênh truyền là 0.486 dBm.



Hình 3.18: Công suất đầu ra tại bộ phát và đầu vào tại bộ thu kênh 1 của hệ thống WDM, đa phương thức điều chế

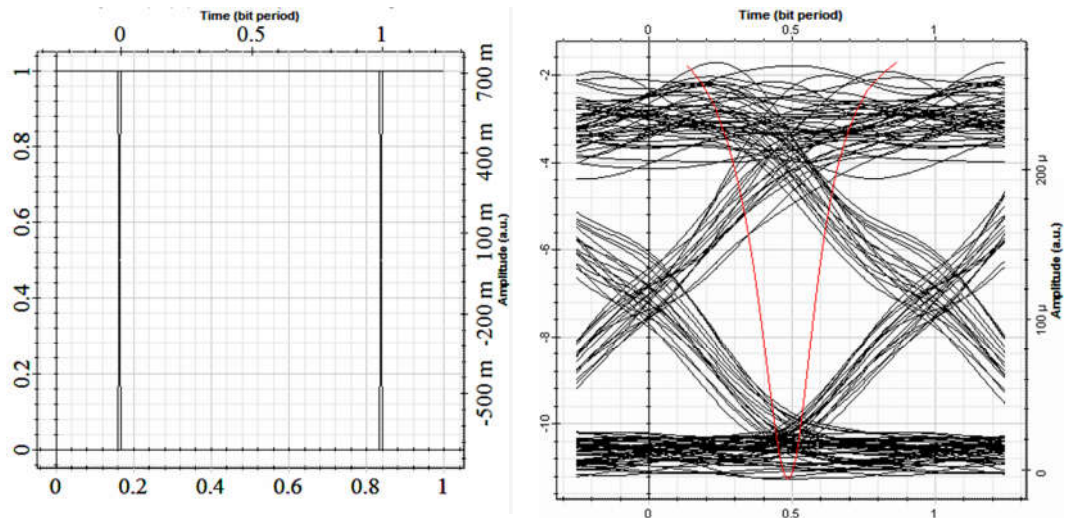
Tiếp nữa, khảo sát kết quả truyền của tín hiệu bằng đồ thị mắt bài viết thu được 4 kết quả tương ứng với 4 kênh bước sóng khác nhau. Ở Hình 3.19 là kết quả

hiển thị đồ thị mắt sử dụng công cụ máy phân tích BER đo điểm đầu vào và đầu ra của kênh 1. Mắt đồ thị ở hình (b) có độ rộng lớn, rõ ràng cho thấy chất lượng kênh truyền tốt. Còn các đồ thị mắt ở Hình 3.20 đến Hìn 3.22 cũng cho kết quả đồ thị mắt to, rõ ràng. Các đồ thị mắt này khác nhau do các bước sóng khác nhau sẽ ảnh hưởng tới chất lượng kênh truyền khác nhau.



(a) Đầu vào

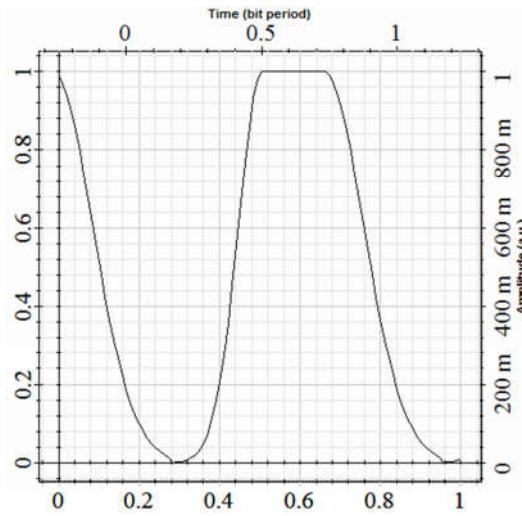
(b) Đầu ra

Hình 3.19: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 1

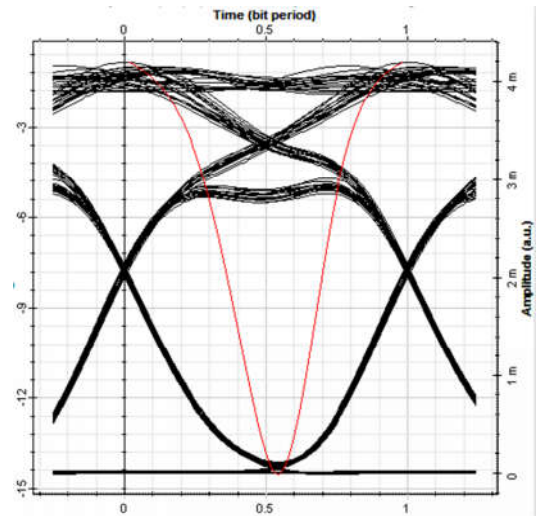
(a) Đầu vào

(b) Đầu ra

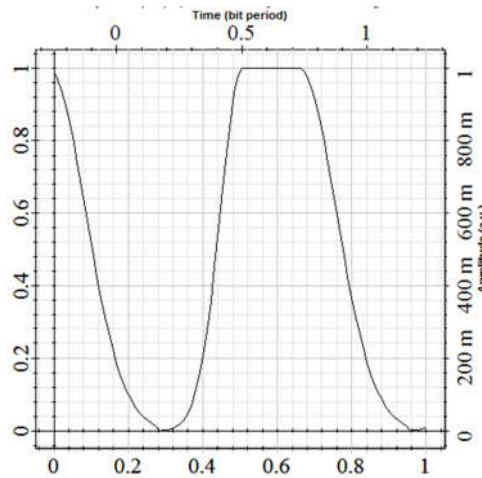
Hình 3.20: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 2



