

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

-----



**PHẠM THỊ THU GIANG**

**NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA HỆ  
THỐNG TRUYỀN DẪN ĐƯỜNG TRỰC SỬ DỤNG  
CÔNG NGHỆ DWDM VỚI MỘT SỐ LOẠI TÍN HIỆU  
ĐIỀU CHẾ MQAM**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

*(Theo định hướng ứng dụng)*

HÀ NỘI - 2020

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

-----



**PHẠM THỊ THU GIANG**

**NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA HỆ  
THỐNG TRUYỀN DẪN ĐƯỜNG TRỰC SỬ DỤNG  
CÔNG NGHỆ DWDM VỚI MỘT SỐ LOẠI TÍN HIỆU  
ĐIỀU CHẾ MQAM**

**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:**

**PGS.TS ĐẶNG HOÀI BẮC**

**HÀ NỘI - 2020**

## **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

***Phạm Thị Thu Giang***

## MỤC LỤC

|   |     |
|---|-----|
| LỜI CAM ĐOAN.....   | i   |
| MỤC LỤC.....  | ii  |
| DANH MỤC CÁC THUẬT NGỮ, CHỮ VIẾT TẮT .....                            | iv  |
| DANH SÁCH BẢNG .....  | vi  |
| DANH SÁCH HÌNH VẼ.....  | vii |
| MỞ ĐẦU .....  | 1   |
| Chương 1- TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ DWDM .....                           | 3   |
| 1.1 Tổng quan về thông tin sợi quang .....                            | 3   |
| 1.1.1 Giới thiệu chung về thông tin sợi quang.....                    | 3   |
| 1.1.2 Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng truyền tín hiệu quang ..... | 7   |
| 1.2 Tổng quan DWDM.....   | 11  |
| 1.2.1 WDM và DWDM .....   | 11  |
| 1.2.2 Hệ thống DWDM .....   | 12  |
| 1.3 Mạng DWDM.....  | 13  |
| 1.3.1 Những mô hình mạng cơ bản .....                                 | 13  |
| 1.3.2 Điểm nút của mạng DWDM.....                                     | 14  |
| 1.4 Kết luận chương .....   | 18  |
| Chương 2- CÁC THÀNH PHẦN CƠ BẢN CỦA HỆ THỐNG DWDM.....                | 19  |
| 2.1 Các thành phần trong hệ thống DWDM.....                           | 19  |
| 2.1.1 Nguồn phát trong hệ thống truyền dẫn DWDM .....                 | 19  |
| 2.1.2 Ghép kênh và giải ghép kênh phân chia theo bước sóng .....      | 19  |
| 2.1.3 Phát đáp quang trong hệ thống DWDM .....                        | 22  |
| 2.1.4 Khuếch đại quang trong hệ thống DWDM.....                       | 24  |
| 2.2 Điều chế tín hiệu quang.....                                      | 27  |
| 2.2.1 Điều chế OOK .....  | 28  |
| 2.2.2 Điều chế M-PSK.....   | 28  |
| 2.2.3 Điều chế M-QAM.....   | 29  |
| 2.3 Kỹ thuật tách sóng Coherent .....                                 | 32  |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3.1 Xử lý tín hiệu số trên hệ thống thông tin quang Coherent (DSP) .....                          | 32        |
| 2.3.2. Tách sóng coherent .....   | 34        |
| 2.3.3 Kỹ thuật truyền ngược kỹ thuật số (Digital backpropagation - DBP).....                        | 36        |
| 2.4 Kết luận chương .....   | 37        |
| <b>Chương 3 - MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG HỆ THỐNG DWDM SỬ DỤNG MỘT SỐ LOẠI TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ MQAM .....</b> | <b>38</b> |
| 3.1 Giới thiệu phần mềm mô phỏng Optisystem.....  | 38        |
| 3.2 Cấu hình hệ thống DWDM đường trực .....   | 40        |
| 3.2.1 Tham số khởi tạo .....  | 41        |
| 3.2.2 Tham số hoạt động các thành phần trong hệ thống: .....  | 42        |
| 3.3 Kết quả mô phỏng hoạt động bằng phần mềm Optisystem.....  | 46        |
| 3.3.1 Mô phỏng hoạt động hệ thống DWDM đường trực 16 kênh tốc độ 25Gbaud.....                       | 46        |
| 3.3.2 Mô phỏng hoạt động hệ thống DWDM đường trực 16 kênh tốc độ 50 Gbaud.....                      | 47        |
| 3.4 Kết luận chương .....   | 51        |
| <b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ .....</b>  | <b>53</b> |
| <b>DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>  | <b>55</b> |

## DANH MỤC CÁC THUẬT NGỮ, CHỮ VIẾT TẮT

| Viết tắt | Tiếng Anh                             | Tiếng Việt                              |
|----------|---------------------------------------|---|
| ADM      | Add/Drop Multiplexer                  | Bộ ghép kênh xen/rẽ                     |
| APD      | Avalanche Photo Diode                 | Diode quang thác                        |
| BER      | Bit Error Ratio                       | Tỷ số lỗi bit                           |
| DCM      | Dispersion Compensator Module         | Module bù tán sắc                       |
| DEMUX    | Demultiplexer                         | Thiết bị tách kênh                      |
| DWDM     | Dense Wavelength Division Multiplexer | Ghép kênh theo bước sóng mật độ cao     |
| EDFA     | Erbium Doped Fiber Amplifier          | Bộ khuếch đại quang sợi pha trộn Erbium |
| FWM      | Four Wave Mixing                      | Hiệu ứng trộn bốn bước sóng             |
| IP       | Internet Protocol                     | Giao thức Internet                      |
| LD       | Laser diode                           | Diode laser                             |
| LED      | Light Emitting Diode                  | Diode phát quang                        |
| MUX      | Multiplexer                           | Thiết bị ghép kênh                      |
| OADM     | Optical Add/Drop Mutplexer            | Bộ xen/rẽ bước sóng quang               |
| OBA      | Optical Booster Amplifier             | Bộ khuếch đại công suất                 |
| OLA      | Optical Line Amplifier                | Bộ khuếch đại đường dây                 |
| OPA      | Optical Pre-Amplifier                 | Bộ tiền khuếch đại                      |
| OSNR     | Optical Signal to Noise Ratio         | Tỷ số tín hiệu trên tạp âm quang        |
| OTU      | Optical Transponder Unit              | Khối thu phát quang                     |
| OXC      | Optical Cross Connect                 | Khối kết nối chéo quang                 |
| PMD      | Polarization Mode Dispersion          | Tán sắc mode phân cực                   |

|       |                                    |                                |
|-------|------------------------------------|--------------------------------|
| SBS   | Stimulated Brillouin Scattering    | Tán xạ do kích thích Brillouin |
| SMF   | Single Mode Fiber                  | Sợi đơn mode                   |
| SNR   | Signal to Noise Ratio              | Tỷ số tín hiệu trên tạp âm     |
| SONET | Synchronous Optical Network        | Mạng quang đồng bộ             |
| SPM   | Self Phase Modulation              | Điều chế tự dịch pha           |
| SRS   | Stimulated Raman Scattering        | Tán xạ do kích thích Raman     |
| TFF   | Thin Film Filter                   | Màng phim mỏng                 |
| WDM   | Wavelength Division<br>Multiplexer | Ghép kênh theo bước sóng       |

## DANH SÁCH BẢNG

|  |    |
|--|----|
| Bảng 2.1: Các phương pháp ghép và giải ghép kênh [6] .....   | 21 |
| Bảng 2.2: Phân loại các điều chế QAM.....  | 30 |
| Bảng 3.1: So sánh chất lượng hệ thống sử dụng điều chế QPSK, 8-QAM và 16-QAM tốc độ 25GBaud khi công suất thay đổi ..... | 46 |
| Bảng 3.2: So sánh chất lượng hệ thống sử dụng điều chế QPSK, 8-QAM và 16-QAM tốc độ 50GBaud khi công suất thay đổi ..... | 48 |
| Bảng 3.3: So sánh chất lượng hệ thống sử dụng điều chế QPSK, 8-QAM và 16-QAM khi khoảng cách tuyến thay đổi .....        | 51 |



## DANH SÁCH HÌNH VẼ

|   |    |
|---|----|
| Hình 1.1: Sơ đồ khối cơ bản hệ thống thông tin quang [9].....                         | 4  |
| Hình 1.2: Phổ nguồn sáng [9] .....  | 6  |
| Hình 1.3: Tán sắc trong sợi quang [6].....  | 10 |
| Hình 1.4: Cấu trúc hệ thống DWDM đơn giản [6] .....                                   | 12 |
| Hình 1.5: Mạng kết nối điểm điểm [6].....   | 13 |
| Hình 1.6: Mạng kết nối dạng chuỗi [6].....  | 13 |
| Hình 1.7: Mạng kết nối dạng vòng [6].....   | 14 |
| Hình 1.8: OXC với ma trận chuyển mạch $N \times N$ [9] .....                          | 15 |
| Hình 1.9: Sơ đồ vị trí các thiết bị trong 1 nút OADM [9].....                         | 17 |
| Hình 2.1: Nguyên lý làm việc của bộ phát đáp quang [6] .....                          | 22 |
| Hình 2.2: Vị trí các bộ phát đáp quang trong hệ thống DWDM [6] .....                  | 23 |
| Hình 2.3: Cấu trúc của bộ khuếch đại quang sợi EDFA [9] .....                         | 24 |
| Hình 2.4: Cấu trúc bộ khuếch đại quang RAMAN.....                                     | 26 |
| Hình 2.5: Phổ tín hiệu của các dạng điều chế .....                                    | 28 |
| Hình 2.6: Ánh xạ chuỗi bit cho một tín hiệu 16-QAM.....                               | 30 |
| Hình 2.7: Xác suất lỗi bit BER cho điều chế M-QAM .....                               | 31 |
| Hình 2.8: Sơ đồ khối bộ điều chế M-QAM .....  | 31 |
| Hình 2.9: Sơ đồ bộ lọc số FIR áp dụng cho bù tán sắc màu .....                        | 33 |
| Hình 2.10: Biểu diễn mạch DSP tách kênh phân cực .....                                | 34 |
| Hình 2.11: Mô hình hệ thống truyền dẫn Coherent .....                                 | 35 |
| Hình 2.12: Hệ thống truyền dẫn Coherent .....   | 35 |
| Hình 3.1: Mô hình hệ thống thông tin quang với chiều dài 800km.....                   | 41 |
| Hình 3.2: Các tham số toàn cục. ....  | 42 |
| Hình 3.3: Tham số hoạt động bộ khuếch đại đường truyền Line-AMP. ....                 | 42 |
| Hình 3.4: Tham số hoạt động bộ khuếch đại tiền xử lý tín hiệu Pre-AMP. ....           | 43 |
| Hình 3.5 a,b: Tham số hoạt động các chặng cáp quang.....                              | 43 |
| Hình 3.6: Tham số hoạt động các máy phát tín hiệu điều chế QPSK, 8-QAM và 16-QAM..... | 44 |

|  |          |
|--|----------|
| Hình 3.7 a, b: Máy thu tín hiệu điều chế Coherent QPSK, 8-QAM và 16-QAM.....                                       | 44       |
| Hình 3.8 a,b,c: Tham số hoạt động bộ điều chế tín hiệu số DSP.....   | 45       |
| Hình 3.9: Biểu đồ so sánh chất lượng hệ thống sử dụng tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM tốc độ 25GBaud.....           | 46       |
| Hình 3.10: Biểu đồ so sánh chất lượng hệ thống sử dụng tín hiệu QPSK, 8-QAM và .....<br>16-QAM tốc độ 50GBaud..... | 47<br>47 |
| Hình 3.11: Biểu đồ mắt tín hiệu điều chế QPSK tại $P=12\text{dBm}$ .....   | 49       |
| Hình 3.12: Biểu đồ mắt tín hiệu điều chế 8-QAM tại $P=12\text{dBm}$ .....  | 49       |
| Hình 3.13: Biểu đồ mắt tín hiệu điều chế 16-QAM tại $P=12\text{dBm}$ .....   | 50       |
| Hình 3.14: Biểu đồ so sánh chất lượng hệ thống sử dụng tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM tốc độ 50GBaud.....          | 50       |

## MỞ ĐẦU

Hiện nay, nhu cầu lưu lượng tăng mạnh do sự phát triển bùng nổ của các loại hình dịch vụ Internet và các dịch vụ băng thông rộng đã tác động không nhỏ tới việc xây dựng cấu trúc mạng viễn thông. Vì vậy việc xây dựng các mạng truyền dẫn tốc độ cao đang được quan tâm như một giải pháp hữu hiệu nhằm thoả mãn nhu cầu dung lượng trong thời gian tới. Để thoả mãn việc thông suốt lưu lượng và băng tần lớn, các hệ thống thông tin quang sử dụng công nghệ DWDM được xem là ứng cử viên quan trọng cho mạng truyền dẫn quang tốc độ cao.

Công nghệ DWDM đã và đang cung cấp cho chúng ta tốc độ truyền dẫn cao trên một đôi sợi quang đơn mode; nhiều kênh quang truyền đồng thời trên một sợi, trong đó mỗi kênh tương đương với một hệ thống truyền dẫn độc lập tốc độ cao. Công nghệ DWDM cho phép các nhà thiết kế mạng lựa chọn được phương án tối ưu nhất để tăng dung lượng đường truyền với chi phí thấp nhất.

Cho đến nay hầu hết các hệ thống thông tin quang đường trục, các hệ thống mạng lõi (Core) có dung lượng cao đều sử dụng công nghệ DWDM. Ban đầu từ những tuyến DWDM điểm – điểm đến nay đã xuất hiện các mạng với nhiều cấu trúc phức tạp. Ngoài ra, nhờ sự phát triển vượt bậc về các công nghệ ghép/tách bước sóng, laser phát, bộ khuếch đại, nhiều nhà quản lý mạng viễn thông trên thế giới đã triển khai và đưa vào hoạt động những tuyến truyền dẫn quang DWDM có tốc độ truyền dẫn quang rất lớn (hàng THz), với cự ly truyền rất xa (hàng trăm km mới cần sử dụng trạm lặp).

Công nghệ DWDM thực tế đã và đang được triển khai ở nước ta, do nhiều nhà quản lý mạng viễn thông thực hiện như: Viettel, VNPT, BTL TTLL, và hiện đang ở thời kỳ mà có thể có nhiều đột biến về các giải pháp, công nghệ cho từng thiết bị. Do vậy, việc thảo luận, nghiên cứu mô phỏng hoạt động của hệ thống truyền dẫn đường trục bằng công nghệ DWDM có một ý nghĩa thiết thực.

Với nhận thức ấy, tôi quyết định thực hiện luận văn cao học “***Nghiên cứu mô phỏng hoạt động của hệ thống truyền dẫn đường trục sử dụng công nghệ***

***DWDM với một số loại tín hiệu điều chế MQAM***’ để tìm hiểu về những vấn đề chung về hệ thống DWDM và mô phỏng hoạt động của hệ thống. Luận văn gồm có 3 chương với nội dung tóm tắt cụ thể như sau:

Chương 1: Tổng quan về công nghệ DWDM.

Chương 2: Các thành phần cơ bản của hệ thống DWDM.

Chương 3: Mô phỏng hoạt động của hệ thống DWDM sử dụng một số loại tín hiệu điều chế MQAM.

Trong luận văn vẫn còn một số những vấn đề chưa được đề cập sâu, và chưa thực sự rộng. Rất mong được các thầy, cô giáo và các đồng chí, các bạn có những nhận xét thiết thực để tôi có thể hoàn thiện các nội dung này tốt hơn nữa. Tôi xin chân thành cảm ơn.

## **Chương 1- TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ DWDM**

### **1.1 Tổng quan về thông tin sợi quang**

#### ***1.1.1 Giới thiệu chung về thông tin sợi quang***

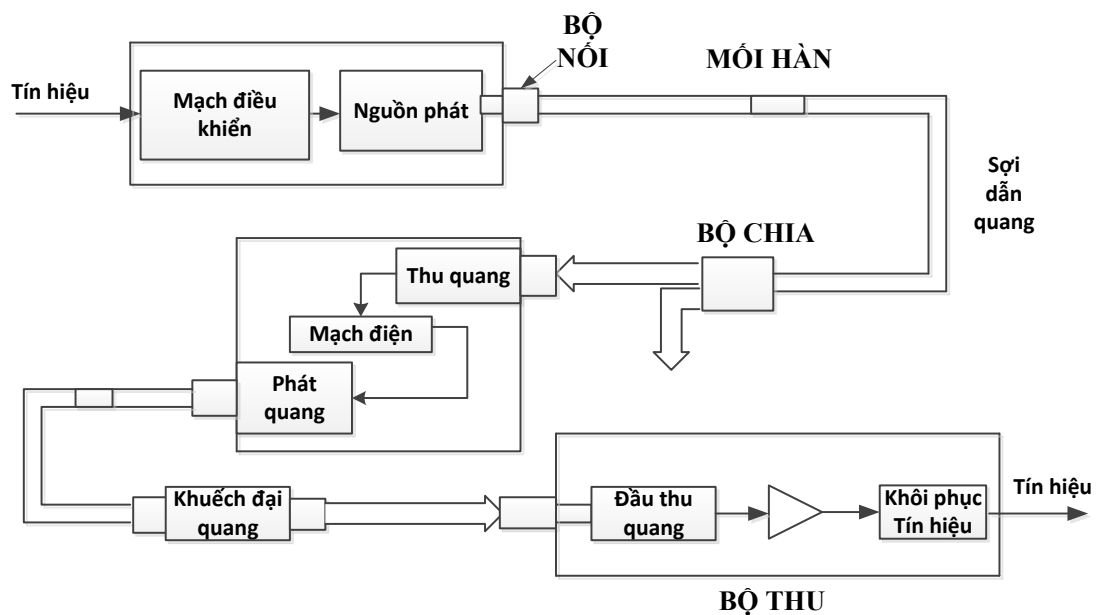
Ngay từ xa xưa để thông tin cho nhau, con người đã biết sử dụng ánh sáng để báo hiệu. Qua thời gian dài của lịch sử phát triển nhân loại, các hình thức thông tin phong phú dần và ngày càng được phát triển thành những hệ thống thông tin hiện đại như ngày nay, tạo cho mọi nơi trên thế giới có thể liên 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, đó là:

- ✓ Suy hao truyền dẫn nhỏ.
- ✓ Băng tần truyền dẫn 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.
- ✓ Sợi được chế tạo từ vật liệu rất sẵn có.

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 thể hiện trong hình 1.1[9].



**Hình 1.1: Sơ đồ khối cơ bản hệ thống thông tin quang [9]**

Các thành phần chính của tuyến gồm có phần phát quang, cáp sợi quang và phần thu quang. Phần phát quang được cấu tạo từ nguồn phát tín hiệu quang và các mạch điện điều khiển liên kết với nhau. Cáp sợi quang gồm có các sợi dẫn quang và các lớp vỏ bọc xung quanh để bảo vệ sợi quang khỏi tác động có hại từ môi trường bên ngoài.

Phần thu quang do bộ tách sóng quang và các mạch khuếch đại, tái tạo tín hiệu hợp thành. Ngoài các thành phần chủ yếu này, tuyến thông tin quang còn có

các bộ nối quang (connector), các mối hàn, bộ chia quang và các trạm lặp; tất cả tạo nên một tuyến thông tin quang hoàn chỉnh.

Đặc tuyến suy hao của sợi quang theo bước sóng tồn tại ba vùng mà tại đó có suy hao thấp là các vùng xung quanh bước sóng 850 nm, 1310 nm và 1550 nm. Ba vùng bước sóng này được sử dụng cho các hệ thống thông tin quang và gọi là các vùng cửa sổ thứ nhất, thứ hai và thứ ba tương ứng. Thời kỳ đầu của kỹ thuật thông tin quang, cửa sổ thứ nhất được sử dụng. Nhưng sau này do công nghệ chế tạo sợi phát triển mạnh, suy hao sợi ở hai cửa sổ sau rất nhỏ cho nên các hệ thống thông tin quang ngày nay chủ yếu hoạt động ở vùng cửa sổ thứ hai và thứ ba.