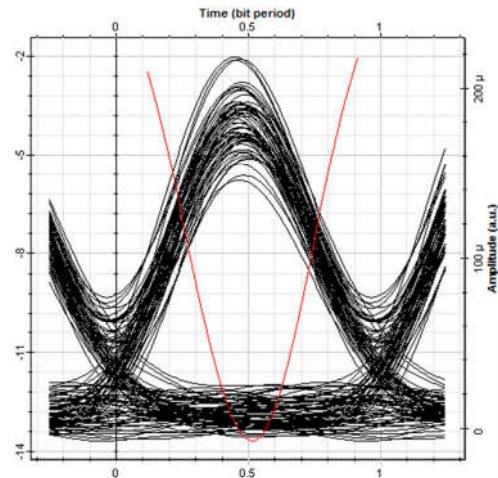
(a) Đầu vào



(b) Đầu ra

Hình 3.21: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 3

(a) Đầu vào



(b) Đầu ra

Hình 3.22: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 4

Analysis	
Max. Q Factor	8.21663
Min. BER	3.01837e-009
Eye Height	2.32733e-005
Threshold	-1.3766e-007
Decision Inst.	0.859375

(a) Kênh 1

Analysis	
Max. Q Factor	6.78149
Min. BER	5.58384e-012
Eye Height	0.000112104
Threshold	8.58146e-005
Decision Inst.	0.484375

(b) Kênh 2

Analysis	
Max. Q Factor	7.75341
Min. BER	2.90377e-015
Eye Height	0.00205339
Threshold	0.000305458
Decision Inst.	0.539063

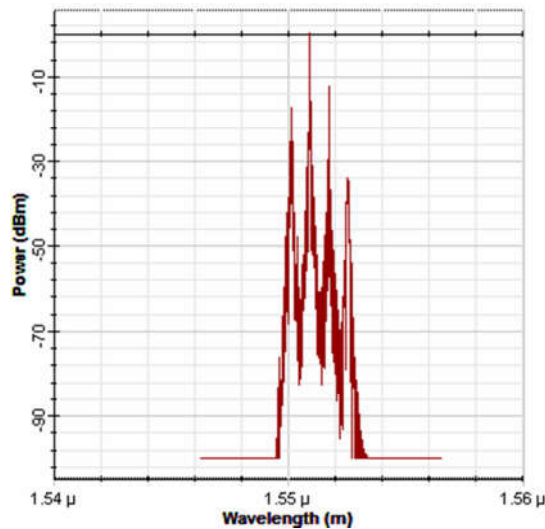
(c) Kênh 3

Analysis	
Max. Q Factor	7.54228
Min. BER	2.11513e-014
Eye Height	0.000102458
Threshold	6.46523e-005
Decision Inst.	0.515625

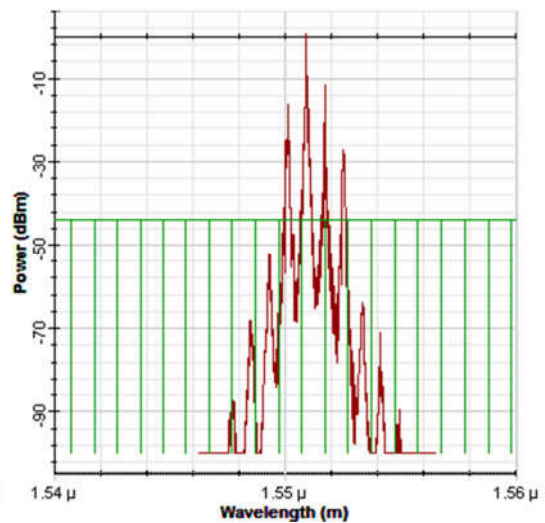
(d) Kênh 4

Hình 3.23: Đo BER của 4 kênh trong hệ thống WDM đa tốc độ đường

Không những thế để đánh giá thêm hiệu năng của kênh, luận văn đã đánh giá BER của từng kênh để đo chất lượng của từng kênh. Như Hình 3.23 lần lượt là tỉ lệ lỗi bit của 4 kênh từ 10^{-9} đến 10^{-15} . Kết quả cho thấy tỉ lệ lỗi bit của các kênh được mô phỏng đều cho phép phía thu thu được tín hiệu tốt.



(a)

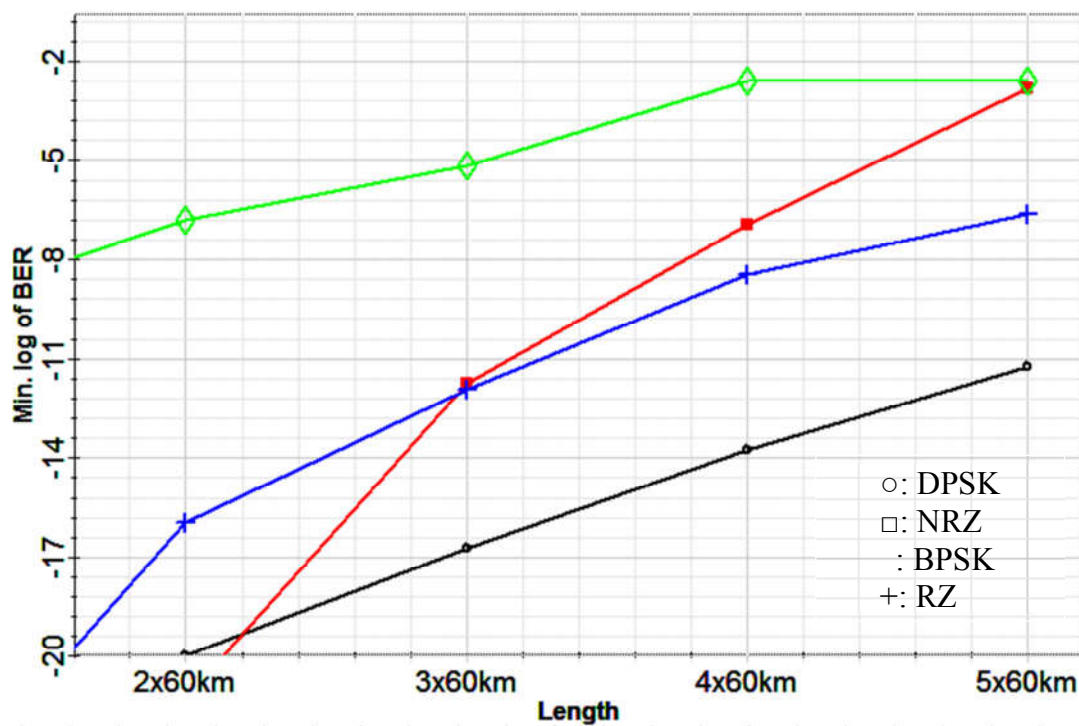


(b)