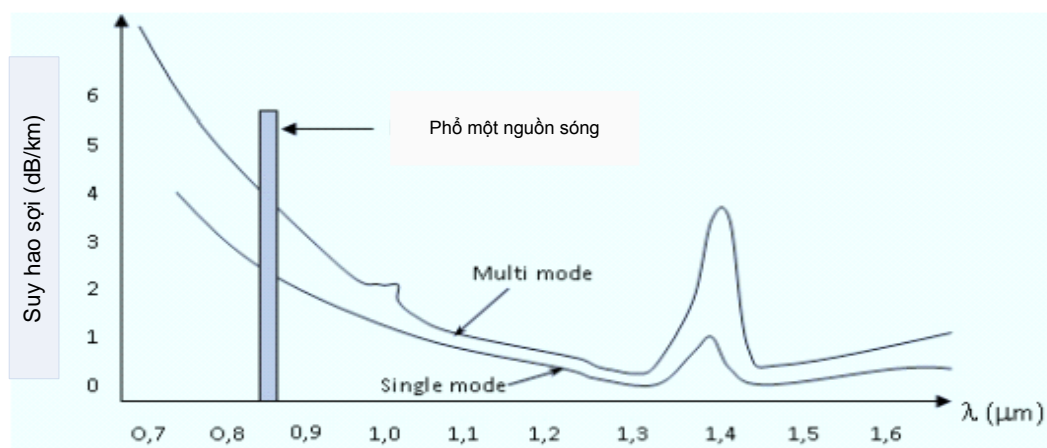
Nguồn phát quang ở thiết bị phát có thể sử dụng diode phát quang (LED) hoặc Laser bán dẫn (LD). Cả hai loại nguồn phát này đều phù hợp cho các hệ thống thông tin quang, với tín hiệu quang đầu ra có tham số biến đổi tương ứng với sự thay đổi của dòng điều biến. Tín hiệu điện ở đầu vào thiết bị phát ở dạng số hoặc đôi khi có dạng tương tự. Thiết bị phát sẽ thực hiện biến đổi tín hiệu này thành tín hiệu quang tương ứng và công suất quang đầu ra sẽ phụ thuộc vào sự thay đổi của cường độ dòng điều biến. Bước sóng làm việc của nguồn phát quang cơ bản phụ thuộc vào vật liệu cấu tạo. Đoạn sợi quang ra (pigtail) của nguồn phát quang phải phù hợp với sợi dẫn quang được khai thác trên tuyến.

Tín hiệu ánh sáng đã được điều chế tại nguồn phát quang sẽ lan truyền dọc theo sợi dẫn quang để tới phần thu quang. Khi truyền trên sợi dẫn quang, tín hiệu ánh sáng thường bị suy hao và méo do các yếu tố hấp thụ, tán xạ, tán sắc gây nên. Bộ tách sóng quang ở đầu thu thực hiện tiếp nhận ánh sáng và tách lấy tín hiệu từ hướng phát đưa tới. Tín hiệu quang được biến đổi trở lại thành tín hiệu điện. Các photodiode PIN và photodiode thác APD đều có thể sử dụng để làm các bộ tách sóng quang trong các hệ thống thông tin quang, cả hai loại này đều có hiệu suất làm việc cao và có tốc độ chuyển đổi nhanh. Các vật liệu bán dẫn chế tạo các bộ tách sóng quang sẽ quyết định bước sóng làm việc của chúng và đoạn sợi quang đầu vào các bộ tách sóng quang cũng phải phù hợp với sợi dẫn quang được sử dụng trên

tuyến lắp đặt. Đặc tính quan trọng nhất của thiết bị thu quang là độ nhạy thu quang, nó mô tả công suất quang nhỏ nhất có thể thu được ở một tốc độ truyền dẫn số nào đó ứng với tỷ lệ lỗi bit cho phép của hệ thống.

Khi khoảng cách truyền dẫn khá dài, tới một cự ly nào đó, tín hiệu quang trong sợi bị suy hao khá nhiều thì cần thiết phải có trạm lặp quang đặt trên tuyến. Cấu trúc của thiết bị trạm lặp quang gồm có thiết bị phát và thiết bị thu ghép quay phần điện vào nhau. Thiết bị thu ở trạm lặp sẽ thu tín hiệu quang yếu rồi tiến hành biến đổi thành tín hiệu điện, khuếch đại tín hiệu này, sửa dạng và đưa vào thiết bị phát quang. Thiết bị phát quang thực hiện biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang rồi lại phát tiếp vào đường truyền. Những năm gần đây, các bộ khuếch đại quang đã được sử dụng để thay thế một phần các thiết bị trạm lặp quang.

Trong các tuyến thông tin quang điểm nối điểm thông thường, mỗi một sợi quang sẽ có một nguồn phát quang ở phía phát và một bộ tách sóng quang ở phía thu. Các nguồn phát quang khác nhau sẽ cho ra các luồng ánh sáng mang tín hiệu khác nhau và phát vào sợi dẫn quang khác nhau, bộ tách sóng quang tương ứng sẽ nhận tín hiệu từ sợi này. Như vậy muốn tăng dung lượng của hệ thống thì phải sử dụng thêm sợi quang. Với hệ thống quang như vậy, dải phổ của tín hiệu quang truyền qua sợi thực tế rất hẹp so với dải thông mà các sợi truyền dẫn quang có thể truyền dẫn với suy hao nhỏ (như hình 1.2 [9]).



**Hình 1.2: Phổ nguồn sáng [9]**



### 1.1.2 Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng truyền tín hiệu quang

Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng truyền tín hiệu quang là suy hao, tán sắc và các hiệu ứng phi tuyến.

- Suy hao: Gồm có suy hao trong bản thân sợi quang và suy hao do uốn cong sợi.

Cơ chế suy hao cơ bản trong sợi dẫn quang là suy hao do hấp thụ, suy hao do tán xạ và các suy hao do bức xạ năng lượng ánh sáng. Trong đó, suy hao do hấp thụ có liên quan đến vật liệu sợi gồm hấp thụ do tạp chất, hấp thụ vật liệu và hấp thụ điện, còn suy hao do tán xạ có liên quan đến cả vật liệu sợi và tính không hoàn hảo về cấu trúc sợi. Suy hao bức xạ là do tính xáo trộn về hình học của sợi gây ra. Suy hao sợi được đặc trưng bằng hệ số suy hao và được xác định bằng tỷ số giữa công suất quang đầu ra  $P_{out}$  của sợi dẫn quang dài  $L$  với công suất quang đầu vào  $P_{in}$ . Nếu gọi  $\alpha$  là hệ số suy hao thì:

$$\alpha \left( \frac{dB}{km} \right) = \frac{10}{L} \log \left( \frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \quad (1.1)$$

Hệ số suy hao sợi nhỏ nhất trong sợi quang  $\text{SiO}_2$  tính theo lý thuyết là  $\alpha = 0,15 \text{ dB/km}$  trên thực tế đã có sợi quang có  $\alpha = 0,18 \text{ dB/km}$  tại  $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ .

Suy hao do uốn cong sợi là suy hao ngoài bản chất của sợi. Khi bắt kỳ một sợi dẫn quang nào đó bị uốn cong theo một đường cong có bán kính xác định thì sẽ có hiện tượng phát xạ tín hiệu ra ngoài vỏ sợi và như vậy ánh sáng lan truyền trong lõi sợi đã bị suy hao. Có hai loại uốn cong sợi là uốn cong vĩ mô và vi uốn cong. Uốn cong vĩ mô là uốn cong có bán kính uốn cong lớn tương đương hoặc lớn hơn đường kính sợi. Còn vi uốn cong là sợi bị cong nhỏ một cách ngẫu nhiên.

- Tán sắc: Làm cho các xung ánh sáng lan truyền trong sợi quang bị giãn rộng ra và gây nên méo tín hiệu. Tán sắc làm hạn chế đặc tính hệ thống đặc biệt là hạn chế tốc độ truyền dẫn của hệ thống.

Đối với sợi đa mode thì bao gồm tán sắc bên trong mode (gồm tán sắc vật liệu, tán sắc dẫn sóng) và tán sắc giữa các mode.

Đối với sợi đơn mode thì gồm tán sắc vận tốc nhóm, tán sắc vật liệu, tán sắc dẫn sóng, tán sắc bậc cao và tán sắc phân cực mode.

Tán sắc vật liệu là một hàm của bước sóng và do sự thay đổi về chỉ số chiết suất của vật liệu lõi tạo nên. Nó làm cho bước sóng luôn phụ thuộc vào vận tốc nhóm của bất kỳ mode nào.

Tán sắc dẫn sóng là do sợi đơn mode chỉ giữ được khoảng 80% năng lượng ở trong lõi, vì vậy còn 20% ánh sáng truyền trong vỏ nhanh hơn năng lượng ở trong lõi. Tán sắc dẫn sóng phụ thuộc vào thiết kế của sợi.

Chúng ta sẽ xét trường hợp vận tốc nhóm tham gia vào tán sắc.

Ta có sợi quang đơn mode có độ dài  $L$ . Thời gian để thành phần phổ có tần số  $\omega$  đi hết quãng đường  $L$  là  $t$ , được tính theo công thức (1.2) [9] .

$$t = \frac{L}{v_g} \quad (1.2)$$

trong đó  $v_g$  là tốc độ nhóm xác định bằng biểu thức (1.3) [9] .

$$v_g = \left( \frac{d\beta}{d\omega} \right)^{-1} \quad (1.3)$$

Sử dụng  $\beta = \bar{n}K_0 = \bar{n} \frac{\omega}{c}$  ta có  $v_g = \frac{c}{\bar{n}_g}$ ,  $\bar{n}_g$  là chiết suất nhóm

$$\bar{n}_g = \bar{n} + \omega \left( \frac{d\bar{n}}{d\omega} \right) \quad (1.4)$$

$v_g$  phụ thuộc vào  $\omega$  sẽ làm xung quang giãn nở.  $\Delta\omega$  là độ rộng phổ của xung quang, ta có:

$$\Delta t = \frac{dt}{d\omega} \Delta\omega = \frac{d}{d\omega} \left( \frac{L}{v_g} \right) \Delta\omega = L \frac{d^2\beta}{d\omega^2} \Delta\omega = L\beta_2 \Delta\omega$$

trong đó  $\beta_2 = \frac{d^2\beta}{d\omega^2}$  gọi là thông số tán sắc tốc độ nhóm.

Có thể  $\Delta\omega$  được thay thế bằng  $\Delta\lambda$ .

Sử dụng biểu thức (1.5) [9]

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda} \rightarrow \Delta\omega = \left( -\frac{2\pi \cdot c}{\lambda^2} \right) \Delta\lambda \quad (1.5)$$

ta có thể viết  $\Delta t$  dưới dạng:

$$\Delta t = \frac{d}{d\lambda} \left( \frac{L}{v_g} \right) \Delta\lambda = D \cdot L \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{với } D = \frac{d}{d\lambda} \left( \frac{1}{v_g} \right) = -\frac{2\pi \cdot c}{\lambda^2} \beta_2$$

$D$  - thông số tán sắc, có đơn vị là  $\frac{ps}{(Km.nm)}$

Tốc độ bit  $B$  được xác định bởi bất đẳng thức  $B \cdot \Delta t < 1$ , ta có:

$$BL|D|\Delta\lambda < 1 \quad (1.6)$$

Ta có:

$$D = -\frac{2\pi \cdot c}{\lambda^2} \frac{d}{d\omega} \left( \frac{1}{v_g} \right) = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \left( 2 \frac{d\bar{n}}{d\omega} + \omega \frac{d^2 \bar{n}}{d\omega^2} \right) \quad (1.7)$$

Có thể viết:  $D = D_M + D_W$

$D_M$  - tán sắc vật liệu:

$$D_M = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \frac{dn_{2g}}{d\omega} = \frac{1}{c} \frac{dn_{2g}}{d\lambda} \quad (1.8)$$

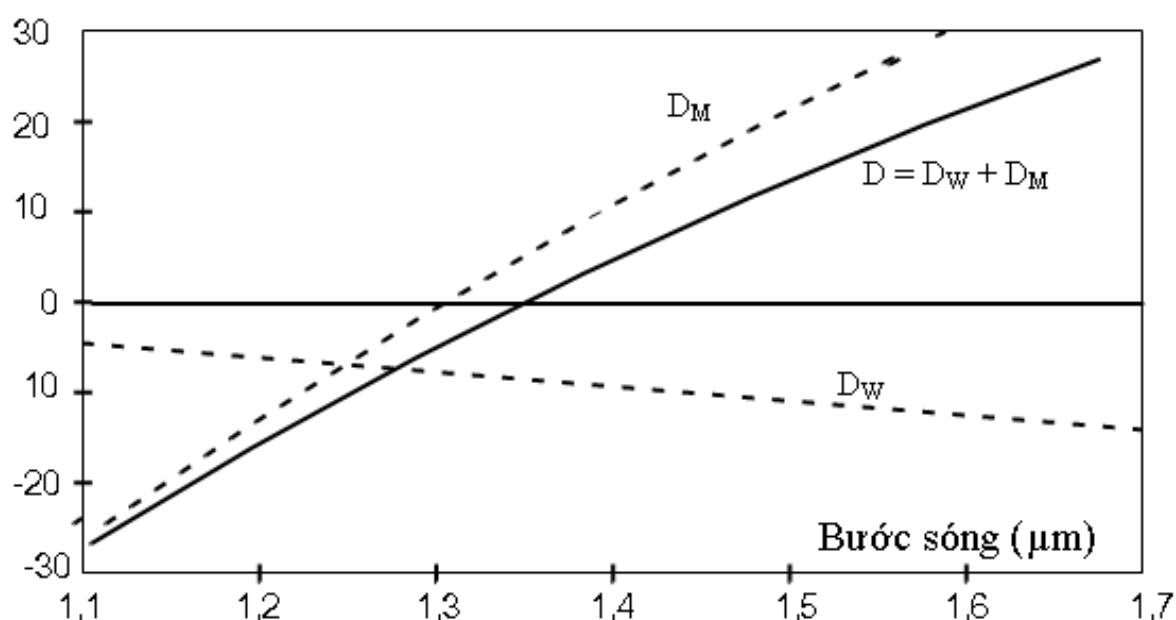
$D_W$  - tán sắc dẫn sóng:

$$D_W = -\frac{2\pi \cdot \Delta}{\lambda^2} \left[ \frac{n_{2g}^2}{n_2 \omega} \cdot \frac{V d^2 (Vb)}{dV^2} + \frac{dn_{2g}}{d\omega} \cdot \frac{d(Vb)}{dV} \right] \quad (1.9)$$

$n_{2g}$  là chiết suất nhóm của lớp bọc sợi quang. Đại lượng  $\Delta$  không phụ thuộc vào tần số  $\omega$ .

Tại bước sóng  $1,55\mu\text{m}$ :  $D \approx 15 \div 18 \text{ps/km.nm}$

$D_W$  phụ thuộc vào các thông số của sợi quang  $a$  và  $\Delta$ , do đó có thể chế tạo các sợi quang có  $\lambda_{\text{ZD}} = 0$  tại  $\lambda = 1,55\mu\text{m}$  và sợi quang loại này gọi là sợi dịch tán sắc (Dispersion Shifted Fibers). Sợi quang có  $D$  rất nhỏ trong vùng từ  $1,3 \div 1,6\mu\text{m}$  gọi là sợi tán sắc phẳng (Dispersion Flattened Fibers) và sợi quang có  $D$  âm trong vùng sóng này gọi là sợi bù tán sắc (Dispersion Compensating Fibers). Hình 1.3 [6] thể hiện tán sắc trong sợi quang.



**Hình 1.3: Tán sắc trong sợi quang [6]**

Tán sắc mode chỉ phụ thuộc vào kích thước sợi, đặc biệt là đường kính lõi của sợi. Nó tồn tại trên các sợi đa mode vì các mode trong sợi này sẽ lan truyền theo các đường đi khác nhau làm cho cự ly đường của các mode đi cũng khác nhau và do đó thời gian lan truyền khác nhau.

- Các hiệu ứng phi tuyến: Là các hiệu ứng quang mà các tham số của nó phụ thuộc vào cường độ ánh sáng. Hiệu ứng phi tuyến quang có thể bỏ qua đối với các hệ thống thông tin quang hoạt động ở mức công suất vừa phải (vài mW) với tốc độ bit lên đến 2.5Gbps. Tuy nhiên ở tốc độ cao từ 10Gbps trở lên việc xét các hiệu ứng phi tuyến rất quan trọng.

Các hiệu ứng phi tuyến có thể chia làm 2 loại:

Loại thứ nhất sinh ra do tác động qua lại giữa sóng ánh sáng với các phonon (rung động phân tử) trong môi trường silica. Hai hiệu ứng chính trong loại này là tán xạ do kích thích Brillouin SBS và tán xạ do kích thích Raman RSR.

Loại thứ hai sinh ra do sự phụ thuộc của chiết suất vào cường độ điện trường hoạt động. Các hiệu ứng quan trọng trong loại này là hiệu ứng tự điều pha SPM (Self-Phase Modulation), hiệu ứng điều chế xuyên pha CPM (Cross-Phase Modulation) và hiệu ứng trộn 4 bước sóng FWM (Four-Wave Mixing).

## **1.2 Tổng quan DWDM**

### **1.2.1 WDM và DWDM**

Ghép kênh WDM là công nghệ ghép kênh cho phép sử dụng nhiều bước sóng quang khác nhau truyền trên cùng một tuyến cáp. Như vậy ghép kênh WDM giúp sử dụng triệt để hơn băng thông của cáp quang đồng thời giải quyết nhu cầu tăng dung lượng kênh truyền mà vẫn đảm bảo hiệu quả đầu tư.

Có 3 loại công nghệ ghép kênh WDM đang được sử dụng hiện nay:

- Ghép kênh bước sóng 1310/1550nm: Công nghệ được sử dụng những năm trước 1970, sử dụng 2 sóng mang có tần số trung tâm là 1310nm và 1550nm.
- Ghép kênh theo bước sóng mật độ (DWDM): DWDM là công nghệ ghép kênh phân chia theo bước sóng với khoảng cách giữa các sóng mang nhỏ. Thông thường các sóng mang được sử dụng trong cửa sổ có bước sóng trung tâm là 1550nm. Với công nghệ ghép kênh DWDM, chúng ta có thể sử dụng cùng lúc từ 8 đến 160 bước sóng truyền trên cùng một sợi quang. DWDM thường được sử dụng với các tuyến truyền dẫn có khoảng vượt lớn.
- Ghép kênh theo bước sóng dạng thô (CWDM): CWDM là công nghệ ghép kênh phân chia theo bước sóng tương tự như DWDM tuy nhiên trong CWDM, khoảng cách giữa các sóng mang con được sử dụng lớn hơn (thường lớn hơn 20nm). CWDM sử dụng các sóng mang nằm trong cửa sổ từ 1200nm đến 1700nm. CWDM thường được sử dụng trong các tuyến truyền dẫn có khoảng vượt nhỏ, dung lượng thấp như mạng truyền dẫn trong các tòa nhà hay giữa các tòa nhà với nhau.

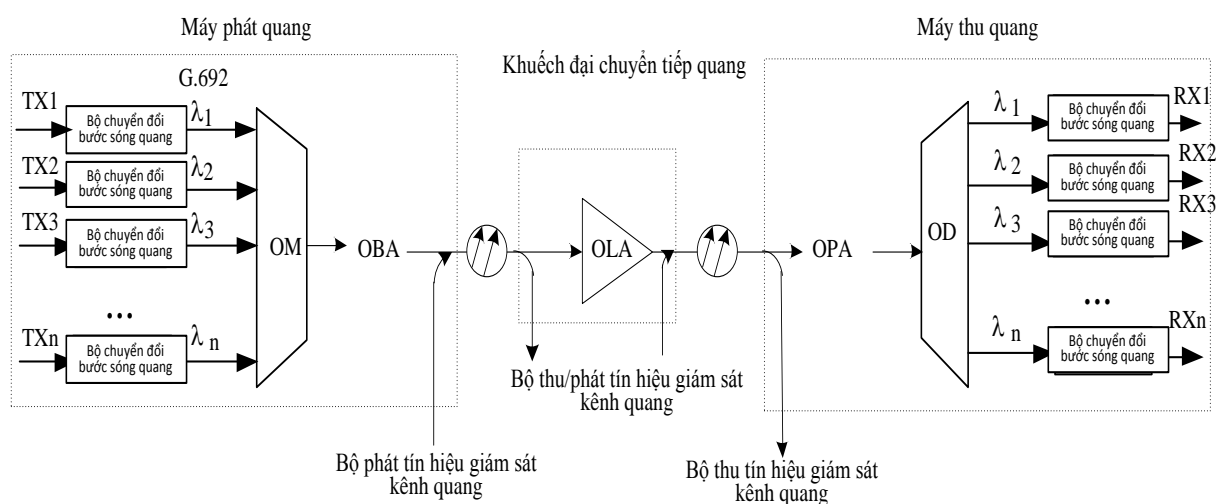
So sánh về ưu, nhược điểm của các công nghệ đó chúng ta có thể thấy DWDM đã thể hiện sự ưu việt so với các công nghệ khác với các ưu điểm:

- Khoảng vượt lớn
- Sử dụng triệt để băng thông của cáp quang
- Tăng hiệu quả của việc đầu tư mạng truyền dẫn

### 1.2.2 Hệ thống DWDM

Một hệ thống DWDM trong thực tế gồm rất nhiều các thành phần với những chức năng khác nhau. Trong phần này ta sẽ chỉ nghiên cứu đến một hệ thống DWDM đơn giản bao gồm những thành phần nào, chức năng cơ bản của nó là gì.

Cấu trúc hệ thống DWDM đơn giản được mô tả như hình 1.4 [6]



**Hình 1.4: Cấu trúc hệ thống DWDM đơn giản [6]**

- Bộ phát và thu trong hệ thống DWDM: TX1 đến TXn là các nguồn phát trong hệ thống DWDM với các bước sóng phát khác nhau tạo thành các kênh quang trong hệ thống DWDM. Mỗi kênh quang trong hệ thống DWDM có khả năng mang đi các dịch vụ khác nhau bao gồm SDH, Ethernet, ATM... Các kênh quang này được ghép kênh tại bộ ghép kênh quang OM, sau đó được khuếch đại trước khi được đưa vào kênh truyền quang. Tại đầu thu, tín hiệu quang được khuếch đại trước khi đi vào khối giải điều chế để tách tín hiệu thành các kênh quang riêng biệt.

- Bộ khuếch đại quang OLA: Bộ khuếch đại được lắp đặt ở giữa các tuyến truyền dẫn DWDM nhằm khuếch đại các tín hiệu quang.

- Kênh giám sát quang: Trong hệ thống DWDM sử dụng bước sóng 1510nm làm kênh quang mang đi các thông tin giám sát và quản lý mạng.

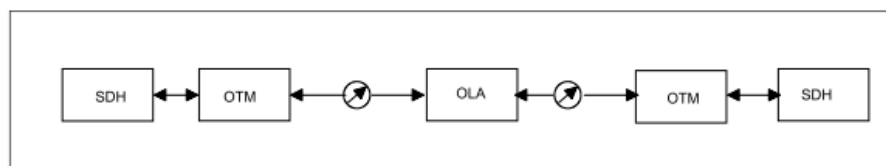
- Hệ thống quản lý mạng: Hệ thống này không được vẽ trong hình trên, hệ thống DWDM NMS có khả năng quản lý các khối khuếch đại quang (OBA, OLA và OPA), các bộ ghép kênh, các khối thu phát quang.

### 1.3 Mạng DWDM

#### 1.3.1 Những mô hình mạng cơ bản

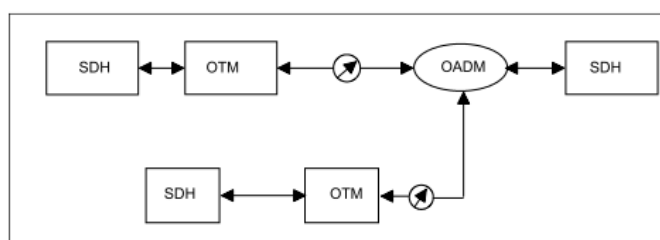
Có ba mô hình mạng cơ bản của hệ thống DWDM : điểm-điểm, chuỗi và vòng. Ngoài ra còn có thể kết hợp những loại này để tạo ra những mạng DWDM khác. Khi kết hợp cũng với thiết bị SDH khác thì chúng có thể hình thành nên một mạng truyền dẫn khá là phức tạp. Trong các hình 1.5, 1.6, 1.7 [6] thể hiện các mô hình mạng kết nối cơ bản của hệ thống DWDM.

Mạng kết nối điểm-điểm



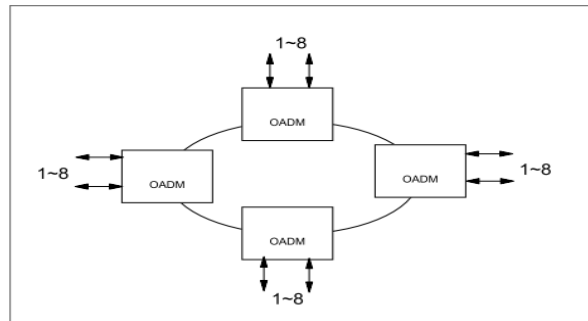
**Hình 1.5: Mạng kết nối điểm điểm [6]**

Mạng chuỗi



**Hình 1.6: Mạng kết nối dạng chuỗi [6]**

## Mạng vòng



**Hình 1.7: Mạng kết nối dạng vòng [6]**

Trong những vùng mạng nội hạt, đặc biệt là ứng dụng mạng metro, bộ tách/ghép quang DWDM có thể được sử dụng để tạo nên những mạng vòng theo nhu cầu sử dụng. Nhìn chung trong mạng vòng, ứng dụng bảo vòng bảo vệ được tạo ra từ bản thân thiết bị SDH, chính vì thế cũng không cần thiết phải thiết lập phương thức bảo vệ cho thiết bị DWDM. Nhưng bảo vệ bước sóng vẫn có thể được triển khai tùy theo yêu cầu sử dụng.

### 1.3.2 Điểm nút của mạng DWDM

Về cơ bản có thể chia điểm nút của mạng thông tin ra làm hai loại là: điểm nút đầu cuối và điểm nút trung gian, trong mạng DWDM nói đến công nghệ điểm nút thì chủ yếu là điểm nút trung gian, bao gồm các điểm nút nối chéo quang (OXC- Optical Cross Connection), các điểm nút tách/ ghép kênh quang (OADM- Optical Add/Drop Multiplexer) và các điểm nút hỗn hợp (là các điểm nút có đồng thời chức năng của OXC và OADM).

#### 1.3.2.1 Điểm nút OXC

Chức năng của điểm nút OXC tương tự như chức năng nối chéo tín hiệu số của thiết bị DXC (Digital Cross Connection) trong mạng SDH, chỉ khác là OXC thực hiện việc nối chéo tín hiệu trên miền quang, không cần thực hiện chuyển đổi quang điện/ điện quang và xử lý tín hiệu điện, cho nên tốc độ xử lý rất nhanh, đáp ứng được mạng thông tin tốc độ cao và hướng tới một mạng hoàn toàn quang. Như



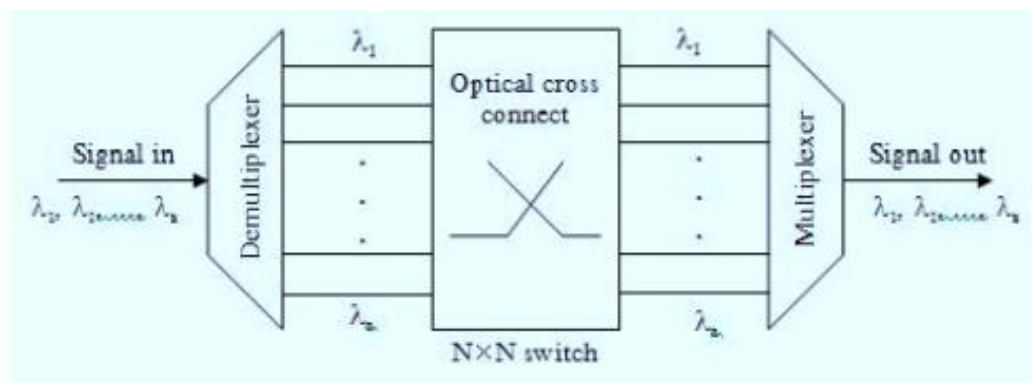
vậy sẽ tạo ra nhiều dịch vụ mới, mang lại lợi ích cho cả nhà cung cấp dịch vụ và khách hàng.

Điểm nút OXC được chia ra thành điểm nút OXC động và điểm nút OXC tĩnh. Trong điểm nút OXC tĩnh, trạng thái nổi vật lý của các kênh tín hiệu quang khác nhau là cố định, ưu điểm của nó là dễ thực hiện về công nghệ. Trong điểm nút OXC động trạng thái nổi vật lý của các kênh tín hiệu quang khác nhau có thể thay đổi theo yêu cầu tức thời, mặc dù rất khó thực hiện về công nghệ, nhưng đó chính là tiền đề quan trọng để thực hiện chức năng then chốt của mạng thông tin quang DWDM như: chọn tuyến động, khôi phục cấu hình theo thời gian thực, mạng tự hồi phục....). Trong điểm nút OXC, kỹ thuật biến đổi bước sóng là rất quan trọng vì nó giúp giảm nghẽn của mạng lưới, thực hiện kết nối định tuyến ảo, và tận dụng tối đa tài nguyên băng tần của sợi quang....

Một số công nghệ được đề xuất cho module chuyển mạch quang như:

- Công nghệ quang-cơ (optomechanical)
- Công nghệ lái tia (beam steering)
- Quang nhiệt Polyme (polyme thermo-optic)
- Quang nhiệt Silic (silica thermo-optic)
- Công nghệ vi mạch quang Silic kết hợp bơm nhiệt (silic planar lightwave circuits anh thermo inkjet).

Mỗi loại công nghệ đều có những ưu điểm và nhược điểm riêng. Chưa có một công nghệ nào đáp ứng được toàn bộ các yêu cầu ứng dụng của một hệ thống hoàn toàn quang. Hình 1.8 [9] mô tả sơ đồ khối của bộ kết nối chéo quang OXC.



**Hình 1.8: OXC với ma trận chuyển mạch N x N [9]**

Ma trận chuyển mạch NxN là một kết cấu chuyển mạch động với nhiệm vụ kết nối bất cứ N bước sóng của sợi quang đầu vào với bất cứ một bước sóng quang nào trên sợi quang đầu ra trong hệ thống DWDM. OXC đóng vai trò là một thiết bị định tuyến bước sóng, là một thiết bị chuyển mạch bảo vệ mạng quang, và kết nối các vòng Ring....

#### 1.3.2.2 Điểm nút OADM

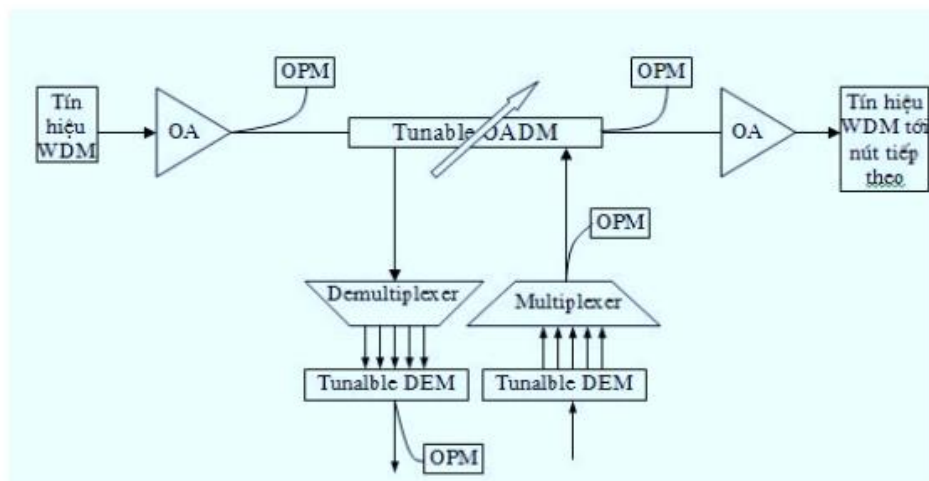
Chức năng của điểm nút OADM tương tự như bộ ghép kênh tách nhập ADM (Add Drop Multiplexer) trong mạng SDH, nhưng đối tượng thao tác trực tiếp là tín hiệu quang. ADM sử dụng bộ ghép/tách kênh tín hiệu điện, thực hiện việc ghép kênh TDM để ghép hoặc tách các luồng tín hiệu với các tốc độ chuẩn của SONET/SDH vào luồng chính hoặc từ luồng chính ra. Chỉ có các luồng dữ liệu cần thiết mới được truy nhập, dữ liệu mới được chèn vào luồng với dung lượng tối đa bằng dung lượng cho phép còn lại của mạng. Sau đó lưu lượng này được chuyển tới nút tiếp theo. Trong các nút OADM, dữ liệu cần tách/ ghép được truy nhập thông qua việc lọc lấy một số bước sóng quang từ luồng tín hiệu đa bước sóng trên sợi quang tại nút, hoặc một số bước sóng quang được ghép vào luồng tín hiệu trên sợi tại nút đó.

Trong mạng quang DWDM, thiết bị OADM coi như “trong suốt” đối với toàn bộ lưu lượng thuộc các kênh mà không có nhu cầu tách hoặc ghép. Mỗi kênh bước sóng (tương ứng với các tốc độ chuẩn khác nhau của SONET/SDH) có thể được tách hoặc ghép mà không cần đến các tín hiệu tách ghép TDM trong lớp điện. Nhờ tính năng của thiết bị tách/ ghép bước sóng mà các nhà cung cấp dịch vụ có thể cho thuê một số bước sóng mang nào đó, nó sẽ mang lại hiệu quả kinh tế cao hơn so với việc cho thuê cả một sợi quang. Điểm nút OADM có thể chia làm hai loại là: điểm nút OADM tĩnh và điểm nút OADM động.

Trong điểm nút OADM tĩnh, thực hiện việc xen/rẽ các bước sóng cố định. Trong điểm nút OADM động, có thể căn cứ vào nhu cầu để chọn tín hiệu quang có bước sóng xen/rẽ khác nhau. Hầu hết các chức năng chính của mạng quang được

thực hiện tại nút OADM. mô hình chung của một nút OADM gồm các phần tử như: module xen/rẽ bước sóng có thể điều chỉnh được; các module bù tán sắc điều chỉnh theo từng kênh DEM (Dispersion Equalizier Module); các thiết bị giám sát quang OPM (Optical Performance Monitor). Mỗi module này sử dụng sợi cách tử Bragg hay các phần tử dẫn sóng AWG như là các thành phần công nghệ chính, nên chúng có được các ưu điểm như suy hao thấp và thiết bị được tích hợp nhỏ gọn. Hình 1.9 [9] đưa ra sơ đồ các thiết bị trong một node OADM.

Thiết bị OADM như trên hình 1.9 [9] có thể cho phép xen hoặc rẽ một kênh bước sóng đơn hoặc nhiều kênh bước sóng đồng thời. Trong tương lai, khi vai trò của lớp chuyển mạch định tuyến được chuyển dần cho lớp quang thì thiết bị OADM cần có một quá trình chuyển giao từ cấu hình tĩnh sang cấu hình động (hiện nay lớp điện vẫn đóng vai trò chuyển mạch chính: các tín hiệu quang được chuyển thành các tín hiệu điện, thực hiện chuyển mạch ATM, hoặc định tuyến IP, rồi được chuyển lại thành tín hiệu quang và truyền đi). Khi đó, các thiết bị OADM này sẽ cho phép chuyển luồng số có bước sóng này sang một bước sóng khác nếu chẳng may mạng gặp sự cố tại một nhánh nào đó, do đó tránh được mất thông tin. Hoặc việc chuyển bước sóng mạng này nhằm mục đích cân bằng lưu lượng giữa các nhánh của mạng để đạt được hiệu quả cao nhất cho mạng lưới, từ đó cải thiện được hiệu quả truyền thông.



**Hình 1.9:** Sơ đồ vị trí các thiết bị trong 1 nút OADM [9]

Các kỹ thuật sử dụng trong OADM hiện tại chủ yếu dựa trên các bộ lọc điện môi mỏng, các bộ lọc quang âm điều chỉnh được, các bộ dịch pha định tuyến bước sóng AWG, hoặc sợi cách tử Bragg.

Với các bộ lọc điện môi, thiết bị OADM đạt được khoảng cách giữa các kênh là 100 GHz và lớn hơn, còn với khoảng cách kênh là 50 GHz thì bộ lọc điện môi chưa thể đáp ứng được. Các bộ lọc quang âm mặc dù có ưu điểm là phạm vi điều chỉnh bước sóng rộng, song lại bị hạn chế bởi các đặc tính không thích hợp của bộ lọc băng thông. Các bộ dịch pha bước sóng AWG mặc dù có ưu điểm cho các hệ thống có mật độ kênh cao, nhưng chúng vẫn có suy hao xen lớn, cũng có các đặc tính về băng thông chưa thật hoàn hảo. Cách tử Bragg là một triển vọng tốt cho các thiết bị OADM có khoảng cách kênh là 50 GHz với suy hao thấp, đặc tính phổ bộ lọc tương đối tốt.

Module OPM (Optical Performance Monitor) có nhiệm vụ đo đạc các thông số của kênh như: bước sóng làm việc, công suất của kênh, tỷ số S/N, số lượng kênh đang hoạt động, khoảng cách giữa các kênh, độ khuếch đại và độ gọn khuếch đại.... nhằm mục đích nhằm giám sát rồi thông báo cho module điều khiển hiệu chỉnh các thông số trên cho phù hợp. Thực chất OPM như một máy phân tích quang phổ, thực hiện phân tích và đo phổ của nguồn tín hiệu. Yêu cầu đối với OPM là phải có độ tin cậy cao, tốc độ phân tích và đo đạc cao để các bản tin của nó đưa ra phản ánh chính xác tình trạng của mạng, chính vì vậy việc thiết kế OPM trên mạng là hết sức quan trọng.

#### **1.4 Kết luận chương**

Trong chương 1 giới thiệu về tổng quan về hệ thống thông tin sợi quang, các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng truyền tín hiệu quang bao gồm suy hao, tán sắc, hiệu ứng phi tuyến. Đồng thời cũng đã tìm hiểu tổng quan về công nghệ WDM, DWDM và cấu trúc hệ thống DWDM đơn giản. Trong chương sau chúng ta sẽ tìm hiểu tới các mô hình mạng DWDM trong thực tế, các thành phần trong hệ thống DWDM và các loại điều chế khác nhau được sử dụng.

## **Chương 2 - CÁC THÀNH PHẦN CƠ BẢN CỦA HỆ THỐNG DWDM**

### **2.1 Các thành phần trong hệ thống DWDM**

#### **2.1.1 Nguồn phát trong hệ thống truyền dẫn DWDM**

##### **2.1.1.1 Nguồn phát trong hệ thống truyền dẫn quang**

Nguồn phát trong hệ thống truyền dẫn quang hiện nay thông thường sử dụng nguồn phát Laser và nguồn phát LED:

- Nguồn phát LED là những nguồn phát có độ chính xác thấp, công suất thấp, độ rộng phổ lớn và tốc độ điều chế thấp. Nguồn phát LED được áp dụng cho các hệ thống tốc độ thấp và các tuyến truyền có khoảng vượt ngắn.

- Nguồn phát Laser là những nguồn phát có độ chính xác cao, công suất cao, độ rộng phổ nhỏ và tốc độ điều chế cao. Nguồn phát Laser được áp dụng cho các hệ thống có tốc độ cao và các tuyến truyền có khoảng vượt lớn. Nguồn phát Laser được sử dụng trong hệ thống DWDM

##### **2.1.1.2 Đặc điểm của nguồn phát được sử dụng trong hệ thống DWDM**

- Nguồn phát quang chính xác và ổn định: Hệ thống DWDM yêu cầu nguồn phát quang có độ chính xác rất cao, hiện tượng trôi bước sóng sẽ gây ra mất ổn định và giảm độ tin cậy của hệ thống.

- Tăng cường khả năng chống chọi của hệ thống đối với hiện tượng tán sắc: Truyền dẫn quang bị hạn chế chủ yếu bởi các hiện tượng suy hao và tán sắc. Khi tốc độ truyền dẫn tăng, ảnh hưởng của hiện tượng tán sắc cũng tăng theo nhanh chóng. Để giảm ảnh hưởng của hiện tượng tán sắc lên chất lượng của tuyến quang, chúng ta có thể sử dụng các loại cáp quang ít chịu ảnh hưởng của tán sắc và sử dụng các bộ phát quang có độ rộng phổ của xung nhỏ.