Hình 3.24: Đồ thị phổ đầu vào – ra cho kênh 4

Hình 3.24 là kết quả đo của máy hiện phổ đo tại 2 điểm. Điểm thứ nhất tại đầu ra của bộ MUX, tại điểm này ta đo được 4 vạch phổ tương ứng với 4 bước sóng hay 4 kênh thông tin (hình 3.24 a). Điểm thứ 2 đo tại đầu vào của bộ DEMUX, lúc này phổ thu được có 4 vạch phổ của ban đầu với các vạch phổ khác do nhiễu của thiết bị hoặc do nhiễu kênh truyền.

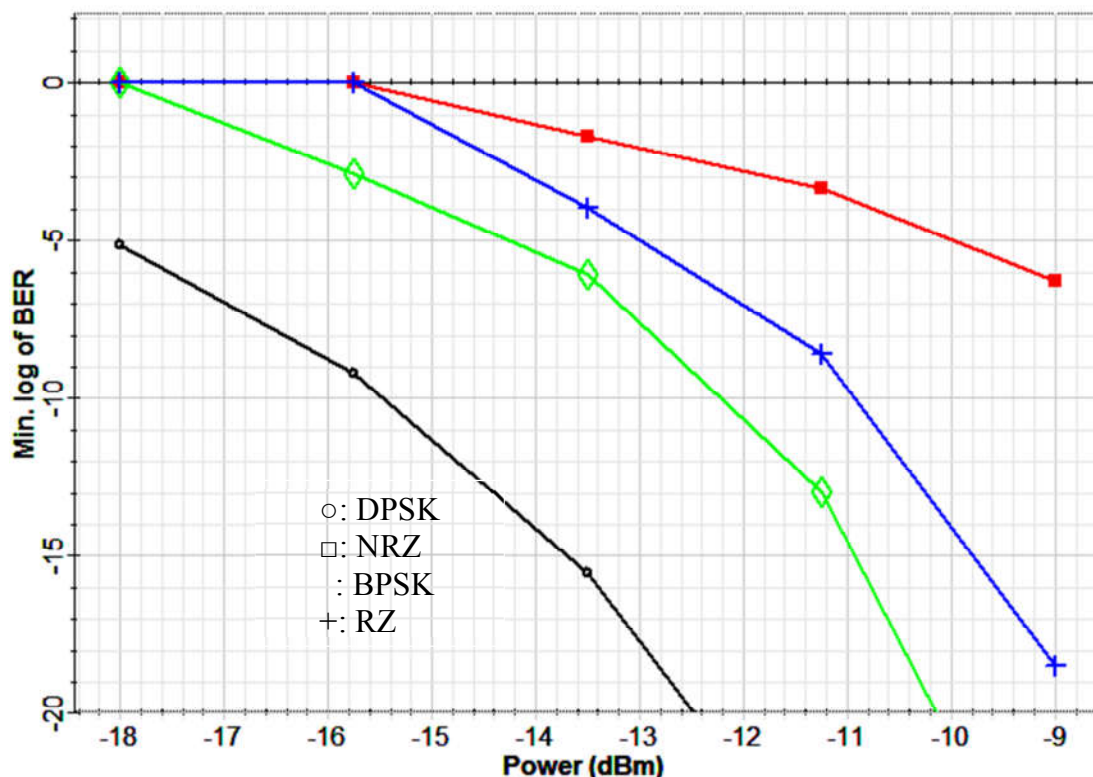
(Chú ý: BER càng nhỏ càng tốt, chất lượng tín hiệu càng cao)



Hình 3.25: Đồ thị BER theo độ dài tuyến truyền dẫn

Trong hình 3.25 là đồ thị BER theo độ dài tuyến truyền dẫn quang của hệ thống WDM đa tốc độ đường đa phương thức điều chế. Ta có thể thấy được sự ảnh hưởng rõ rệt của các phương thức điều chế khác nhau đến chất lượng kênh truyền. Đồ thị cho thấy 4 kênh đều phụ thuộc vào khoảng cách truyền dẫn, khoảng cách càng lớn thì tỉ lệ lỗi bit càng tăng. Hai phương pháp điều chế RZ và NRZ cho kết quả tương đồng nhau hơn về độ biến thiên cũng như giá trị. Còn phương pháp DPSK cho kết quả tốt nhất hay có khả năng truyền đi xa nhất, giá trị BER thấp nhất trong hình là 10^{-11} . Bên cạnh đó ta thấy phương pháp điều chế BPSK cho kết quả tỉ lệ lỗi bit giảm chậm so với độ dài tuyến truyền. Với cự ly độ dài lớn thì phương pháp này chống nhiễu và khả năng đưa thông tin đi xa cũng rất tốt.

Vậy việc sử dụng các phương pháp điều chế khác nhau sẽ ảnh hưởng tới chất lượng kênh truyền và khoảng cách truyền dẫn tín hiệu trong sợi quang. Khi sử dụng các phương pháp điều chế thì phía phát phải có các bộ điều chế và sẽ có các bộ giải điều chế tại phía thu tương ứng để thu được các tín hiệu mong muốn.