#### **2.1.2 Ghép kênh và giải ghép kênh phân chia theo bước sóng**

##### **2.1.2.1 Tổng quan bộ ghép kênh và giải ghép kênh**

Bộ ghép kênh và giải ghép kênh quang phân chia theo bước sóng, còn được gọi là bộ ghép và giải ghép kênh quang có bản chất là các bộ lọc quang.

Bộ ghép kênh quang (OM) cho phép kết hợp các tín hiệu quang có bước sóng xác định thành một chùm tín hiệu quang, sau đó phát chúng đi trên môi trường sợi quang.

Tại phía thu, bộ giải ghép kênh quang (OD) cho phép tách các tín hiệu quang có bước sóng xác định trước ra khỏi chùm tín hiệu quang, và đưa mỗi tín hiệu tách được đến các bộ thu tương ứng.

Để xác định phẩm chất của các bộ ghép kênh và giải ghép kênh, chúng ta quan tâm đến độ suy hao, độ lệch và nhiễu xuyên kênh.

Một số loại ghép kênh và giải ghép kênh quang:

- Ghép kênh và giải ghép kênh cách tử: Bộ ghép và giải ghép kênh sử dụng cách tử để tổng hợp và tách các tín hiệu quang ở những bước sóng khác nhau. Thông thường các bộ ghép kênh và giải ghép kênh sử dụng cách tử có phẩm chất cao, cho phép phân biệt được các tín hiệu quang khác nhau có khoảng cách nhỏ nhất là 0.5nm. Tuy nhiên, do việc sản xuất cách tử yêu cầu độ chính xác cao và giá thành cao, khó sản xuất công nghiệp rộng rãi, vì thế thông thường phương pháp sử dụng cách tử được sử dụng trong các phòng thí nghiệm.

- Ghép kênh và giải ghép kênh sử dụng màng phim mỏng (TFF- Thin Film Filter): TFF bao gồm nhiều màng phim mỏng được cấu tạo từ các vật liệu khác nhau với hệ số phản xạ và độ dày khác nhau. Do đó các màng phim mỏng đóng vai trò như các bộ lọc thông dải, cho phép tách ra các tín hiệu quang có bước sóng khác nhau. Các bộ ghép kênh và giải ghép TFF thích hợp cho các thiết bị quang tích hợp, nhỏ gọn. Phương pháp sử dụng TFF cho phẩm chất lọc tốt (lọc đỉnh phẳng), nhiễu giao thoa thấp.

- Ghép kênh và giải ghép kênh sử dụng ma trận các ống dẫn sóng (AWG- Array WaveGuide): Bộ ghép kênh sử dụng kỹ thuật giao thoa ánh sáng để ghép và tách các tín hiệu quang tại các bộ ghép kênh (giải ghép kênh). Các bộ ghép kênh và giải ghép kênh AWG có kích thước nhỏ và phẩm chất tốt, do đó thông thường được sử dụng cho các hệ thống trong thực tế.

Ta có tóm tắt các phương pháp ghép kênh và giải ghép kênh ở bảng 2.1[6] .

**Bảng 2.1: Các phương pháp ghép và giải ghép kênh [6]**

| Phương pháp sử dụng | Khả năng ghép kênh   |              |                      | Khả năng giải ghép kênh |              |                      |
|---------------------|----------------------|--------------|----------------------|-------------------------|--------------|----------------------|
|                     | Nhỏ hơn 32 bước sóng | 40 bước sóng | Lớn hơn 80 bước sóng | Nhỏ hơn 32 bước sóng    | 40 bước sóng | Lớn hơn 80 bước sóng |
| AWG                 | ✓                    | ✓            | -                    | ✓                       | ✓            | -                    |
| TFF                 | ✓                    | ✓            | -                    | ✓                       | ✓            | -                    |
| Cách tử             | -                    | -            | ✓                    | -                       | -            | ✓                    |

#### 2.1.2.2 Đặc điểm chính của bộ ghép kênh và giải ghép kênh quang

- Số lượng kênh quang: Số lượng các kênh quang có thể được ghép và giải ghép kênh tại các bộ ghép kênh và giải ghép kênh.

- Suy hao: Là hiện tượng suy hao gây ra bởi bộ ghép kênh, hiện tượng này ảnh hưởng trực tiếp đến khoảng vượt của hệ thống. Các phương pháp khác nhau sẽ cho các giá trị suy hao khác nhau.

- Khoảng cách kênh: Là khoảng cách bước sóng giữa các kênh quang trong bộ điều chế và giải điều chế DWDM.

- Hệ số phản xạ: Tại đầu vào của các bộ ghép kênh và giải ghép kênh luôn xảy ra hiện tượng phản xạ, một phần năng lượng của tín hiệu quang bị phản xạ quay trở lại sợi quang. Tỷ số giữa công suất tín hiệu quang bị phản xạ với công suất quang đầu vào là hệ số phản xạ. Thông thường hệ số phản xạ càng nhỏ càng tốt.

- Hệ số nhiệt: Là hiện tượng dao động của bước sóng trung tâm của các kênh quang khi chịu ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường. Hệ số nhiệt của hệ thống càng nhỏ, hệ thống càng ổn định trước sự thay đổi nhiệt của môi trường.

- Băng thông: Là dải tần số làm việc của các bộ giải ghép kênh. Giá trị của băng thông thường được chia thành 2 loại, giá trị băng thông tại suy hao 0.5dB và tại suy hao 20dB.

+ Băng thông tại suy hao 0.5dB: là chênh lệch giữa bước sóng làm việc lớn nhất và nhỏ nhất của bộ giải ghép kênh khi giá trị suy hao tại bộ giải ghép kênh nhỏ hơn 0.5dB. Đường đặc tính băng thông của bộ giải ghép kênh tại suy hao 0.5dB càng phẳng và bề rộng càng lớn càng tốt.

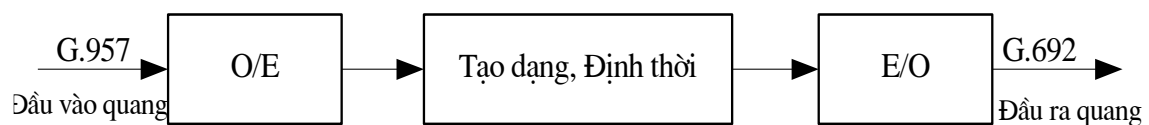
+ Băng thông tại suy hao 20dB: là chênh lệch giữa bước sóng làm việc lớn nhất và nhỏ nhất của bộ giải ghép kênh khi suy hao tại bộ giải ghép kênh nhỏ hơn 20dB. Đường đặc tính của băng thông của bộ giải ghép kênh tại suy hao 20dB càng hẹp càng tốt.

### 2.1.3 Phát đáp quang trong hệ thống DWDM

Bộ phát đáp quang trong hệ thống DWDM làm nhiệm vụ chuyển đổi các bước sóng của tín hiệu quang đầu vào hệ thống DWDM thành các tín hiệu quang có bước sóng phù hợp với chuẩn G.692 trong khuyến nghị của ITU-T để tạo thành luồng tín hiệu DWDM.

#### 2.1.3.1 Nguyên lý làm việc của bộ phát đáp

Nguyên lý làm việc của bộ phát đáp quang được trình bày trong hình 2.1 [6] .



**Hình 2.1: Nguyên lý làm việc của bộ phát đáp quang [6]**

Tại đầu vào bộ phát đáp quang thực hiện việc chuyển đổi từ tín hiệu quang thành tín hiệu điện trước khi thực hiện các xử lý khác (Bao gồm tái tạo hình dạng tín hiệu, đồng bộ, tái tạo dữ liệu). Sau quá trình xử lý, bộ phát đáp quang thực hiện chuyển đổi các tín hiệu thành các tín hiệu quang theo khuyến nghị G692 tạo ra tín hiệu DWDM.

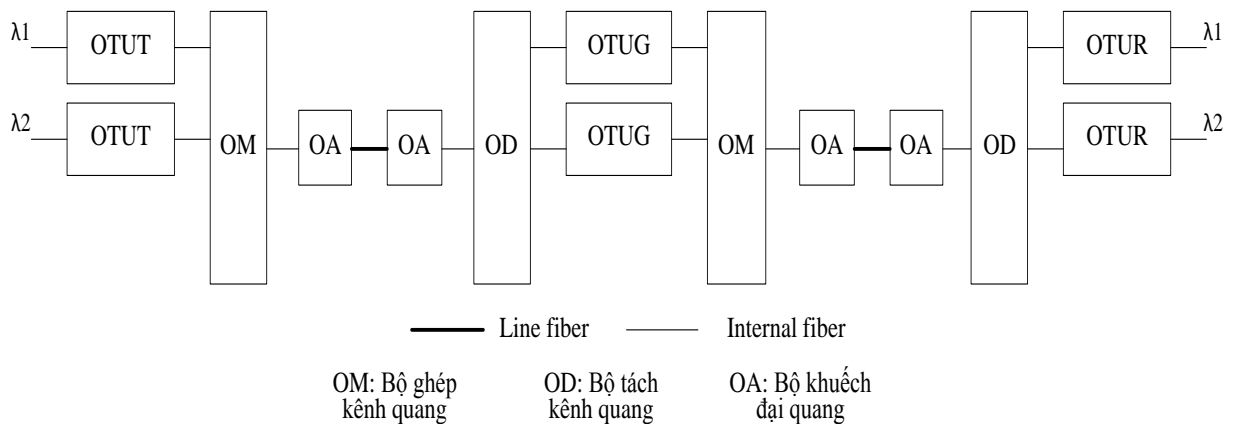


Trong quá trình xử lý, nếu bộ phát đáp quang chỉ thực hiện việc tái tạo dạng tín hiệu và đồng bộ thì đây là các bộ phát đáp quang chỉ thực hiện việc chuyển đổi dạng tín hiệu quang được sử dụng trong các tuyến truyền dẫn có khoảng vượt nhỏ.

Một số bộ phát đáp quang thực hiện các chức năng tái tạo dạng tín hiệu, đồng bộ và tái tạo dữ liệu. Các bộ phát đáp quang này thực hiện chức năng giống như các bộ lặp tái tạo tín hiệu.

### 2.1.3.2 Phân loại và ứng dụng của các bộ phát đáp quang

Tùy thuộc vào vị trí được sử dụng trong hệ thống DWDM, các bộ phát đáp quang có thể phân loại thành các 3 loại: OTUT, OTUR và OTUG. Vị trí và ứng dụng của các bộ phát đáp được thể hiện trong hình 2.2 [6] .



**Hình 2.2: Vị trí các bộ phát đáp quang trong hệ thống DWDM [6]**

- OTUT: Đây là các bộ phát đáp nằm giữa thiết bị của khách hàng và bộ ghép kênh quang. Các bộ phát đáp quang OTUT thực hiện các chức năng chuyển đổi tín hiệu quang/điện, tái tạo dạng tín hiệu, đồng bộ. Đầu ra của các bộ phát đáp quang OTUT là các tín hiệu quang theo khuyến nghị G.692 để tạo ra các tín hiệu DWDM.

- OTUR: Đây là các bộ phát đáp quang nằm giữa bộ giải ghép kênh quang và các thiết bị khách hàng. Đầu vào của các bộ phát đáp OTUR là các tín hiệu quang theo khuyến nghị G.692. Bộ phát đáp quang OTUR có chức năng tương tự chức

năng của bộ phát đáp quang OTUT bao gồm chuyển đổi quang/điện, tái tạo tín hiệu và đồng bộ.

- OTUG: Bộ phát đáp quang OTUG hoạt động ở giữa các bộ ghép kênh và giải ghép kênh quang. Các bộ phát đáp quang loại này thực hiện các chức năng chuyển đổi điện/quang, tái tạo hình dạng tín hiệu, đồng bộ, tái tạo dữ liệu. Các bộ phát đáp quang OTUG hoạt động như các bộ lặp quang trong hệ thống DWDM.

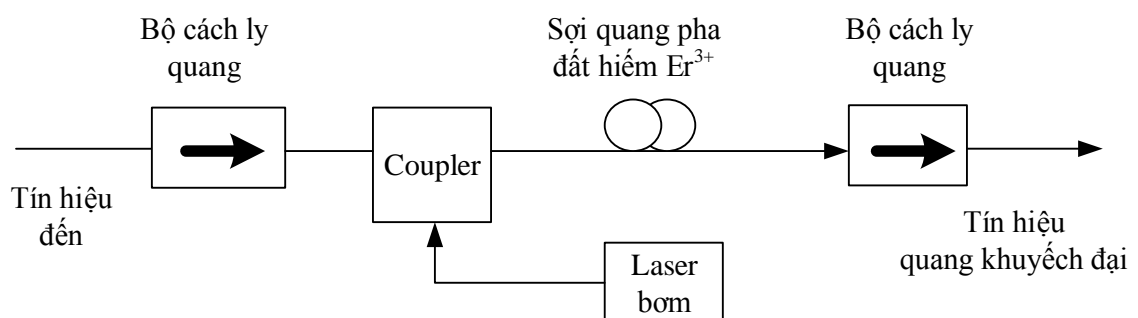
#### 2.1.4 Khuếch đại quang trong hệ thống DWDM

Trong các tuyến truyền dẫn quang có khoảng cách lớn, công suất của tín hiệu quang suy giảm dần theo khoảng cách truyền. Tuy nhiên, thông thường tín hiệu quang ở đầu ra bộ phát tín hiệu không vượt quá 5 (dBm). Mặt khác, tại đầu thu, các bộ thu chỉ có thể thu tín hiệu có công suất lớn hơn một mức nhất định để đảm bảo độ chính xác. Vì vậy có thể thấy vấn đề về công suất quang là vấn đề chính để xác định khoảng cách truyền dẫn.

Trong hệ thống truyền dẫn DWDM cũng như các hệ thống truyền dẫn quang khác, các bộ khuếch đại quang được sử dụng để giải quyết vấn đề trên. Trong thực tế có nhiều loại công nghệ khuếch đại quang khác nhau, tuy nhiên hiện nay trong mạng truyền dẫn ở nước ta thông dụng sử dụng các bộ khuếch đại quang EDFA và RAMAN.

##### 2.1.4.1 Bộ khuếch đại quang EDFA

- Bộ khuếch đại quang EDFA bao gồm cáp EDF, nguồn sáng kích thích, phân kết nối, bộ cách ly (hình 2.3 [9]).



**Hình 2.3: Cấu trúc của bộ khuếch đại quang sợi EDFA [9]**

+ Phần kết nối (coupler) được sử dụng để kết hợp giữa ánh sáng từ nguồn bơm quang và tín hiệu quang đầu vào.

+ Bộ cách ly (isolator) được sử dụng nhằm triệt tiêu sự phản xạ ánh sáng tại đầu vào và đầu ra của bộ khuếch đại quang.

+ Bơm laser tạo ra nguồn ánh sáng kích thích.

+ Sợi quang pha ion đất hiếm Erbium EDF (Erbium-Doped Fiber): Là nơi xảy ra quá trình khuếch đại (vùng tích cực) của EDFA.

- Ưu điểm của Bộ khuếch đại:

+ Nguồn laser bơm bán dẫn có độ tin cậy cao, gọn và công suất cao.

+ Cấu hình đơn giản, hạ giá thành của hệ thống.

+ Cấu trúc nhỏ gọn, có thể lắp đặt nhiều EDFA trong cùng một trạm, dễ vận chuyển thay thế.

+ Công suất nguồn nuôi nhỏ, thuận lợi khi áp dụng cho các tuyến thông tin quang biển.

+ Không có nhiễu xuyên kênh khi khuếch đại các tín hiệu WDM như bộ khuếch đại bán dẫn.

+ Hầu như không phụ thuộc vào phân cực của tín hiệu.

- Nhược điểm:

+ Phổ độ lợi của EDFA không bằng phẳng.

+ Băng tần hiện nay bị giới hạn trong băng C và băng L.

+ Nhiều được tích lũy qua nhiều chặng khuếch đại gây hạn chế cự ly truyền dẫn.

- Ứng dụng của Bộ khuếch đại quang EDFA

Công nghệ thông tin quang đang di chuyển từ các hệ thống điểm – điểm sang mạng quang. EDFA có vai trò ở nhiều vị trí trong mạng quang WDM.

Ở phía phát, nhiều kênh quang được kết hợp lại trong bộ ghép và tín hiệu kết hợp sẽ được khuếch đại bởi bộ khuếch đại công suất trước khi đưa vào sợi quang dẫn.

Ở phía thu, các tín hiệu WDM đến được khuếch đại bởi bộ tiền khuếch đại trước khi ghép thành các kênh riêng rẽ cấp sang bộ thu.

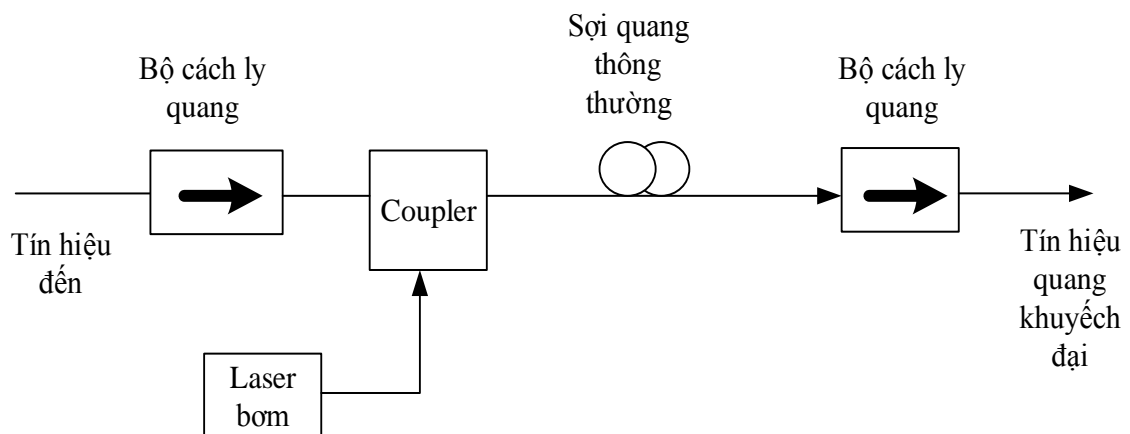
Các bộ khuếch đại đường truyền ứng dụng để kéo dài khoảng cách truyền dẫn. Mặc khác, do khả năng có thể xen rẽ bước sóng và kết nối chéo quang, nên EDFA có thể phát triển để tăng chức năng mạng quang, hoặc được sử dụng để bù lại đối với những suy hao của các thành phần thụ động.

#### 2.1.4.2 Bộ khuếch đại RAMAN

Khuếch đại quang Raman sử dụng trong hệ thống thông tin quang chủ yếu dựa vào sóng Stokes phát ra từ tán xạ Raman trên các phân tử trong sợi quang. Do sóng Stokes từ tán xạ Raman yếu, vì vậy sợi quang cần phải có độ dài lớn (hàng chục kilômét) để tích lũy sóng Stokes dọc theo sợi quang và công suất bơm lớn. Băng tần khuếch đại có thể lên đến 40-50nm và phụ thuộc vào các trạng thái dao động phân tử cho phép trong vật liệu.

Cũng giống với cấu trúc của bộ khuếch đại EDFA nhưng sợi quang trong khuếch đại RAMAN không pha tạp Erbium mà chỉ là sợi quang thông thường.

Hình 2.4 là cấu trúc của bộ khuếch đại quang RAMAN.



**Hình 2.4: Cấu trúc bộ khuếch đại quang RAMAN**

- So với các loại khuếch đại quang khác, khuếch đại Raman có những ưu điểm sau:
  - + Tạp âm nhiễu thấp.
  - + Cấu trúc đơn giản, không cần sợi đặc biệt.
  - + Dễ chọn băng tần.
  - + Có thể đạt được băng thông rộng nhờ kết hợp với laser bơm.

- Bên cạnh những ưu điểm đó bộ khuếch đại Raman cũng có những nhược điểm như sau:

+ Xuyên âm giữa các kênh tín hiệu do hiện tượng tán xạ Raman kích thích SRS. Đây là một trong các hiệu ứng phi tuyến của sợi quang có thể gây ảnh hưởng đến chất lượng của hệ thống ghép kênh theo bước sóng WDM.

+ Hệ số khuếch đại thấp.

+ Hiệu suất khuếch đại thấp hơn so với EDFA: khuếch đại Raman cần một công suất bơm lớn hơn để đạt cùng một giá trị độ lợi.