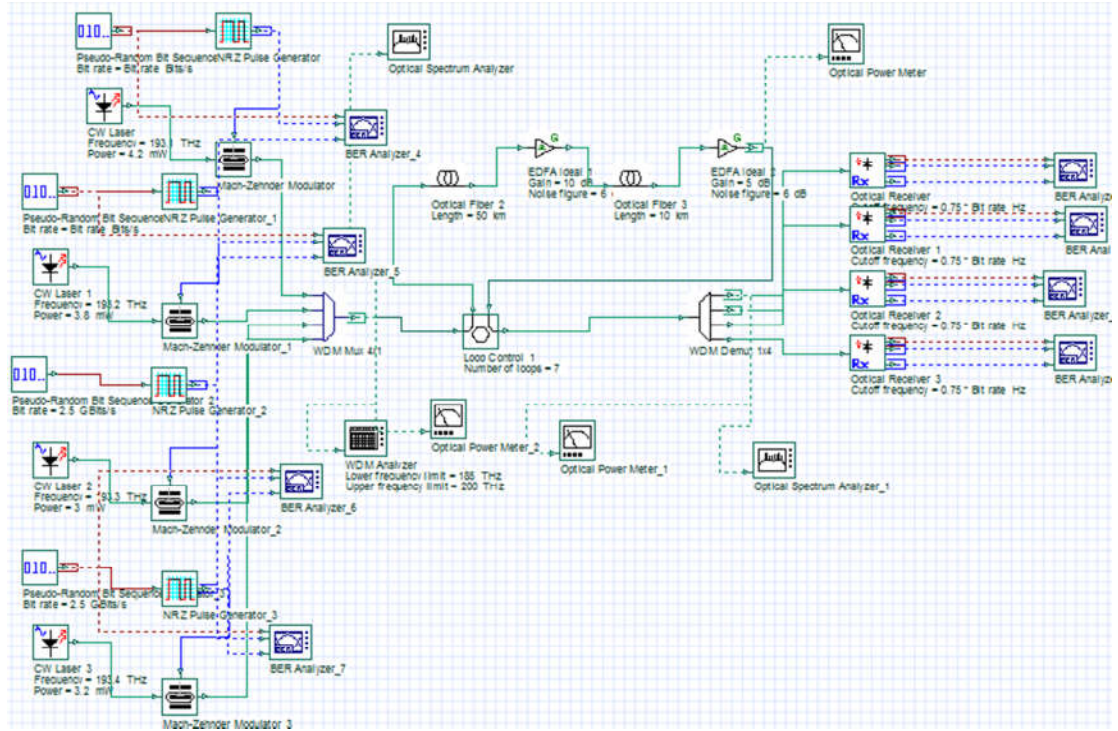
Hình 3.26: Quan hệ BER theo công suất phát quang

Cuối cùng, Hình 3.26 là đồ thị BER theo độ dài tuyến truyền dẫn quang của hệ thống WDM MLR đa phương thức điều chế. Đồ thị biểu diễn sự ảnh hưởng rõ rệt của các phương thức điều chế khác nhau đến chất lượng kênh truyền, không những thế đồ thị cho thấy 4 kênh đều phụ thuộc vào công suất nhưng sự ảnh hưởng của công suất tới từng phương pháp điều chế là khác nhau rất nhiều, lý do vì các phương pháp điều chế khác nhau thì khả năng chống nhiễu và sửa lỗi là khác nhau. Tiếp đó phương pháp DPSK, BPSK là 2 phương pháp truyền đi với khoảng cách xa nhất và có chất lượng tốt nhất. Đồng thời 2 phương pháp điều chế này cũng tốn ít năng lượng phát hơn 2 phương pháp điều chế RZ và NRZ.

3.3.2 Kênh khác tốc độ

Luận văn đã đánh giá hệ thống ghép kênh quang theo bước sóng truyền thống với tốc độ không đổi, hệ thống ghép kênh quang theo bước sóng với phương pháp điều chế khác nhau. Tiếp theo để thấy được sự khác biệt của hệ thống ghép kênh quang theo bước sóng đa tốc độ đường thì luận văn sẽ đi khảo sát hệ thống

ghép kênh theo bước sóng đa tốc độ đường với giả thiết 4 kênh có tốc độ từng kênh như sau: 2.5-2.5-10-10Gbps (Hình 3.27)



Hình 3.27: Sơ đồ hệ thống WDM đa tốc độ đường (2.5-2.5-10-10Gbps)

Bảng 3.4: Thông số hệ thống

Thiết bị	Thông số
Bộ phát laser	Công suất phát
Bộ tạo tốc độ	Tốc độ 10Gbps, 2.5Gbps
Bộ mã hóa nhị phân	Mã hóa RZ hoặc NRZ
Bộ ghép tín hiệu điện	Mach-zender
Bộ ghép quang MUX	Bộ ghép kênh 4x1, khoảng cách kênh 100GHz, 4 Bước sóng lần lượt 193.1, 193.2, 193.3, 193.4
Bộ tách quang DEMUX	Bộ tách kênh 1x4, khoảng cách kênh 100GHz, 4 Bước sóng lần lượt 193.1, 193.2, 193.3, 193.4
Sợi quang SMF	Độ dài từng chặng: 50km; suy hao: 0.2dB/km
Sợi bù tán sắc DCF	Độ dài từng chặng: 10km; suy hao: 0.5dB/km

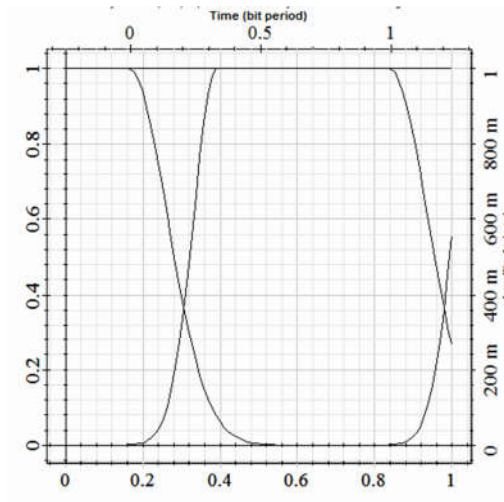
Bộ khuếch đại EDFA	Độ lợi G1: 12dB;
Số vòng lặp	5
Bộ thu quang	Sử dụng APD hoặc PIN
Bộ thông thấp	

Triển khai mô phỏng hệ thống và sử dụng các thiết bị đo tương ứng, ta thu được các kết quả mô phỏng, chất lượng kênh truyền theo các tham số bao gồm công suất tín hiệu, biểu đồ mắt và tỉ lệ lỗi bit của mỗi kênh. Hình 3.28 thể hiện giá trị công suất tín hiệu quang tại phía phát và phía thu đã được bố thiết bị đo công suất Optical Power Meter và Optical Power Meter 1. Kết quả cho thấy suy hao tổng cộng kênh truyền là 0.502 dBm.

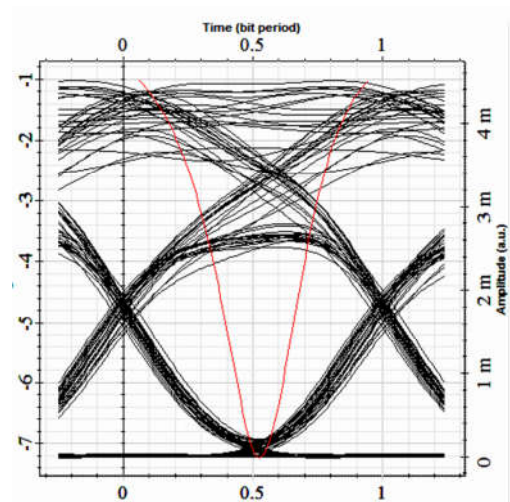


Hình 3.28: Công suất đầu vào và ra hệ thống WDM đa tốc độ

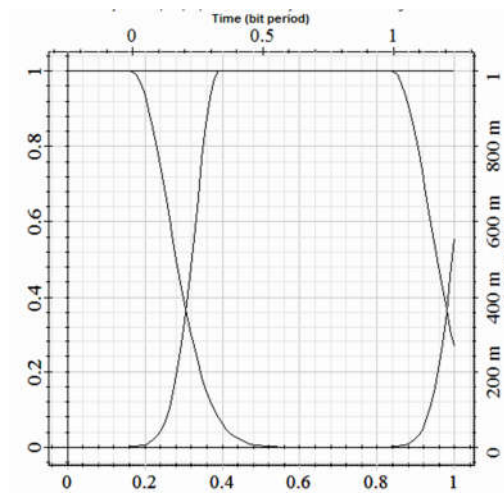
Tiếp nữa, khảo sát kết quả truyền của tín hiệu bằng đồ thị mắt bài viết thu được 4 kết quả tương ứng với 4 kênh bước sóng khác nhau. Ở hình 3.29 là kết quả hiển thị đồ thị mắt sử dụng công cụ máy phân tích BER đo điểm đầu vào và đầu ra của kênh 1. Mắt đồ thị ở hình (b) có độ rộng lớn, rõ ràng cho thấy chất lượng kênh truyền tốt. Còn các đồ thị mắt ở hình 3.29-3.32 cũng cho kết quả đồ thị mắt to, rõ ràng. Các đồ thị mắt này khác nhau do các bước sóng khác nhau sẽ ảnh hưởng tới chất lượng kênh truyền khác nhau.



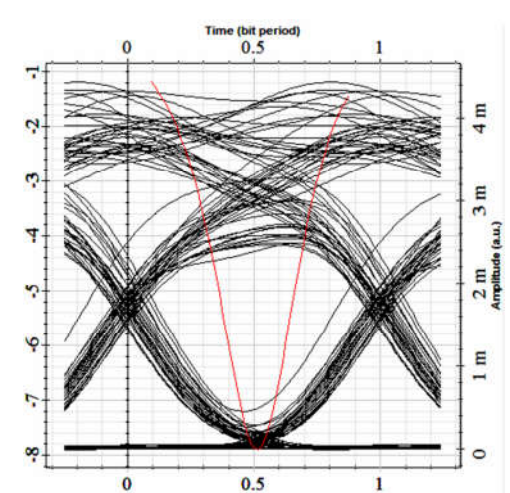
(a) Đầu vào



(b) Đầu ra

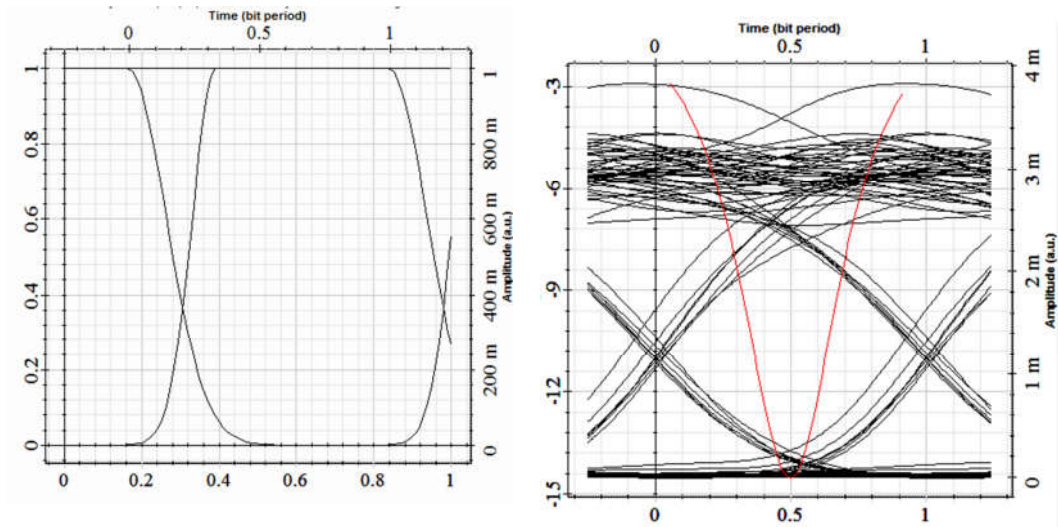
Hình 3.29: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 1