- Ứng dụng khuếch đại quang RAMAN trong hệ thống WDM

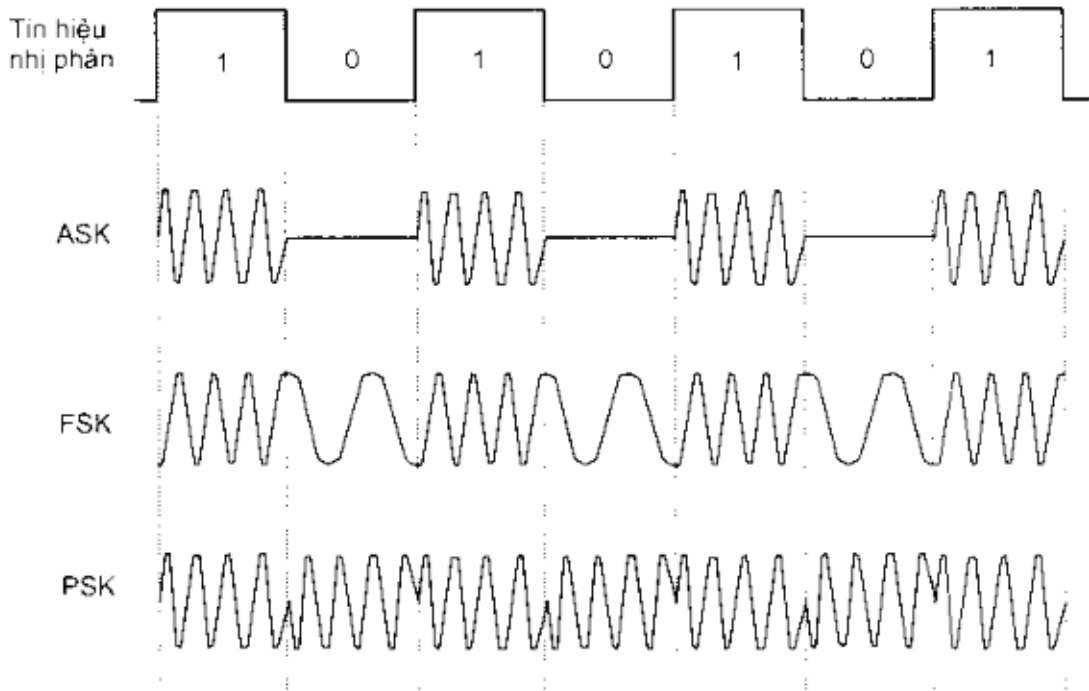
Trong hệ thống WDM gồm nhiều kênh, nếu dải tần của các tín hiệu cần khuếch đại Raman lớn hơn băng thông của hệ số khuếch đại Raman (giả sử 40nm) thì cần phải sử dụng nhiều nguồn bơm khác nhau. Mỗi nguồn bơm có bước sóng cách nhau 40nm đúng bằng băng thông của độ khuếch đại. Khi đó, dải tần rộng của tín hiệu có thể được khuếch đại một cách hiệu quả.

Nếu chỉ có một kênh truyền trong sợi quang thì hiệu ứng Raman chỉ quan sát được khi công suất của tín hiệu lớn hơn giá trị ngưỡng. Nếu như giá trị ngưỡng là cao thì không xét đến hiện tượng Raman trong hệ thống đơn kênh.

Trong hệ thống WDM thì hiệu ứng tán xạ Raman lại xảy ra dưới một hình thức khác. Ở đây sóng Stokes không phải là kết quả của quá trình tự phát. Vì có nhiều bước sóng hoạt động trong sợi quang nên có thể bước sóng của kênh này trùng với bước sóng vạch Stokes của kênh có bước sóng thấp hơn. Nói cách khác, các kênh có bước sóng ngắn hơn có thể hoạt động như một nguồn bơm cho các kênh có bước sóng dài hơn. Do hiện tượng tán xạ Raman mà có kênh nhận năng lượng và ngược lại, có những kênh bị tiêu hao năng lượng.

## **2.2 Điều chế tín hiệu quang**

Tín hiệu quang trước khi được truyền đi được điều chế biên độ, tần số hoặc pha của sóng mang quang. Trong hệ thống thông tin quang số, có ba dạng điều chế là: điều chế khóa dịch biên độ ASK (OOK), điều chế khóa dịch tần FSK và điều chế khóa dịch pha PSK. Hình 2.5 mô tả các dạng tín hiệu được điều chế.



**Hình 2.5: Phổ tín hiệu của các dạng điều chế**

### 2.2.1 Điều chế OOK

Khóa đóng mở OOK (On/Off Keying) hay khóa dịch biên độ ASK là cách điều chế sóng mang quang đơn giản nhất. Trường sóng tín hiệu quang có thể được viết như sau:

$$E_s(t) = A_s(t) \cos[\omega_o t + \phi_s(t)] \quad (2.1)$$

Trong điều chế OOK, biên độ  $A_s$  được điều chế trong khi đó phải giữ nguyên  $\omega_o$  và  $\phi_s$  là hằng số. Vì là điều chế số nhị phân, nên  $A_s$  chỉ nhận các giá trị “0” và “1” tùy thuộc vào các giá trị “0” và “1” cần phát đi. Trong hầu hết các trường hợp thì  $A_s$  có giá trị bằng không khi các bit “0” được truyền đi. Dạng phổ tín hiệu của ASK được biểu thị trong hình 2.5.a. Thực hiện điều chế ASK cho các hệ thống Coherent sẽ khác đáng kể so với trường hợp hệ thống có tách sóng trực tiếp.

### 2.2.2 Điều chế M-PSK

Trong dạng điều chế khóa dịch pha PSK, các chùm bit tín hiệu quang được phát ra bằng cách điều chế pha  $\phi_s$  trong biểu thức (2.1), trong khi đó thì biên độ  $A_s$

và tần số  $\omega_o$  của sóng mang quang được giữ nguyên là hằng số. Khi đó có thể viết được như sau:

$$E_s(t) = A_o \cos[\omega_o t + m(t)\pi] \quad (2.2)$$

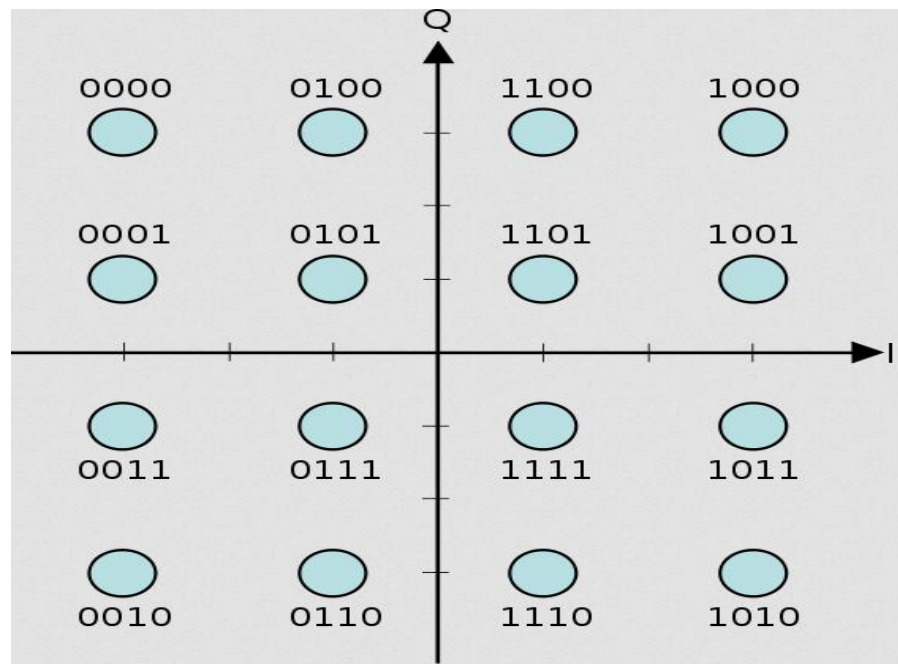
Trong đó  $m(t)$  nhận các giá trị 0 và 1, điều này có nghĩa pha  $\phi_s$  nhận giá trị 0 và  $\pi$ . Dạng phổ công suất như hình 2.5b

### 2.2.3 Điều chế M-QAM

Điều chế M-QAM là phương pháp điều chế kết hợp giữa điều chế biên độ và điều chế pha. Tên gọi điều chế biên độ trực giao xuất phát từ thực tế là tín hiệu MQAM được tạo ra bằng cách cộng các tín hiệu điều chế biên độ  $\sqrt{M}$  mức có các sóng mang trực giao (vuông góc) với nhau.

Quá trình điều chế M-QAM thực hiện như sau: dòng  $m$  bit vào đã mã hoá mang  $m$  bit được chia thành hai dòng tín hiệu I (đồng pha) và Q (lệch pha  $90^\circ$ ). Mỗi tín hiệu mã hoá mang  $m/2$  bit tương ứng với  $2^{m/2}$  trạng thái. Các bậc trạng thái của tín hiệu I, Q được biểu diễn trong giản đồ chòm sao. Sau khi chuyển đổi từ tín hiệu số sang tín hiệu tương tự (DAC- Digital to analog converter), hai tín hiệu được đưa qua bộ điều chế. I và Q lệch pha nhau  $90^\circ$ . Kết quả quá trình điều chế này sẽ tạo thành chùm các điểm gọi là chòm sao (constellation). Giản đồ chòm sao mô tả bằng đồ thị nhằm quan sát trực quan chất lượng và sự méo của một tín hiệu số, tức là giản đồ chòm sao biểu diễn biên độ và pha của sóng mang đã được ánh xạ trong mặt phẳng phức. Hệ toạ độ I và Q thể hiện các giá trị khác nhau của tín hiệu I và Q (hình 2.4). Trong giản đồ chòm sao, nhiều biểu hiện dưới dạng hướng đi của con trỏ như là một vòng tròn với mỗi trạng thái tín hiệu. (Điều này không áp dụng các điều kiện lỗi xảy ra cùng một thời điểm). Tóm lại, điều chế M-QAM là phương pháp điều chế tín hiệu hai chiều, trong đó tín hiệu mang thông tin được sử dụng để thay đổi biên độ của hai sóng mang trực giao.

Người ta có thể thực hiện điều chế QAM theo nhiều loại khác nhau được liệt kê như dưới bảng 2.2.



**Hình 2.6: Ánh xạ chuỗi bit cho một tín hiệu 16QAM**

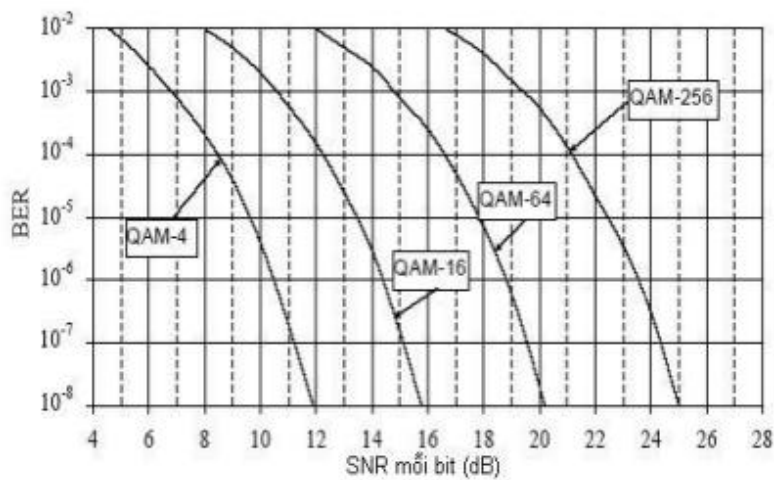
**Bảng 2.2: Phân loại các điều chế QAM**

| STT | Loại điều chế | Số bit I (Q) | Số bit/ký hiệu | Số trạng thái |
|-----|---------------|--------------|----------------|---------------|
| 1   | 4QAM (QPSK)   | 1            | 2              | 4             |
| 2   | 16QAM         | 2            | 4              | 16            |
| 3   | 64QAM         | 3            | 6              | 64            |
| 4   | 256QAM        | 4            | 8              | 256           |

Ta nhận thấy, các điểm của chòm sao được phân bố theo mã Gray (các điểm sao lân cận nhau chỉ có một bit khác nhau). Phân bố mã Gray này có ý nghĩa rất lớn vì hầu hết các loại lỗi thông thường xảy ra do ký hiệu được giải mã giống với ký hiệu gần nó. Trong trường hợp này, dùng mã Gray sẽ chỉ dẫn đến một bit lỗi trong khi mã nhị phân có thể gây ra nhiều bit lỗi. Độ nhạy của chòm sao với các nhiễu được biểu diễn bởi khoảng cách giữa các điểm sao. Trên hình 2.6 là mô hình phân bố chòm sao 16-QAM, ta nhận thấy, nếu điểm xa nhất ở các chòm sao đều có cùng biên độ thì khoảng cách giữa các điểm chòm sao lân cận giảm khi số điểm trong chòm sao tăng. Ý nghĩa này đúng với mọi loại điều chế tín hiệu hai chiều. Điều này



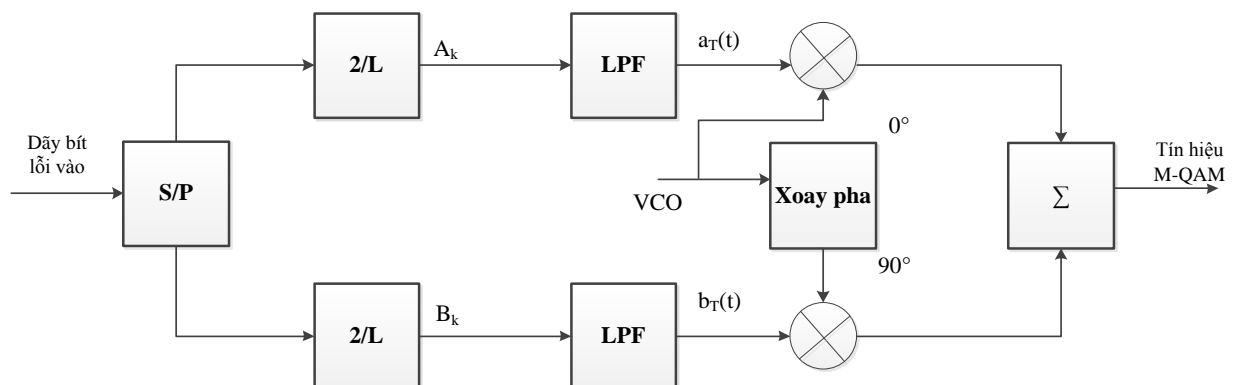
làm chòm sao có kích thước lớn như 256-QAM dễ bị nhiễu hơn nhiều so với các chòm sao có kích thước nhỏ như 4-QAM. Hình 2.7 chỉ ra kết quả lý thuyết BER cho điều chế M-QAM [8]. Đồ thị biểu diễn BER tương đối cho mỗi chòm sao QAM như một hàm của SNR mỗi bit và SNR bị chia bởi số bit trong mỗi ký hiệu. Kết quả này đã chứng minh những nhận xét trên là chính xác và chỉ rõ rằng tỉ lệ SNR thay đổi khi chòm sao thay đổi.



**Hình 2.7: Xác suất lỗi bit BER cho điều chế M-QAM**

### 2.2.3.1 Sơ đồ khối bộ điều chế M-QAM

Sơ đồ khối bộ điều chế M-QAM được trình bày như hình 2.8



**Hình 2.8: Sơ đồ khối bộ điều chế M-QAM**

Chú thích: S/P: Biến đổi song song-nối tiếp

LPF: Bộ lọc thông thấp

2/L: Bộ biến đổi 2 mức thành L mức

VCO: Tạo sóng mang  $\cos\omega t$

Bộ biến đổi song song - nối tiếp (S/P) thực hiện biến đổi từng cụm bit (ký hiệu) lỗi vào bộ điều chế gồm  $m = \log_2 M$  bit thành hai cụm tín hiệu nhị phân không - về - không (NRZ: Non Return to Zero) song song, mỗi cụm gồm  $m/2$  xung. Các khối 2/L thực hiện biến từng cụm NRZ đó thành các tín hiệu  $A_k$  và  $B_k$ , có thể nhận  $L = \sqrt{M}$  giá trị biên độ. Các mạch nhân được sử dụng sau mỗi mạch lọc nhằm thực hiện điều chế biên độ tuyến tính. Dạng phổ tín hiệu đầu ra được hình thành nhờ các bộ lọc thông thấp phía trước mạch nhân. Trong thiết kế thực tế, các bộ lọc thông thấp thường được làm gần đúng bằng mạch lọc căn bậc hai cosine tăng (square-root raised cosine filter) có hệ số điều chỉnh được. Bộ điều chế M-QAM như vậy được tạo ra từ hai bộ điều chế biên độ với sóng mang nén

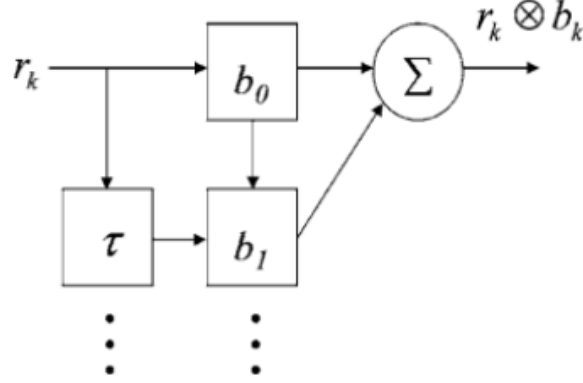
## 2.3 Kỹ thuật tách sóng Coherent

### 2.3.1 Xử lý tín hiệu số trên hệ thống thông tin quang Coherent (DSP)

Năng lực của thiết bị xử lý tín hiệu số đã được cải tiến đáng kể trong 2 thập kỷ qua, việc chuyển đổi ADC nhanh để có thể thực hiện các bước xử lý số phức tạp cần thiết để đồng bộ hóa tín hiệu nhận được trong lĩnh vực kỹ thuật số. Cả 2 vấn đề quản lý pha và sự phân cực có thể được thực hiện trong phạm vi điện bằng cách sử dụng DSP. Hơn nữa, bộ tách sóng coherent kết hợp với DSP cho phép bù sự suy giảm trong truyền dẫn sợi quang mở ra khả năng mới định hình cho công nghệ truyền dẫn quang trong tương lai. Hệ thống thông tin quang coherent có thể sử dụng một hoặc nhiều bộ phát sóng mang đơn và nhiều dạng điều chế, với QPSK là kỹ thuật phổ biến nhất và kỹ thuật điều chế biên độ cầu phương (QAM) bậc cao hơn và kỹ thuật điều chế khóa dịch pha (PSK) đang được nghiên cứu. Xử lý tín hiệu số hiện đang làm phương thức ưu chuộng nhất để bù đắp cho sự suy giảm tuyến tính của truyền dẫn sợi quang đường dài. Sau khi tách sóng coherent tín hiệu DP-QPSK, bốn hàm chính được thực hiện trong miền số trước khi tách sóng tín hiệu: bộ chuyển đổi ADC, bộ bù tán sắc DC, tách kênh phân cực và xác định pha sóng mang. [7]

Bộ chuyển đổi tương tự sang số ADC: Về cơ bản ADC là một quá trình lấy mẫu giảm. Ở đây chúng ta chọn 2-bit lấy mẫu tuy nhiên tốc độ lấy mẫu bị thay đổi.

Sự bù tán sắc: Sự tán sắc trong sợi quang là một bộ lọc pha trên miền điện của sóng ánh sáng, được cho bởi một hàm truyền phức tạp trong miền tần số:



**Hình 2.9: Sơ đồ bộ lọc số FIR áp dụng cho bù tán sắc màu**

Bỏ qua sự có mặt của hiệu ứng phi tuyến trên sợi, sợi quang có thể được mô hình hóa như một bộ lọc pha với hàm truyền đạt như sau:

$$G(z, \omega) = \exp\left(-j \frac{D\lambda^2 z}{4\pi c} \omega^2 + j \frac{S\lambda^4 \omega^3 z}{24\pi^2 c^2}\right) \quad (2.3)$$

Bên trong phần đầu tiên của phương trình (2.3) là sự tán sắc trên sợi và số hạng thứ hai là sự tán sắc cho ứng dụng đa kênh. Để bù tán sắc, chúng ta nhân miền đầu ra với nghịch đảo của hàm truyền đạt kênh (bộ lọc FIR). Bậc của bộ lọc tăng lên khi số lượng tán sắc tăng lên theo chiều dài của đường truyền.