(a) Đầu vào



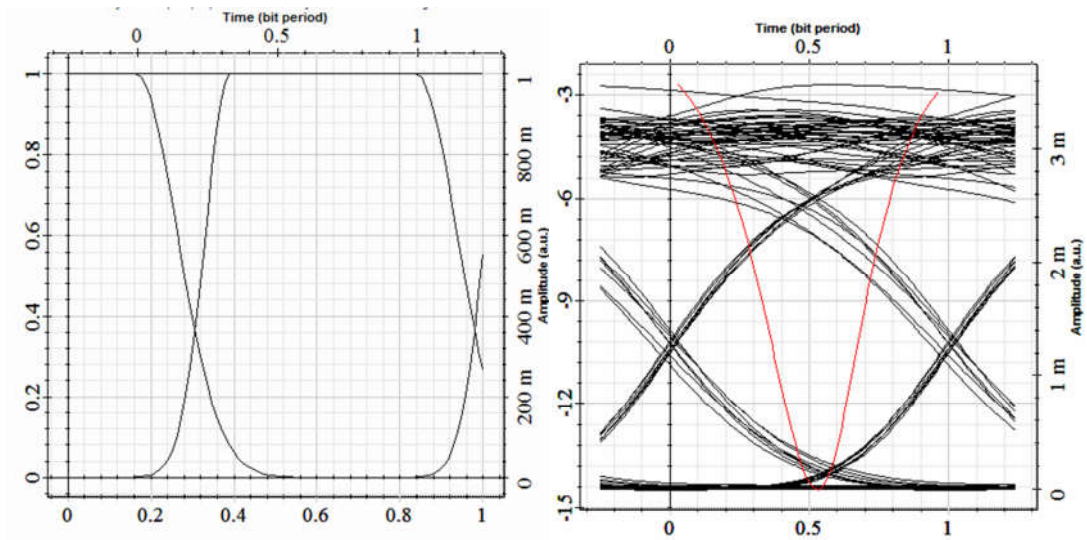
(b) Đầu ra

Hình 3.30: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 2



(a) Đầu vào

(b) Đầu ra

Hình 3.31: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 3

(a) Đầu vào

(b) Đầu ra

Hình 3.32: Đồ thị mắt đầu vào – ra cho kênh 4

Không những thế để đánh giá thêm hiệu năng của kênh, luận văn đã đánh giá BER của từng kênh để đo chất lượng của từng kênh. Như Hình 3.33 lần lượt là tỉ lệ lỗi bit của 4 kênh từ 10^{-8} đến 10^{-15} . Kết quả cho thấy tỉ lệ lỗi bit của các kênh được mô phỏng đều cho phép phía thu thu được tín hiệu tốt.

Analysis	
Max. Q Factor	5.2283
Min. BER	5.79995e-008
Eye Height	0.00138917
Threshold	0.000457079
Decision Inst.	0.523438

(a) Kênh 1

Analysis	
Max. Q Factor	5.52412
Min. BER	1.25952e-008
Eye Height	0.00142859
Threshold	0.000593447
Decision Inst.	0.515625

(b) Kênh 2

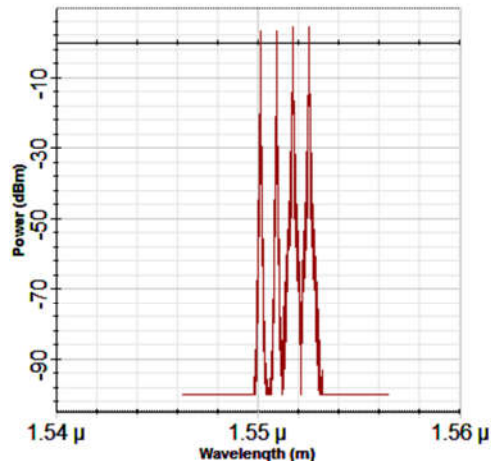
Analysis	
Max. Q Factor	7.77313
Min. BER	2.48708e-015
Eye Height	0.00205284
Threshold	0.000305542
Decision Inst.	0.539063

(c) Kênh 3

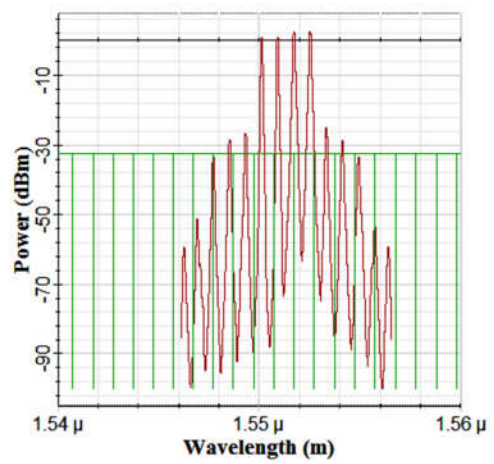
Analysis	
Max. Q Factor	7.74595
Min. BER	3.17525e-015
Eye Height	0.00179264
Threshold	0.000501417
Decision Inst.	0.53125

(d) Kênh 4

Hình 3.33: Đo BER của 4 kênh trong hệ thống WDM đa tốc độ đường (2.5-2.5-10-10Gbps)