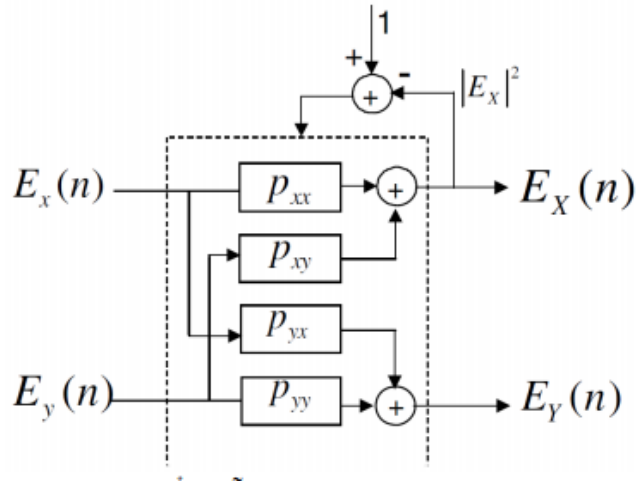
Tách phân cực:

Ma trận Jones của truyền dẫn sợi quang được biểu diễn bởi phương trình (2.4)

$$T = \begin{pmatrix} \sqrt{\alpha} e^{i\delta} & -\sqrt{1-\alpha} \\ \sqrt{1-\alpha} & \sqrt{\alpha} e^{-i\delta} \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

Trong đó,  $\alpha$  và  $\delta$  biểu thị tỉ lệ phân chia công suất và sự lệch pha giữa hai mode phân cực. Mối quan hệ giữa trường điện đầu ra và đầu vào được cho bởi.

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} E_{in,x} \\ E_{in,y} \end{pmatrix} \quad (2.5)$$



**Hình 2.10: Biểu diễn mạch DSP tách kênh phân cực**

Vậy, nếu ta có thể tìm nghịch đảo của ma trận  $T$ , chúng ta có thể tách kênh phân cực. Hình vẽ 2.10 biểu diễn một mạch DSP và phương trình (2.6) là đáp ứng của nó:

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{xx} & p_{xy} \\ p_{yx} & p_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Trong đó:

$$p_{xx}(n+1) = p_{xx}(n) + \mu(1 - |E_x(n)|^2)E_x(n)E_x^*(n)$$

$$p_{xy}(n+1) = p_{xy}(n) + \mu(1 - |E_x(n)|^2)E_x(n)E_y^*(n)$$

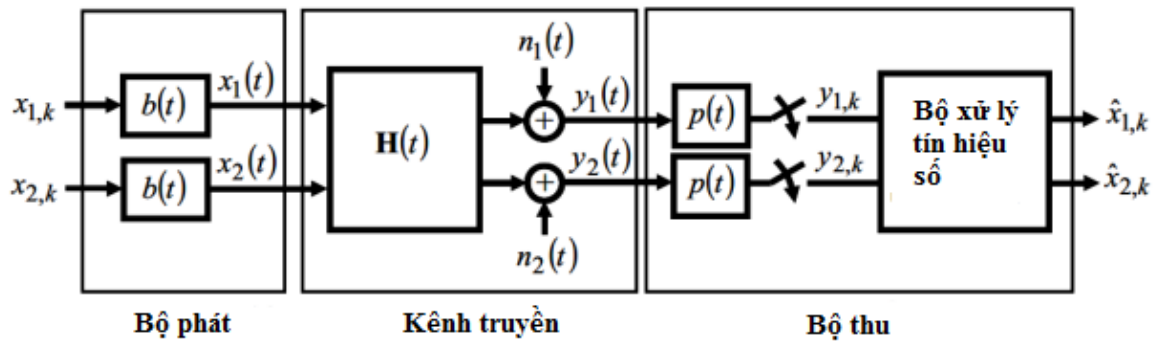
$\mu$  là thông số kích thước bước và  $n$  là số ký tự. Ma trận  $p$  về cơ bản là một bộ lọc tích cực FIR.

**Xác định pha sóng mang:** Khóa pha trong miền phần cứng được thay thế bởi xác định pha trong miền phần mềm DSP.

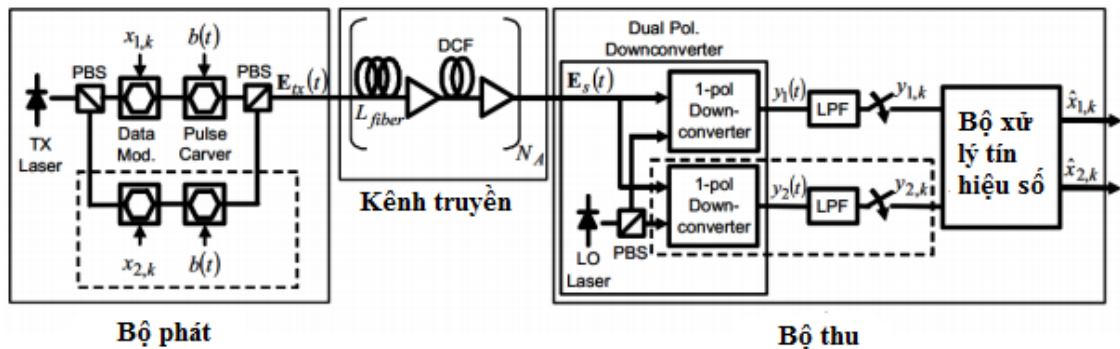
### 2.3.2. Tách sóng coherent

Phương thức tách sóng tiên tiến nhất là tách sóng coherent, ở đây tham số quyết định tính toán ở bộ thu dựa vào sự khôi phục toàn bộ ở trường điện, nó chứa cả thông tin biên độ và pha. Vì thế tách sóng coherent trở nên linh hoạt nhất trong các dạng điều chế, khi thông tin có thể được mã hóa về pha và biên độ hoặc thay thế cho cả các thành phần của sóng mang đồng pha (I) và vuông pha (Q). Tách sóng coherent yêu cầu bộ thu nhận ra pha của sóng mang, khi tín hiệu thu được giải điều

chế bởi một LO đảm nhiệm như một tham chiếu pha thuần túy. Thông thường, sự đồng bộ sóng mang được thực hiện bởi một vòng lặp khóa pha (PLL). Các hệ thống quang có thể sử dụng một PLL quang (OPLL) để đồng bộ tần số và pha của laser LO với laser  $T_x$  hoặc một PLL điện, nơi mà chuyển đổi thấp sử dụng một laser LO chạy tự do xảy ra bởi sự giải điều chế ở chặng thứ hai bằng một VCO tương tự hoặc số của tần số và pha được đồng bộ. Sử dụng một PLL điện có thể trở nên thuận lợi trong các hệ thống song công, khi bộ thu phát có thể sử dụng một laser tương đương với  $T_x$  và LO. Các PLL rất nhạy với trễ truyền sóng trên hướng phản hồi, và yêu cầu trễ có thể là khó để đáp ứng. Sự đồng bộ sóng mang Feedforward (FF) sẽ khắc phục vấn đề này. Hơn nữa, khi một máy đồng bộ FF sử dụng cả hai ký tự hiện tại và tương lai để xác định pha của sóng mang, nó có thể thu lại hiệu năng tốt hơn một PLL, như một hệ thống phản hồi có thể chỉ sử dụng các ký tự hiện tại. Gần đây, DSP đã cho phép căn chỉnh sự phân cực và đồng bộ hóa sóng mang được thực hiện bên trong phần mềm.



Hình 2.11: Mô hình hệ thống truyền dẫn Coherent



Hình 2.12: Hệ thống truyền dẫn Coherent

### 2.3.3 Kỹ thuật truyền ngược kỹ thuật số (*Digital backpropagation - DBP*)

Các kỹ thuật DSP đang ngày càng trở nên quan trọng khi chúng cho phép truyền tải đường dài mạnh mẽ với sự bù đắp cho các khiếm khuyết sợi quang tại máy thu. Một lợi thế lớn của việc sử dụng DSP sau khi lấy mẫu các đầu ra từ máy thu phân tập pha là có thể tránh được việc khóa pha quang phản cứng và chỉ cần theo dõi pha kỹ thuật số. Các thuật toán DSP cũng có thể được sử dụng để bù tán sắc màu (CD) và phân tán chế độ phân cực (PMD).

Tuy nhiên, với việc sử dụng các định dạng điều chế bậc cao hơn, như là QPSK và QAM, để đáp ứng các yêu cầu về công suất, việc bù các phi tuyến tính trở nên rất quan trọng cùng với sự phân tán sợi quang. Do điểm ngưỡng phi tuyến tính (NLT) này của hệ thống truyền dẫn có thể được cải thiện và có thể thêm công suất tín hiệu nhiều hơn trong hệ thống để có khoảng cách truyền dài hơn.

Một phương pháp điện tử đầy hứa hẹn khác, được nghiên cứu trong việc truyền tốc độ bit cao hơn và cho ánh xạ phân tán đa dạng, là kỹ thuật lan truyền ngược số (DBP), có thể cùng giảm thiểu sự phân tán và phi tuyến tính. Thuật toán DBP có thể được thực hiện bằng số bằng cách giải phương trình Schrödinger phi tuyến tính nghịch đảo (NLSE) bằng phương pháp Fourier rời rạc (SSFM). Kỹ thuật này là một phương pháp xử lý tín hiệu ngoại tuyến. Hạn chế cho đến nay đối với việc triển khai thời gian thực của nó là độ phức tạp của thuật toán. Hiệu suất của thuật toán phụ thuộc vào các bước tính toán ( $h$ ), để ước tính độ chính xác của các tham số liên kết truyền và dựa trên kiến thức về thiết kế liên kết truyền.

Phương trình Schrödinger phi tuyến tính có thể được giải ngược lại để tính toán tín hiệu truyền không bị biến dạng từ tín hiệu nhận bị méo. Tín hiệu thu được tại đường truyền sau khi truyền, tức là lan truyền về phía trước (FP), được xử lý mô hình số bằng cách sử dụng dấu âm với các tham số lan truyền tức là phân tán D, hệ số không tuyến tính. Phương pháp này được gọi là lan truyền ngược kỹ thuật số (DBP). Toán học nghịch đảo phi tuyến tính có thể được đưa ra trong phương trình (2.7);

$$\frac{\partial E}{\partial z} = (-\hat{N} - \hat{D})E \quad (2.7)$$

Trong khi đó,  $\hat{D}$  và  $\hat{N}$  lần lượt là các toán tử tuyến tính và phi tuyến tính

Đặc trưng của thuật toán DBP chủ yếu phụ thuộc vào ước tính các tham số lan truyền của NLSE. Để giải quyết số lượng NLSE với độ chính xác cao, phương pháp Fourier rời rạc (SSFM) được sử dụng. Cả hai toán tử, tức là toán tử tuyến tính  $\hat{D}$  và phi tuyến tính  $\hat{N}$  đều được giải riêng và phần  $\hat{D}$  tuyến tính được giải trong miền tần số trong khi phần phi tuyến tính  $\hat{N}$  được giải trong miền thời gian.

DBP có thể được phân loại thành 3 loại:

(a) kích thước bước nhịp phụ trong đó nhiều bước tính toán được xử lý trong một khoảng đơn của sợi quang; (b) kích thước bước trên mỗi nhịp là một bước tính toán trên khoảng sợi và (c) kích thước bước nhiều nhịp trong đó một bước tính toán được xử lý qua nhiều nhịp của sợi.

## 2.4 Kết luận chương

Trong chương 2 đã đề cập đến những vấn đề cơ bản về các thành phần trong hệ thống DWDM gồm nguồn phát quang, bộ ghép kênh, bộ phát đáp, bộ khuếch đại. Đồng thời cũng giới thiệu các phương pháp điều chế tín hiệu quang: điều chế OOK, điều chế M-PSK, điều chế M-QAM và kỹ thuật tách sóng Coherent.

Trong chương sau sẽ thực hiện mô phỏng hoạt động của hệ thống DWDM sử dụng điều chế QPSK, 8QAM và 16QAM tại tốc độ 25Gbaud và 50Gbaud.

## **Chương 3 - MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG HỆ THỐNG DWDM SỬ DỤNG MỘT SỐ LOẠI TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ MQAM**

### **3.1 Giới thiệu phần mềm mô phỏng Optisystem**

Cùng với sự bùng nổ về nhu cầu thông tin, các hệ thống thông tin quang ngày càng trở nên phức tạp. Để phân tích, thiết kế các hệ thống này trước khi triển khai thực tế thì cần thiết phải sử dụng các công cụ mô phỏng. OptiSystem chính là phần mềm mô phỏng hệ thống thông tin quang hữu hiệu. 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 cho phép người sử dụng có thể đưa thêm các phần tử tự định nghĩa vào.

Optisystem cho phép thiết kế tự động hầu hết các loại tuyến thông tin quang ở lớp vật lý, từ các hệ thống đường trục quang cho đến các mạng LAN, MAN quang.

Optisystem có một thư viện các phần tử phong phú với hàng trăm phần tử được mô hình hóa để có đáp ứng giống như các thiết bị trong thực tế. Cụ thể bao gồm:

- Thư viện nguồn quang
- Thư viện các bộ thu quang
- Thư viện sợi quang
- Thư viện các bộ khuếch đại (quang, điện)
- Thư viện các bộ MUX, DEMUX
- Thư viện các bộ lọc (quang, điện)
- Thư viện các phần tử FSO
- Thư viện các phần tử truy nhập
- Thư viện các phần tử thụ động (quang, điện)
- Thư viện các phần tử xử lý tín hiệu (quang, điện)



- Thư viện các phần tử mạng quang
- Thư viện các thiết bị đo quang, đo điện

Ngoài các phần tử đã được định nghĩa sẵn, Optisystem còn có:

- Các phần tử Measured components. Với các phần tử này, Optisystem cho phép nhập các tham số được đo từ các thiết bị thực của các nhà cung cấp khác nhau.

- Các phần tử do người sử dụng tự định nghĩa (User-defined Components) 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:

- Phân tích phổ (Spectrum Analyzer)
- Thiết bị đo công suất (Optical Power Meter)
- Thiết bị đo miền thời gian quang (Optical Time Domain Visualizer)
- Thiết bị phân tích WDM (WDM Analyzer)
- Thiết bị phân tích phân cực (Polarization Analyzer)
- Thiết bị đo phân cực (Polarization Meter)...

Thiết bị đo điện:

- Oscilloscope
- Thiết bị phân tích phổ RF (RF Spectrum Analyzer)
- Thiết bị phân tích biểu đồ hình mắt (Eye Diagram Analyzer)
- Thiết bị phân tích lỗi bit (BER Analyzer)
- Thiết bị đo công suất (Electrical Power Meter)
- Thiết bị phân tích sóng mang điện (Electrical Carrier Analyzer)...

Ngoài ra, Optisystem còn hỗ trợ nhiều các tính năng khác như: Mô phỏng phân cấp với các hệ thống con (subsystem), ngôn ngữ Script, Thiết kế nhiều lớp

(multiple layout), trang báo cáo (report page), Quét tham số và tối ưu hóa (parameter sweeps and optimizations)...

Trong luận văn sử dụng phần mềm Optisystem 16.1.0 cài trên hệ điều hành Win 10 để mô phỏng bộ chuyển đổi bước sóng toàn quang trong hệ thống WDM.

### 3.2 Cấu hình hệ thống DWDM đường trực

Tôi tiến hành xây dựng mô hình hệ thống thông tin quang DWDM đường trực khảo sát như sau:

- Mô hình: Hệ thống truyền dẫn thông tin quang đường trực dài 800 km được xây dựng gồm 10 chặng, mỗi chặng có độ dài 80km; hệ thống sử dụng kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM 16 kênh với tốc độ 25GBaud và tốc độ 50GBaud.

Trên mô hình hệ thống tuyến truyền dẫn quang này, tôi sẽ tiến hành khảo sát các định dạng điều chế QPSK và M-QAM (8-QAM, 16-QAM). Các đánh giá được thực hiện dựa vào các kết quả nhận được ở phía thu, thông qua các thông số BER và Q-Factor. Trong kết quả mô phỏng; chúng ta nhận được giá trị EVM (%) (Độ lớn vector lỗi) thông qua phương trình (3.1), tính toán các giá trị BER và Q theo phương trình (3.2) và (3.3) [12]

$$EVM = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |S_n - S_{0,n}|^2}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |S_{0,n}|^2}, \quad (3.1)$$

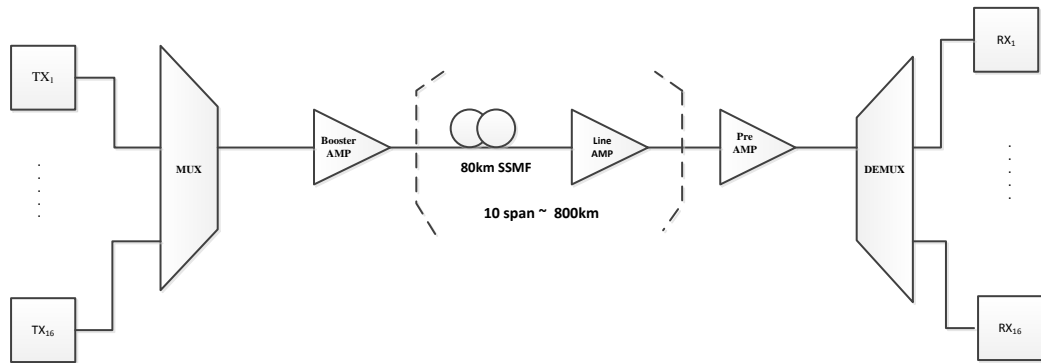
$$BER = \frac{(1 - M^{-1/2})}{\frac{1}{2} \log_2 M} * \operatorname{erfc} \left[ \sqrt{\frac{3/2}{(M-1)EVM^2 \cdot k^2}} \right], \quad (3.2)$$

$$Q = 20 * \lg \left( \sqrt{2} * \left( \operatorname{erfcinv}(2 * (BER)) \right) \right), \quad (3.3)$$

Trong đó  $S_n$  là ký hiệu (symbol) thứ n được chuẩn hóa trong luồng các ký hiệu được đo,  $S_{0,n}$  là điểm chòm sao được chuẩn hóa lý tưởng của ký hiệu thứ n và N là số ký hiệu trong chòm sao. M là số điểm trên chòm sao tín hiệu. k là hệ số phụ thuộc vào loại điều chế, được tính theo bảng 3.1.