(a) Đầu vào

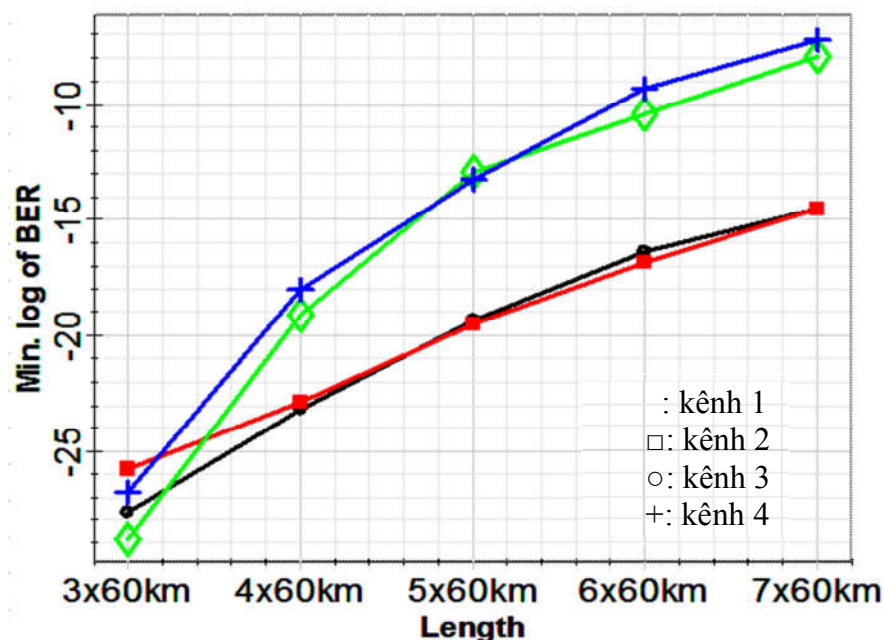


(b) Đầu ra

Hình 3.34: Đồ thị phổ đầu vào – ra cho kênh 4(a) và 4(b)

Hình 3.34 là kết quả đo của máy hiện phổ đo tại 2 điểm. Điểm thứ nhất tại đầu ra của bộ MUX, tại điểm này ta đo được 4 vạch phổ tương ứng với 4 bước sóng hay 4 kênh thông tin (Hình 3.34 a). Điểm thứ 2 đo tại đầu vào của bộ DEMUX, lúc này phổ thu được có 4 vạch phổ của ban đầu với các vạch phổ khác do nhiễu của thiết bị hoặc do nhiễu kênh truyền (Hình 3.34 b).

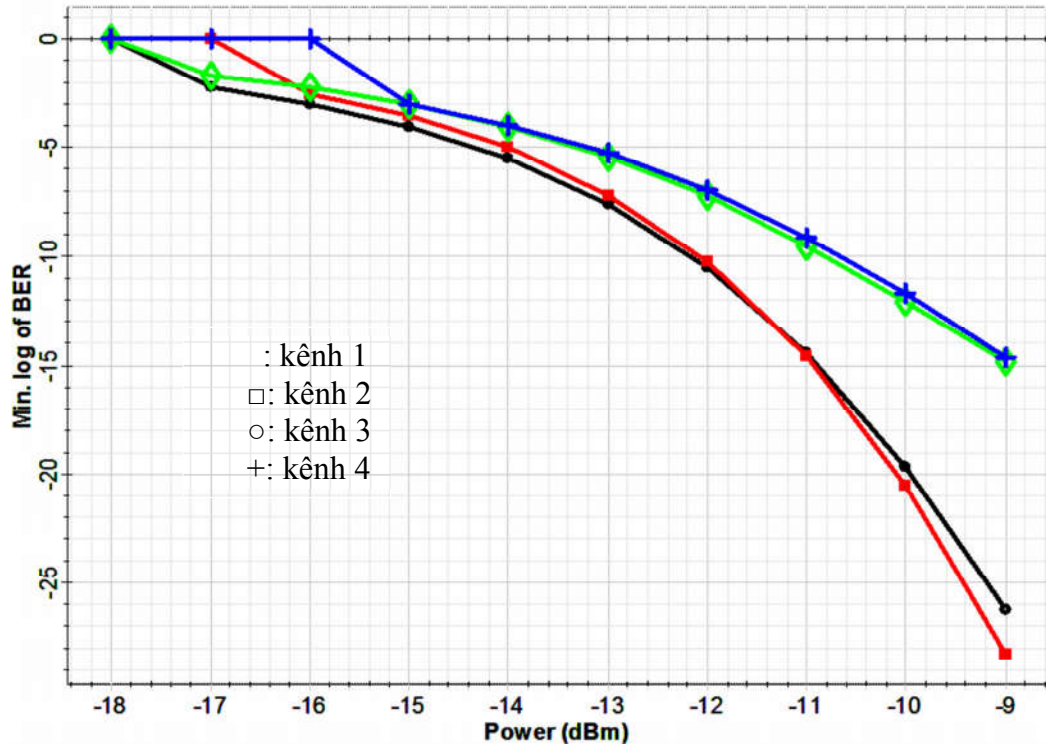
Để đánh giá trực quan và khoa học hơn luận văn đã vẽ đồ thị BER theo độ dài tuyến truyền dẫn, để làm rõ sự ảnh hưởng của khoảng cách truyền dẫn đến chất lượng đường truyền bị ảnh hưởng ra sao, từ đó so sánh với lý thuyết trong luận văn. Trong hình 3.35 biểu diễn đồ thị BER với độ dài tuyến truyền dẫn sử dụng công nghệ WDM đa tốc độ đường. Kết quả cho thấy kênh 2 và kênh 3 sử dụng tốc độ 10Gbps, kênh 1 và kênh 4 sử dụng tốc độ 2.5Gbps. Kênh 1, kênh 4 sử dụng tốc độ 2.5Gbps có tỉ lệ lỗi bit cao hơn và khả năng truyền dẫn xa hơn với kênh 2, kênh 3 sử dụng tốc độ 10Gbps. Với tỉ lệ lỗi bit của kênh sử dụng tốc độ 2.5Gbps là 10^{-14} ở khoảng cách 420km cho thấy kênh sử dụng tốc độ 2.5Gbps có khả năng truyền đi với khoảng cách lớn. Lý do kênh sử dụng tốc độ 2.5Gbps có khả năng truyền đi xa hơn vì với tốc độ thấp hơn thì khả năng chống nhiễu tốt hơn, suy hao đường truyền nhỏ hơn và giảm các hiệu ứng phi tuyến hơn kênh sử dụng tốc độ cao hơn.



Hình 3.35: Đồ thị BER theo độ dài tuyến quang

Cuối cùng, để khảo sát sự ảnh hưởng của công suất tới chất lượng đường truyền và khả năng tiêu thụ năng lượng của hệ thống ta đi đánh giá đồ thị BER theo công suất. Trong Hình 3.36 là đồ thị BER theo công suất của hệ thống WDM đa tốc độ đường với tốc độ kênh khác nhau. Đồ thị cho thấy sự phụ thuộc rõ rệt của công

suất phát tới kênh truyền và tốc độ truyền của kênh cũng ảnh hưởng tới chất lượng của kênh phát. Ở kênh 2, 3 sử dụng tốc độ 2.5Gbps thì có BER cao hơn so với BER của kênh 1,4. Điều đó cũng có nghĩa là kênh 2,3 cần nhiều ít năng lượng để hoạt động hơn kênh 1,4. Sự phụ thuộc của tỉ lệ lỗi bit vào tốc độ kênh truyền là do khi tốc độ càng cao thì tổn hao, nhiễu đường truyền càng lớn.



Hình 3.36: Quan hệ BER theo công suất phát quang

3.4 Kết luận chương 3

Trong chương này luận văn đã tìm hiểu về xây dựng mô hình hệ thống WDM đa tốc độ đường 4 kênh, các thành phần trong hệ thống mô hình hệ thống WDM đa tốc độ đường, sử dụng công cụ mô phỏng Optisystem [7.0] để xây dựng hệ thống mô phỏng lại hệ thống WDM truyền thống sử dụng tốc độ 10Gbps, hệ thống WDM đa tốc độ đường với đa phương thức điều chế khác nhau và hệ thống WDM đa tốc độ đường có tốc độ các kênh khác nhau. Không những thế luận văn đã có nhưng kết quả mô phỏng để đánh giá kênh truyền, đánh giá hiệu năng của từng phương án thực hiện mô phỏng để so sánh với công nghệ ghép kênh quang theo bước sóng thông thường thấy được ưu nhược điểm của từng hệ thống.

KẾT LUẬN

Công nghệ WDM đang dần phổ biến hơn không chỉ sử dụng cho mạng đường trục mà còn các mạng nhỏ hơn do tính ưu việt của hệ thống WDM. Với sức ép của băng thông và hạ tầng mạng việc nghiên cứu công nghệ WDM để cải thiện và khắc phục các nhược điểm sẵn có thì thế giới đã nghiên cứu đến công nghệ WDM đa tốc độ đường. Công nghệ WDM MLR cho phép truyền cùng lúc nhiều tốc độ truyền khác nhau để đáp ứng các yêu cầu khác nhau của hệ thống. Đã có nhiều bài báo được đăng trên tạp chí IEEE để đánh giá một hoặc nhiều kênh sử dụng phương thức điều chế khác nhau và đánh giá qua công cụ Matlab để thấy được sự ưu việt của hệ thống WDM MLR.

Trong luận văn đã tìm hiểu về tổng quan công nghệ truyền dẫn quang, công nghệ ghép kênh quang theo bước sóng đa tốc độ đường, các phương pháp điều chế sử dụng trong hệ thống WDM, các yếu tố ảnh hưởng đến hệ thống WDM đa tốc độ đường, tìm hiểu về phần mềm Optisystem, mô phỏng lại hệ thống WDM đa tốc độ đường. Để chứng minh lý thuyết luận văn đã thực hiện lại mô phỏng lại các kết quả đo và tính toán các hệ thống WDM đa tốc độ đường để thấy được sự khác biệt khi sử dụng với hệ thống WDM truyền thống đang sử dụng. Kết quả cho thấy với các phương thức mã hóa khác nhau thì chất lượng đường truyền là khác nhau. Tốc độ truyền càng thấp thì chất lượng kênh truyền càng cao, nhưng dung lượng kênh truyền thì lại nhỏ.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của luận văn là sẽ thực hiện đánh giá hiệu năng của hệ thống WDM đa tốc độ đường sử dụng công cụ Matlab để tăng tính thuyết phục của luận văn và thêm sự so sánh đánh giá để luận văn tiến tới gần thực tế nhất.

DANH MỤC CÁC TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hồ Văn Cừ (2016), “Bài giảng Mạng truyền dẫn quang băng rộng”, Trường Đại học Sài Gòn.
- [2] Vũ Văn San (2008), “Hệ thống thông tin quang tập 1 và 2”, NXB Bưu Điện.
- [3] V.Bobrovs, J. Porins and G. Ivanovs (2007), "Influence of nonlinear optical effects on the NRZ and RZ modulation signals in WDM systems", Journal of Optical Communication, Vol.76, No.4, [55-58].
- [4] S. Iyer and S.P. Singh (2015),"Physical layer impairment aware routing and wavelength assignment (PLI-RWA) strategy for mixed line rate (MLR) wavelength division multiplexed (WDM) optical networks," Twelfth International Conference on Wireless and Optical Communication Networks (WOCN), Bangalore, India.
- [5] P.J. Winzer and R.J. Essiambre (2006), “Advanced optical modulation formats” Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Vol. 94, No. 5, [952-985].
- [6] Shree Prakash Singh, Sujata Sengar, Rochak Bajpai and Sridhar Iyer, “Next generation variable line rate optical WDM networks: issues and challenges,” Journal of Optical Communication, Vol. 34, issue-4, [331-350], October 2013.
- [7] J. G. Proakis (2000), “Digital Communications”, 4th ed., Mc Graw Hill.
- [8] Optiwave System (2011),”Optisystem Tutorials Volume 2”, Optiwave System, 1th.
- [9] Gül Boztok Algin and E. Turhan Tunah (2017),”A Dynamic Line Rate Assignment Strategy for MLR WDM Optical Networks” Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [10] Axel Klekamp and Ulrich Gebhard (2012),”Benefits for Mixed-Line-Rate (MLR) and Elastic Networks Using Flexible Frequency Grids” Stuttgart, Germany.
- [11] Sifat Ferdousi, Avishek Nag, and Abu (Sayeem) Reaz (2010),”Mixed-Line-Rate (MLR) Optical Network Design with Wavebanding”, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), University of California, Davis, USA.
- [12] Vikram Kumar, Shakrajit Sahu and Santos Kumar Das (2018), “Performance Analysis for Mixed Line Rates (MLR)WDM/DWDM Networks Under Various Modulation Techniques”, IEEE, National Institute of Technology Rourkela, India.