**Bảng 3.1: Hệ số k**

|       | B/Q/8PSK | 16QAM | 32QAM | 64QAM |
|-------|----------|-------|-------|-------|
| $k^2$ | 1        | 9/5   | 17/10 | 7/3   |



**Hình 3.1: Mô hình hệ thống thông tin quang với chiều dài 800km**

### 3.2.1 Tham số khởi tạo

#### 3.2.1.1. Các tham số toàn cục

- Tốc độ bit trên mỗi kênh đối với mô hình 1: 25GBaud, 50GBaud.

| Simulation             | Signals                             | Spatial effects | Noise  | Signal tracing |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------|--------|----------------|
| Name                   | Value                               | Units           | Mode   |                |
| Simulation window      | Set bit rate                        |                 | Normal |                |
| Reference bit rate     | <input checked="" type="checkbox"/> |                 | Normal |                |
| Bit rate               | 50e+009                             | bit/s           | Normal |                |
| Time window            | 2.62144e-006                        | s               | Normal |                |
| Sample rate            | 100e+009                            | Hz              | Normal |                |
| Sequence length        | 131072                              | bits            | Normal |                |
| Samples per bit        | 2                                   |                 | Normal |                |
| Guard Bits             | 0                                   |                 | Normal |                |
| Symbol rate            | 25e+009                             | symbols/s       | Normal |                |
| Number of samples      | 262144                              |                 | Normal |                |
| Reference wavelength   | 1550                                | nm              | Normal |                |
| Export results to file | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |
| Results filename       | ...                                 |                 | Normal |                |
| Cuda GPU               | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |

(a) Mô hình sử dụng điều chế QPSK tốc độ 25GBaud

| Simulation             | Signals                             | Spatial effects | Noise  | Signal tracing |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------|--------|----------------|
| Name                   | Value                               | Units           | Mode   |                |
| Simulation window      | Set bit rate                        |                 | Normal |                |
| Reference bit rate     | <input checked="" type="checkbox"/> |                 | Normal |                |
| Bit rate               | 100e+009                            | bit/s           | Normal |                |
| Time window            | 1.31072e-006                        | s               | Normal |                |
| Sample rate            | 200e+009                            | Hz              | Normal |                |
| Sequence length        | 131072                              | bits            | Normal |                |
| Samples per bit        | 2                                   |                 | Normal |                |
| Guard Bits             | 0                                   |                 | Normal |                |
| Symbol rate            | 50e+009                             | symbols/s       | Normal |                |
| Number of samples      | 262144                              |                 | Normal |                |
| Reference wavelength   | 1550                                | nm              | Normal |                |
| Export results to file | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |
| Results filename       | ...                                 |                 | Normal |                |
| Cuda GPU               | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |

(b) Mô hình sử dụng điều chế QPSK tốc độ 50GBaud

| Simulation             | Signals                             | Spatial effects | Noise  | Signal tracing |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------|--------|----------------|
| Name                   | Value                               | Units           | Mode   |                |
| Simulation window      | Set bit rate                        |                 | Normal |                |
| Reference bit rate     | <input checked="" type="checkbox"/> |                 | Normal |                |
| Bit rate               | 75e+009                             | bit/s           | Normal |                |
| Time window            | 1.74762666666667e-006               | s               | Normal |                |
| Sample rate            | 300e+009                            | Hz              | Normal |                |
| Sequence length        | 131072                              | bits            | Normal |                |
| Samples per bit        | 4                                   |                 | Normal |                |
| Guard Bits             | 0                                   |                 | Normal |                |
| Symbol rate            | 25e+009                             | symbols/s       | Normal |                |
| Number of samples      | 524288                              |                 | Normal |                |
| Reference wavelength   | 1550                                | nm              | Normal |                |
| Export results to file | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |
| Results filename       | ...                                 |                 | Normal |                |
| Cuda GPU               | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |

(c) Mô hình sử dụng điều chế 8-QAM tốc độ 25GBaud

| Simulation             | Signals                             | Spatial effects | Noise  | Signal tracing |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------|--------|----------------|
| Name                   | Value                               | Units           | Mode   |                |
| Simulation window      | Set bit rate                        |                 | Normal |                |
| Reference bit rate     | <input checked="" type="checkbox"/> |                 | Normal |                |
| Bit rate               | 150e+009                            | bit/s           | Normal |                |
| Time window            | 0.873813333333333e-006              | s               | Normal |                |
| Sample rate            | 600e+009                            | Hz              | Normal |                |
| Sequence length        | 131072                              | bits            | Normal |                |
| Samples per bit        | 4                                   |                 | Normal |                |
| Guard Bits             | 0                                   |                 | Normal |                |
| Symbol rate            | 50e+009                             | symbols/s       | Normal |                |
| Number of samples      | 524288                              |                 | Normal |                |
| Reference wavelength   | 1550                                | nm              | Normal |                |
| Export results to file | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |
| Results filename       | ...                                 |                 | Normal |                |
| Cuda GPU               | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |

(d) Mô hình sử dụng điều chế 8-QAM tốc độ 50GBaud

| Simulation             | Signals                             | Spatial effects | Noise  | Signal tracing |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------|--------|----------------|
| Name                   | Value                               | Units           | Mode   |                |
| Simulation window      | Set bit rate                        |                 | Normal |                |
| Reference bit rate     | <input checked="" type="checkbox"/> |                 | Normal |                |
| Bit rate               | 10e+009                             | bit/s           | Normal |                |
| Time window            | 2.62144e-006                        | s               | Normal |                |
| Sample rate            | 200e+009                            | Hz              | Normal |                |
| Sequence length        | 131072                              | bits            | Normal |                |
| Samples per bit        | 4                                   |                 | Normal |                |
| Guard Bits             | 0                                   |                 | Normal |                |
| Symbol rate            | 25e+009                             | symbols/s       | Normal |                |
| Number of samples      | 524288                              |                 | Normal |                |
| Reference wavelength   | 1550                                | nm              | Normal |                |
| Export results to file | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |
| Results filename       | ...                                 |                 | Normal |                |
| Cuda GPU               | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |

| Simulation             | Signals                             | Spatial effects | Noise  | Signal tracing |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------|--------|----------------|
| Name                   | Value                               | Units           | Mode   |                |
| Simulation window      | Set bit rate                        |                 | Normal |                |
| Reference bit rate     | <input checked="" type="checkbox"/> |                 | Normal |                |
| Bit rate               | 200e+009                            | bit/s           | Normal |                |
| Time window            | 0.6553599999999998e-006             | s               | Normal |                |
| Sample rate            | 800e+009                            | Hz              | Normal |                |
| Sequence length        | 131072                              | bits            | Normal |                |
| Samples per bit        | 4                                   |                 | Normal |                |
| Guard Bits             | 0                                   |                 | Normal |                |
| Symbol rate            | 50e+009                             | symbols/s       | Normal |                |
| Number of samples      | 524288                              |                 | Normal |                |
| Reference wavelength   | 1550                                | nm              | Normal |                |
| Export results to file | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |
| Results filename       | ...                                 |                 | Normal |                |
| Cuda GPU               | <input type="checkbox"/>            |                 | Normal |                |

(e) Mô hình sử dụng điều chế 16-QAM tốc độ 25GBaud

(f) Mô hình sử dụng điều chế 16-QAM tốc độ 50GBaud

**Hình 3.2: Các tham số toàn cục.**

### 3.2.2 Tham số hoạt động các thành phần trong hệ thống

#### 3.2.2.1 Các tham số hoạt động của bộ khuếch đại Booster-AMP

- Chức năng: Điều khiển công suất.
- Công suất phát: Từ -6 dBm đến 12 dBm.
- Tạp âm nhiễu: Không.

#### 3.2.2.2 Bộ khuếch đại đường truyền Line-AMP

- Chức năng: Khuếch đại tín hiệu.
- Độ lợi: 16dB.
- Tạp âm nhiễu: 6dB.

| Main                                | Polarization     | Simulation                          | Noise | Random nu... | Custom o... |
|-------------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------|--------------|-------------|
| Disp                                | Name             | Value                               | Units | Mode         |             |
| <input type="checkbox"/>            | Operation mode   | Gain Control                        |       | Normal       |             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Gain             | 16                                  | dB    | Normal       |             |
| <input type="checkbox"/>            | Power            | 10                                  | dBm   | Normal       |             |
| <input type="checkbox"/>            | Saturation power | 10                                  | dBm   | Normal       |             |
| <input type="checkbox"/>            | Saturation port  | Output                              |       | Normal       |             |
| <input type="checkbox"/>            | Include noise    | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal       |             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Noise figure     | 6                                   | dB    | Normal       |             |

**Hình 3.3: Tham số hoạt động bộ khuếch đại đường truyền Line-AMP.**

#### 3.2.2.3 Bộ khuếch đại tiền xử lý tín hiệu Pre-AMP

- Chức năng: Điều khiển công suất.

- Công suất phát: 12dBm
- Tạp âm nhiễu: Không.

| Main   Polarization   Simulation   Noise   Random nu...   Custom o... |                  |                          |       |        |
|---|------------------|--------------------------|-------|--------|
| Disp  | Name             | Value                    | Units | Mode   |
| <input type="checkbox"/>  | Operation mode   | Power control            |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Gain             | 20                       | dB    | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>                                   | Power            | 12                       | dBm   | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Saturation power | 10                       | dBm   | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Saturation port  | Output                   |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Include noise    | <input type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Noise figure     | 4                        | dB    | Normal |

Hình 3.4: Tham số hoạt động bộ khuếch đại tiền xử lý tín hiệu Pre-AMP.

#### 3.2.2.4 Các chặng cáp quang

- Chiều dài mỗi chặng: 80km.
- Suy hao trung bình: 0.2dB/km.
- Hệ số tán sắc 17ps/nm/km.
- Độ dốc tán sắc 0.075ps/nm<sup>2</sup>/km.

| Main   Dis...   PMD   No...   Nu...   Gr...   Sim...   N...   Ran...   Cus... |                           |                                     |       |        |
|---|---------------------------|-------------------------------------|-------|--------|
| Disp  | Name                      | Value                               | Units | Mode   |
| <input type="checkbox"/>  | User defined reference wa | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Reference wavelength      | 1550                                | nm    | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>   | Length                    | 80                                  | km    | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Attenuation effect        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Attenuation data type     | Constant                            |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Attenuation               | 0.2                                 | dB/km | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Attenuation vs. wavelengt | Attenuation.dat                     |       | Normal |

(a)

| Main   Dis...   PMD   No...   Nu...   Gr...   Sim...   N...   Ran...   Cus... |                           |                                     |                        |        |
|---|---------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------|
| Disp  | Name                      | Value                               | Units                  | Mode   |
| <input type="checkbox"/>  | Group velocity dispersion | <input checked="" type="checkbox"/> |                        | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Third-order dispersion    | <input checked="" type="checkbox"/> |                        | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Dispersion data type      | Constant                            |                        | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Frequency domain param    | <input type="checkbox"/>            |                        | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Dispersion                | 17                                  | ps/nm/km               | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Dispersion slope          | 0.075                               | ps/nm <sup>2</sup> /km | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Beta 2                    | -20                                 | ps <sup>2</sup> /km    | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Beta 3                    | 0                                   | ps <sup>3</sup> /km    | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Dispersion file format    | Dispersion vs. wavelength           |                        | Normal |
| <input type="checkbox"/>  | Dispersion file name      | Dispersion.dat                      |                        | Normal |

(b)

Hình 3.5 a,b: Tham số hoạt động các chặng cáp quang.

### 3.2.2.5 Máy phát tín hiệu điều chế 8-QAM, 16-QAM và QPSK

- Công suất phát: 10dBm.
- Tần số: Dùng theo bảng quy định tần số ITU với các tần số hoạt động trong dải từ 193.1 THz đến 194.6 THz.

| Main PRBS Coding Polariza... Simula... Random... Custom ... |                |                          |       |        |
|---|----------------|--------------------------|-------|--------|
| Disp  | Name           | Value                    | Units | Mode   |
| <input type="checkbox"/>                                    | External laser | <input type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>                         | Frequency      | 193.1                    | THz   | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Power          | 10                       | dBm   | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Linewidth      | 0.1                      | MHz   | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Initial phase  | 0                        | deg   | Normal |

Hình 3.6: Tham số hoạt động các máy phát tín hiệu điều chế QPSK, 8-QAM và 16-QAM

### 3.2.2.6 Máy thu tín hiệu điều chế Coherent QPSK, 8-QAM và 16-QAM

- Dùng photodiode PIN.

| Local ... Photod... Downs... Noise Simula... Rando... Custo... |                     |                          |       |        |
|--|---------------------|--------------------------|-------|--------|
| Disp   | Name                | Value                    | Units | Mode   |
| <input type="checkbox"/>                                       | External oscillator | <input type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>                            | Frequency           | 193.1                    | THz   | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>                            | Power               | 10                       | dBm   | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                       | Linewidth           | 0.1                      | MHz   | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                       | Initial phase       | 0                        | deg   | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                       | LO sample rate      | Sample rate              | 5 Hz  | Script |

(a)

| Local ... Photod... Downs... Noise Simula... Rando... Custo... |                           |                  |       |        |
|--|---------------------------|------------------|-------|--------|
| Disp   | Name                      | Value            | Units | Mode   |
| <input type="checkbox"/>                                       | Photodetector             | PIN              |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                       | Gain                      | 3                |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                       | Ionization ratio          | 0.9              |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                       | Responsivity              | 1                | A/W   | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                       | Dark current              | 10               | nA    | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                       | Responsivity type APD     | Constant         |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                       | Responsivity type PIN     | Constant         |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                       | Responsivity vs. waveleng | Responsivity.dat |       | Normal |

(b)

Hình 3.7 a, b: Máy thu tín hiệu điều chế Coherent QPSK, 8-QAM và 16-QAM.

### 3.2.2.7 Bộ điều chế tín hiệu số DSP

- Điều chế tín hiệu quang thành tín hiệu số ở phía thu

| Initi...  |                               |                                     |       |        |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|-------|--------|
| Filter Re... Dis... Tim... Ada... Fre... Car... Si... Cu... |                               |                                     |       |        |
| Disp  | Name                          | Value                               | Units | Mode   |
| <input checked="" type="checkbox"/>                         | Polarization Type             | Single                              |       | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>                         | Modulation Type               | QPSK                                |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Constellation type (if QAM)   | Square                              |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Star and circular level radii |                                     |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Use Default Values            | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable DC Blocking            | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Normalization          | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Low Pass Filter        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Resampling             | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable QI Compensation        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Dispersion Compe       | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Nonlinear Compens      | <input type="checkbox"/>            |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Timing Recovery        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Adaptive Equalizer     | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Frequency Offset E     | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Perform AE before FOE         | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Carrier Phase Esti     | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |

(a) Tham số bộ điều chế số DSP QPSK

| Initi...  |                               |                                     |       |        |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|-------|--------|
| Filter Re... Dis... Tim... Ada... Fre... Car... Si... Cu... |                               |                                     |       |        |
| Disp  | Name                          | Value                               | Units | Mode   |
| <input checked="" type="checkbox"/>                         | Polarization Type             | Single                              |       | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>                         | Modulation Type               | 8QAM                                |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Constellation type (if QAM)   | Square                              |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Star and circular level radii |                                     |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Use Default Values            | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable DC Blocking            | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Normalization          | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Low Pass Filter        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Resampling             | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable QI Compensation        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>                         | Enable Dispersion Compe       | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Nonlinear Compens      | <input type="checkbox"/>            |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Timing Recovery        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Adaptive Equalizer     | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Frequency Offset E     | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Perform AE before FOE         | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Carrier Phase Esti     | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |

(b) Tham số bộ điều chế số DSP 8-QAM

| Initi...  |                               |                                     |       |        |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|-------|--------|
| Filter Re... Dis... Tim... Ada... Fre... Car... Si... Cu... |                               |                                     |       |        |
| Disp  | Name                          | Value                               | Units | Mode   |
| <input checked="" type="checkbox"/>                         | Polarization Type             | Single                              |       | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>                         | Modulation Type               | 16QAM                               |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Constellation type (if QAM)   | Square                              |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Star and circular level radii |                                     |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Use Default Values            | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable DC Blocking            | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Normalization          | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Low Pass Filter        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Resampling             | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable QI Compensation        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>                         | Enable Dispersion Compe       | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Nonlinear Compens      | <input type="checkbox"/>            |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Timing Recovery        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Adaptive Equalizer     | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Frequency Offset E     | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Perform AE before FOE         | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>                                    | Enable Carrier Phase Esti     | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |

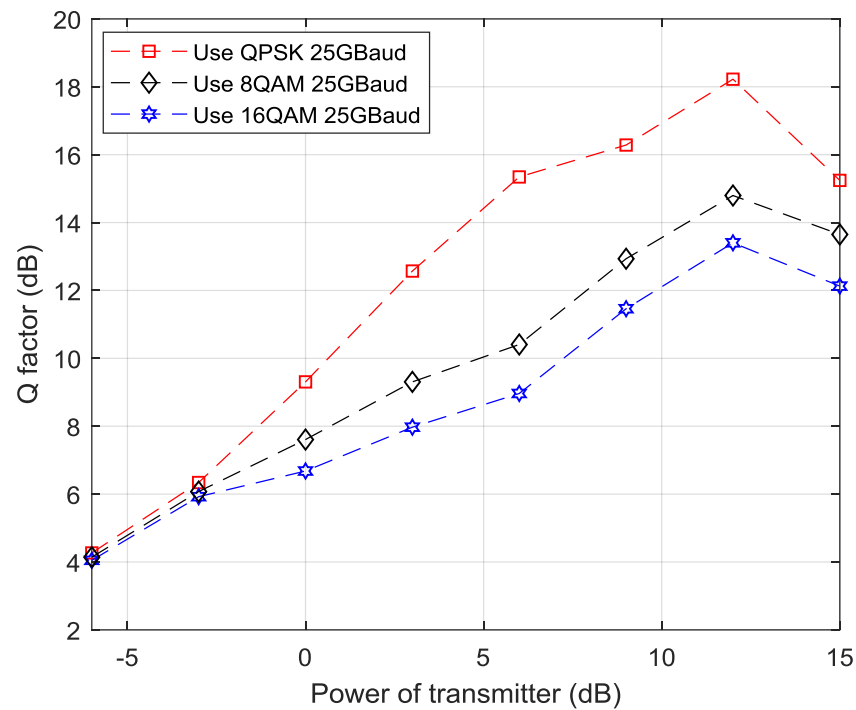
(c) Tham số bộ điều chế số DSP 16-QAM

Hình 3.8 a,b,c: Tham số hoạt động bộ điều chế tín hiệu số DSP.

### 3.3 Kết quả mô phỏng hoạt động bằng phần mềm Optisystem

#### 3.3.1 Mô phỏng hoạt động hệ thống DWDM đường trục 16 kênh tốc độ 25Gbaud.

3.3.1.1 So sánh hoạt động của hệ thống khi sử dụng tín hiệu điều chế QPSK và M-QAM (8-QAM, 16-QAM) với cự ly truyền dẫn 800km



**Hình 3.9: Biểu đồ so sánh chất lượng hệ thống sử dụng tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM tốc độ 25GBaud**

**Bảng 3.1: So sánh chất lượng hệ thống sử dụng điều chế QPSK, 8-QAM và 16-QAM tốc độ 25GBaud khi công suất thay đổi**

| PTx<br>(dBm) | QPSK     |          | 8-QAM    |           | 16-QAM     |           |
|--------------|----------|----------|----------|-----------|------------|-----------|
|              | BER      | Q        | BER      | Q         | BER        | Q         |
| -6           | 0.051105 | 4.266275 | 0.053598 | 4.1415194 | 0.042032   | 4.048773  |
| -3           | 0.018983 | 6.341258 | 0.02208  | 6.0750022 | 0.023977   | 5.923561  |
| 0            | 0.001752 | 9.306455 | 0.008179 | 7.6071554 | 0.01643773 | 6.680304  |
| 3            | 1.06e-05 | 12.57111 | 0.001752 | 9.306455  | 0.006146   | 7.971421  |
| 6            | 1.09e-10 | 15.344   | 0.00046  | 10.407476 | 0.00367119 | 8.9643263 |
| 9            | 5.91e-10 | 16.284   | 4.64e-06 | 12.93428  | 3.88e-05   | 11.461094 |

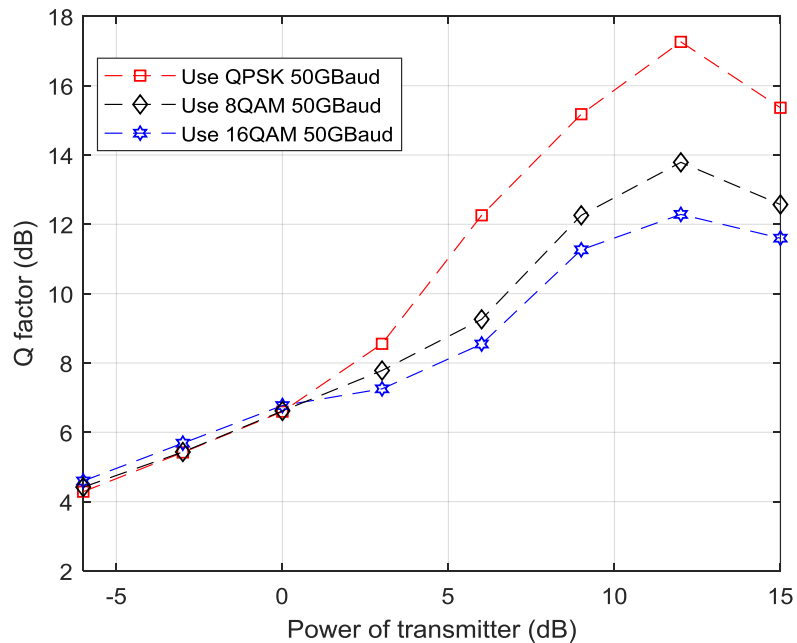


| PTx<br>(dBm) | QPSK     |          | 8-QAM    |           | 16-QAM     |           |
|--------------|----------|----------|----------|-----------|------------|-----------|
|              | BER      | Q        | BER      | Q         | BER        | Q         |
| 12           | 1.81e-16 | 18.22398 | 1.97e-08 | 14.796847 | 2.01e-05   | 13.403022 |
| 15           | 3.68e-09 | 15.24262 | 7.41e-07 | 13.649407 | 3.2279e-05 | 12.127624 |

Hình 3.9 cho thấy kết quả so sánh giữa tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM tại tốc độ 25 GBaud. Có thể nhận thấy rõ ràng khi sử dụng QPSK, 8-QAM và 16-QAM chúng ta đều có một giá trị công suất phát để cho giá trị Q đạt lớn nhất; được gọi là ngưỡng phi tuyến. Khi công suất phát lớn hơn giá trị ngưỡng thì Q không tăng hơn, thậm chí giảm đi. Đối với tốc độ 25GBaud khi sử dụng QPSK ngưỡng phi tuyến được đẩy lên cao hơn so với khi dùng 8-QAM và 16-QAM, cụ thể với tín hiệu QPSK ngưỡng phi tuyến cao hơn 16-QAM là 4,82dBm.

### 3.3.2 Mô phỏng hoạt động hệ thống DWDM đường trực 16 kênh tốc độ 50 Gbaud.

3.3.2.1 So sánh hoạt động của hệ thống khi sử dụng tín hiệu điều chế QPSK, 8-QAM và 16-QAM với cự ly truyền dẫn 800km



**Hình 3.10: Biểu đồ so sánh chất lượng hệ thống sử dụng tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM tốc độ 50GBaud**

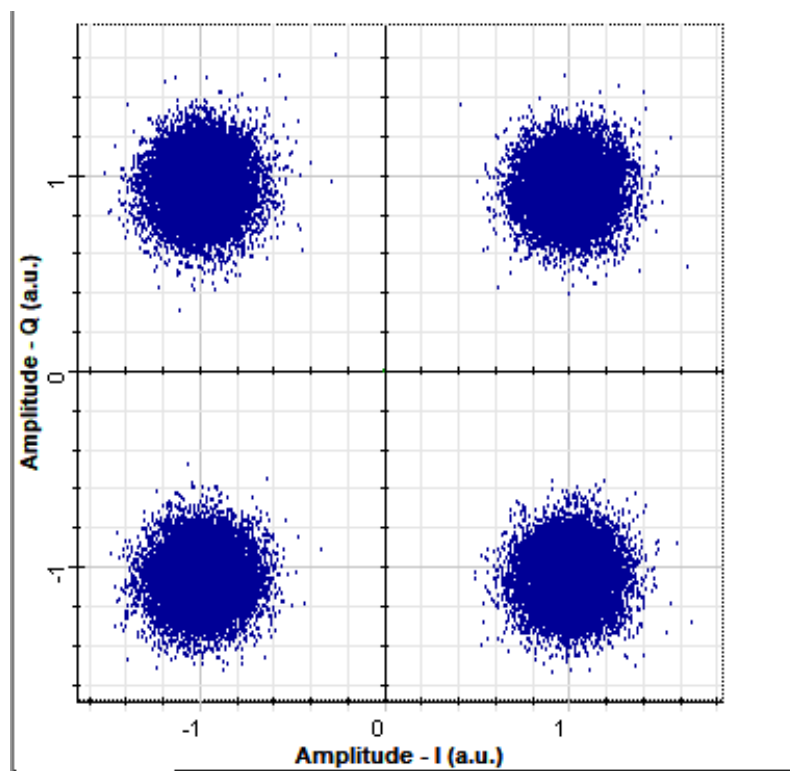
**Bảng 3.2: So sánh chất lượng hệ thống sử dụng điều chế QPSK, 8-QAM và 16-QAM  
tốc độ 50GBaud khi công suất thay đổi**

| <b>PTx<br/>(dBm)</b> | <b>QPSK</b> |          | <b>8-QAM</b> |           | <b>16-QAM</b> |           |
|----------------------|-------------|----------|--------------|-----------|---------------|-----------|
|                      | <b>BER</b>  | <b>Q</b> | <b>BER</b>   | <b>Q</b>  | <b>BER</b>    | <b>Q</b>  |
| -6                   | 0.096577    | 2.287579 | 0.048156     | 4.441799  | 0.044804      | 4.596019  |
| -3                   | 0.048156    | 4.417849 | 0.030814     | 5.352101  | 0.028272      | 5.686354  |
| 0                    | 0.016305    | 6.595445 | 0.016104     | 6.683216  | 0.014611      | 6.770987  |
| 3                    | 0.003712    | 8.553657 | 0.007152     | 7.9036727 | 0.0105813     | 7.2536885 |
| 6                    | 2.05e-05    | 12.26005 | 0.001843     | 9.403147  | 0.004805      | 8.546244  |
| 9                    | 4.78e-09    | 15.17578 | 2.05e-05     | 12.120365 | 3.89e-05      | 11.26495  |
| 12                   | 1.47e-13    | 17.26285 | 5.02e-07     | 13.77439  | 9.74e-06      | 12.28593  |
| 15                   | 2.27e-09    | 15.36276 | 1.06e-05     | 12.481495 | 1.59e-05      | 11.60023  |

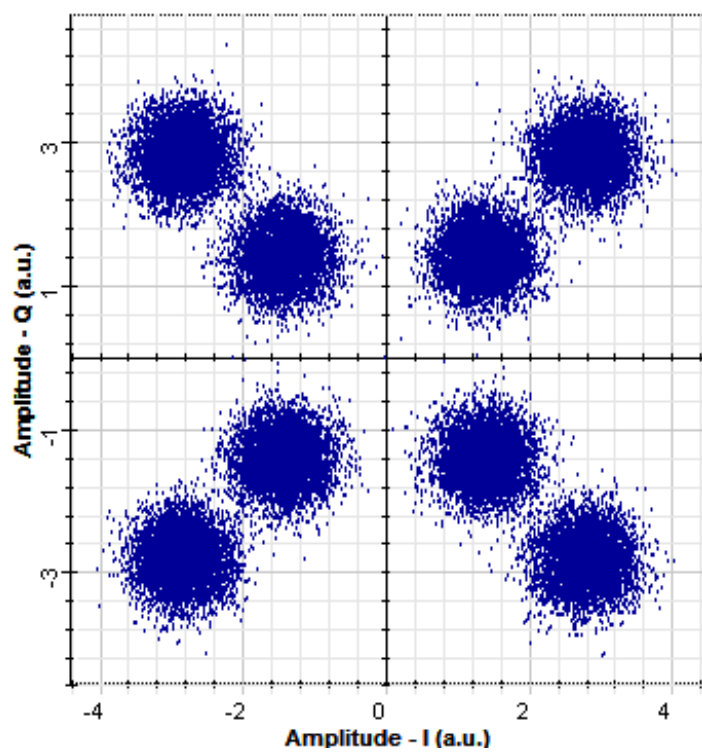
Hình 3.10 cho thấy kết quả so sánh giữa tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM tại tốc độ 50 GBaud. Khi sử dụng QPSK, 8-QAM và 16-QAM chúng ta thấy QPSK ngưỡng phi tuyến được đẩy lên cao hơn so với khi dùng 16-QAM là 4,97dBm. Với tốc độ 50GBaud thì giá trị ngưỡng phi tuyến này thấp hơn so với khi hệ thống ở tốc độ 25GBaud. Khi tốc độ truyền tăng, chênh lệch Q giảm. Điều này xảy ra do sự tích lũy phi tuyến gây ra bởi đường truyền và bộ khuếch đại (mức tăng phạm vi truyền càng lớn) không được bù đầy đủ ở phía máy thu, dẫn đến giảm tỷ lệ tín hiệu/tạp âm quang (OSNR).

Hình 3.11, 3.12, 3.13 biểu diễn giản đồ mắt thu được của định dạng điều chế lần lượt là QPSK, 8-QAM và 16-QAM tại công suất 12dBm.

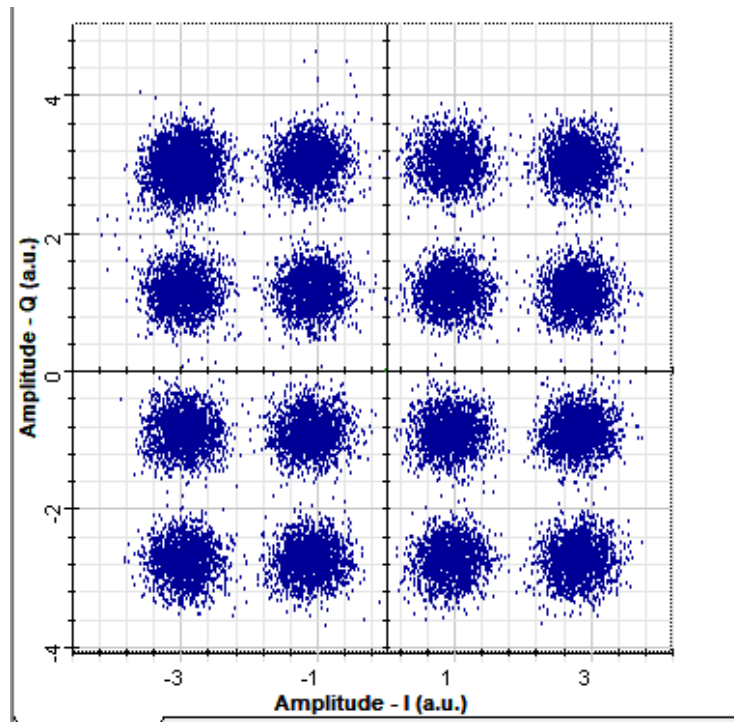
Với kết quả giản đồ mắt thu được, nhận thấy rằng: Tại công suất phát 12dBm của Booster AMP tín hiệu thu được của điều chế 16-QAM và QPSK có tỉ lệ lỗi bit rất tốt, các chòm sao tín hiệu ở phía thu được thể hiện rất rõ ràng.



Hình 3.11: Biểu đồ mắt tín hiệu điều chế QPSK tại  $P=12\text{dBm}$

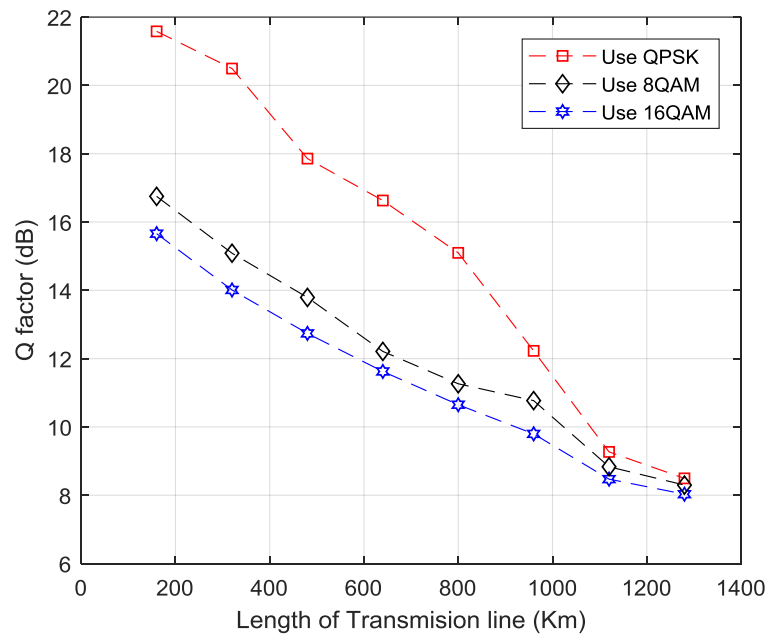


Hình 3.12: Biểu đồ mắt tín hiệu điều chế 8-QAM tại  $P=12\text{dBm}$



**Hình 3.13: Biểu đồ mắt tín hiệu điều chế 16-QAM tại P=12dBm**

3.3.2.2 So sánh hoạt động của hệ thống khi sử dụng tín hiệu điều chế QPSK và 16-QAM với cự ly truyền dẫn thay đổi



**Hình 3.14: Biểu đồ so sánh chất lượng hệ thống sử dụng tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM tốc độ 50GBaud**

**Bảng 3.3: So sánh chất lượng hệ thống sử dụng điều chế QPSK, 8-QAM và 16-QAM khi khoảng cách tuyến thay đổi**

| <b>L<br/>(Km)</b> | <b>QPSK</b> |             | <b>8-QAM</b> |           | <b>16-QAM</b> |             |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|-----------|---------------|-------------|
|                   | <b>BER</b>  | <b>Q</b>    | <b>BER</b>   | <b>Q</b>  | <b>BER</b>    | <b>Q</b>    |
| 160               | 6.81e-31    | 21.58233979 | 3.01e-12     | 16.751017 | 1.36002e-09   | 15.65899825 |
| 320               | 9.12e-23    | 20.493909   | 6.75e-09     | 15.086519 | 6.78e-07      | 14.01798    |
| 480               | 3.87e-13    | 17.85715779 | 4.97e-07     | 13.791379 | 1.20296e-05   | 12.73782115 |
| 640               | 5.6e-08     | 16.62930006 | 2.26e-05     | 12.211261 | 1.47e-04      | 11.62367107 |
| 800               | 6.5e-05     | 15.09739533 | 0.000127     | 11.263355 | 0.001681559   | 10.64985555 |
| 960               | 0.001096    | 12.22793632 | 0.000275     | 10.770294 | 0.003228142   | 9.79600049  |
| 1120              | 0.001628    | 9.26840069  | 2.85e-03     | 8.8331514 | 0.010518658   | 8.47049926  |
| 1280              | 0.013156    | 8.49319904  | 0.00057      | 8.297339  | 0.019500872   | 8.029936224 |

Hình 3.14 cho thấy kết quả so sánh giữa tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM tại tốc độ 50 GBaud khi chiều dài tuyến thay đổi.

Nếu lấy  $Q=9$  cho hệ thống hoạt động thì đối với tín hiệu QPSK, khoảng cách của tuyến có thể lên tới 1200km còn tín hiệu 16-QAM khoảng cách tuyến đạt được là 1050km. Ta nhận thấy chất lượng hệ thống giảm khi khoảng cách truyền tăng và đặc biệt giảm nhanh khi mức điều chế tăng. Lý do là do sự tích lũy phi tuyến trên đường truyền làm giảm OSNR mà hệ thống không thể bù hoàn toàn.

### 3.4 Kết luận chương

Kết thúc chương 3, tôi đã khảo sát được hoạt động của hệ thống sử dụng công nghệ DWDM sử dụng tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM trên đường truyền tại các tốc độ 25Gbaud và tốc độ 50Gbaud qua phần mềm OptiSystem phiên bản 16.1.0 trên hệ điều hành Win 10.

Trong chương 3, tôi đã thực hiện khảo sát hoạt động của hệ thống sử dụng tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM trên đường truyền có công suất phát khác nhau và nhận thấy rõ ràng khi sử dụng QPSK, 8-QAM và 16-QAM chúng ta đều có một giá trị công suất phát để cho giá trị  $Q$  đạt lớn nhất; được gọi là ngưỡng phi tuyến.

Khi công suất phát lớn hơn giá trị ngưỡng thì  $Q$  không tăng hơn, thậm chí giảm đi. Giá trị ngưỡng này giảm khi tốc độ của hệ thống tăng lên.

Tôi cũng đã thực hiện khảo sát hoạt động của hệ thống sử dụng tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM trên các đường truyền có độ dài khác nhau và nhận thấy chất lượng hệ thống giảm khi khoảng cách truyền tăng và đặc biệt giảm nhanh khi mức điều chế tăng. Tuy nhiên, tôi chỉ thực hiện mô phỏng cho trường hợp tại công suất phát 12dBm với tốc độ truyền 50GBaud cho tín hiệu QPSK, 8-QAM và 16-QAM.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Truyền dẫn dung lượng cao theo hướng sử dụng công nghệ DWDM đang có một sức hút mạnh đối với các nhà cung cấp dịch vụ viễn thông hàng đầu thế giới cũng như tại Việt Nam. Đã có hàng loạt tuyến truyền dẫn đang vận hành và khai thác theo công nghệ này, bởi vì chi phí đầu tư và tính ổn định của nó có nhiều điểm hơn hẳn so với ghép kênh truyền thống TDM, nhất là khi mà nhu cầu về dung lượng ngày càng cao như hiện nay.

Khi nâng cấp một hệ thống thông tin quang theo công nghệ DWDM, có rất nhiều vấn đề cần phải xem xét, như nhu cầu về dung lượng, cấu hình hợp lý và cấu hình tối ưu .... Vấn đề về mật độ ghép bước sóng, ITU-T đã ban hành chuẩn về tần số và khoảng cách ghép giữa các kênh, với các công nghệ tách/ghép bước sóng hiện nay, thì khoảng cách ghép giữa các bước sóng trong hệ thống DWDM đã giảm xuống chỉ còn 25 GHz, thậm chí 12.5 GHz. Hiện nay, đã có những trung tâm nghiên cứu của một số nước phát triển đã thử nghiệm truyền dẫn với khoảng cách kênh còn chỉ khoảng 10, hoặc 1GHz.

Công nghệ khuếch đại quang sợi ra đời, đã mở ra một chặng mới cho thông tin quang nói chung và cho thông tin WDM nói riêng, giải quyết được vấn đề về suy hao, quỹ công suất mà không cần các bộ lặp 3R công kênh, chi phí lớn và chỉ đáp ứng được tốc độ thông tin thấp. Thêm vào đó, các module bù tán sắc DCM được “nhúng” vào các thiết bị WDM, đã làm cho hệ thống WDM càng có thêm nhiều hứa hẹn. Khi đó mỗi kênh bước sóng có thể đạt đến tốc độ 10 Gbit/s hoặc hơn nữa, nhờ vậy có thể đạt được tốc độ Tbit/s trên một sợi đơn mode SSMF thông thường.

Như vậy trong luận văn đã đề cập đến những vấn đề cơ bản về DWDM - mạng DWDM, hệ thống DWDM và các phần tử trong hệ thống DWDM. Trong đó đặc biệt đề cập tới các bộ thu phát quang, bộ tách ghép bước sóng, và bộ khuếch đại; cũng như vị trí sử dụng của các phần tử này trong hệ thống DWDM.

Với thời gian nghiên cứu và tìm hiểu thực tế mạng lưới, cũng như tìm hiểu công nghệ mới WDM còn hạn chế, những gì được đề cập trong bản luận văn này

thực sự chưa nhiều, tuy nhiên có thể ứng dụng trong nghiên cứu tìm hiểu công nghệ DWDM cũng như ứng dụng trong thực tế mạng viễn thông.

Hướng phát triển của đề tài: Trong luận văn mới đề cập những vấn đề cơ bản về DWDM, trong thời gian tiếp theo có thể phát triển luận văn theo hướng nghiên cứu sâu hơn nữa về các vấn đề trong luận văn: Các phần tử DWDM, hay thiết kế mạng DWDM cho các hệ thống lớn hơn, như mạng đường trục Bắc – Nam và hoạt động của hệ thống ở tốc độ cao 100 Gbaud, 200GBaud với các mức điều chế bậc cao.



## DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Đức Nhân và cộng sự – *Cơ sở kỹ thuật thông tin quang*, Học viện công nghệ Bưu chính Viễn thông, 2013.
- [2] Vũ Văn San – *Hệ thống Thông tin Quang*, tập 2. Nhà xuất bản Bưu điện-2008.
- [3] Amit Patni et al. (2016) – *Simulation of gain flattened 32 channels EDFA-DWDM optical system*. IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE).
- [4] G. Li, "Recent advances in coherent optical," CREOL, College of Optics & Photonics, University of Central Florida, 4000 Central Florida Boulevard, Orlando, Florida 32816- 2700, USA, 2009.
- [5] Gao Yan et al. (2009) – *The Simulation of the Dense Wavelength Division Multiplexing System Based on Hybrid Amplifier*. IEEE International Symposium on Electronic Commerce and Security (ISECD).
- [6] Kartalopoulos (2002) - *DWDM: Networks, Devices, and Technology*, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [7] Peter Tomsu and Christian Schmutzer (2002) – *Next Generation Optical Networks*. Prentice Hall PTR.
- [8] Proakis J.G, "Digital Communication (4th edition)", McGraw Hill, New York 1995.
- [9] Rajiv Ramaswami, Kumar N.Sivarajan (2006) - *Optical Networks, A Practical Perspective*, Morgan Kaufmann Publishers.
- [10] Vivek Kachhatiya et al. (2016) – *Wavelength division multiplexing-dense wavelength division multiplexed passive optical network (WDM-DWDM-PON) for long reach terrain connectivity*. IEEE International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP).

- [11] Wolfgang Freude, René Schmogrow, Bernd Nebendahl, Marcus Winter, Arne Josten, David Hillerkuss, Swen Koenig, Joachim Meyer, Michael Dreschmann, Michael Huebner, Christian Koos, Juergen Becker, Juerg Leuthold, "Quality Metrics for Optical Signals: Eye Diagram, Q -factor, OSNR, EVM and BER".
- [12] <https://optiwave.com/>