

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**



ISO 9001:2008

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH: ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG

Người hướng dẫn : Thạc sỹ Đoàn Hữu Chức
Sinh viên : Trần Thị Kim Chi

HẢI PHÒNG - 2010

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**

THIẾT KẾ MẠNG DWDM VÀ CÁC GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC CHÍNH QUY
NGÀNH : ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG**

**Người hướng dẫn : Thạc sỹ Đoàn Hữu Chức
Sinh viên : Trần Thị Kim Chi**

Hải Phòng - 2010

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Sinh viên : Trần Thị Kim Chi . Mã số : 101334.

Lớp : ĐT1001. Ngành: Điện tử viễn thông.

Tên đề tài : Thiết kế mạng DWDM và các giải pháp công nghệ.

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Người hướng dẫn thứ nhất:

Họ và tên : Đoàn Hữu Chúc

Học hàm, học vị: Thạc sỹ.

Cơ quan công tác : Trường Đại học Dân lập Hải Phòng.

Nội dung hướng dẫn

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Người hướng dẫn thứ hai:

Họ và tên

.....

Học hàm, học vị

.....

Cơ quan công tác

.....

Nội dung hướng dẫn

.....
.....
.....
.....
.....

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Cho điểm của cán bộ hướng dẫn (ghi cả số và chữ) :

.....
.....
.....

Hải Phòng, ngày tháng năm 2010.

Cán bộ hướng dẫn

PHẦN NHẬN XÉT TÓM TẮT CỦA NGƯỜI CHĂM PHẢN BIỆN

1. Đánh giá chất lượng đề tài tốt nghiệp về các mặt thu thập và phân tích số liệu ban đầu, cơ sở lý luận chọn phương án tối ưu, cách tính toán chất lượng thuyết minh và bản vẽ, giá trị lý luận và thực tiễn đề tài.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

.....
.....
.....

2. Cho điểm của cán bộ phản biện. (Điểm ghi cả số và chữ).

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Hải Phòng, ngày tháng năm 2010.

Người chấm phản biện

MỤC LỤC

BẢNG ĐỐI CHIẾU THUẬT NGỮ ANH - VIỆT	5
LỜI MỞ ĐẦU	8
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ DWDM VÀ CƠ SỞ KỸ THUẬT GHEP KÊNH THEO BƯỚC SÓNG	10
1.1. Kỹ thuật ghép bước sóng quang.....	10
1.2. Nguyên lý cơ bản của ghép bước sóng quang	11
1.3. Các tham số chính trong DWDM	17
1.3.1. Suy hao của sợi quang.....	17
1.3.2. Số kênh bước sóng	18
1.3.3. Độ rộng phổ của nguồn phát	19
1.3.4. Quỹ công suất.....	20
1.3.5. Tán sắc	21
1.3.6. Vấn đề ảnh hưởng của các hiệu ứng phi tuyến	24
1.3.7. Dải bước sóng làm việc của DWDM.....	32
1.4. Các ưu điểm của hệ thống DWDM.....	33
CHƯƠNG 2. CÁC THÀNH PHẦN CƠ BẢN CỦA MẠNG DWDM.....	34
2.1. Cấu trúc truyền dẫn cơ bản của mạng DWDM.....	34
2.2. Khối phát đáp quang OTU	34
2.3. Bộ giải ghép kênh quang.....	36
2.3.1. Phương pháp ghép kênh sử dụng bộ lọc màng mỏng	37
2.3.2. Một số thiết bị tách kênh dùng bộ lọc điện môi màng mỏng	38
2.3.3. Phương pháp ghép kênh sử dụng cách tử nhiễu xạ.....	40
2.3.4. Các bộ tách ghép bước sóng sử dụng cách tử.....	41
2.3.5. Phương pháp ghép sợi.....	42
2.4. Bộ khuếch đại quang sử dụng công nghệ EDFA.....	44
2.4.1. Tổng quan về công nghệ EDFA.....	44

2.4.2. Nguyên lý hoạt động của EDFA	45
2.4.3. Phân loại EDFA	46
2.5. Bộ xen/rẽ kênh quang OADM	49
2.6. Bộ kết nối chéo quang OXC	52
2.7. Khối bù tán sắc.....	54
2.8. Các loại sợi quang sử dụng trong công nghệ DWDM.....	55
2.8.1. Sợi quang G.652.....	55
2.8.2. Sợi quang G.653.....	56
2.8.4. Sợi quang G.654.....	56
2.8.4. Sợi quang G.655.....	56
CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ TUYẾN THÔNG TIN QUANG DWDM.....	57
3.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến việc thiết kế hệ thống.....	57
3.2. Thiết kế tuyến điểm - điểm	59
3.3. Mạng quảng bá và phân bố	61
3.4. Mạng cục bộ LAN.....	63
3.5. Thiết kế mạng điểm - điểm dựa trên hệ số Q và OSNR	64
3.5.1. Cách tính hệ số Q từ OSNR.....	65
3.5.2. Cách tính OSNR cho mạng điểm - điểm	65
3.5.3. Tính toán OSNR bằng khuếch đại Raman.....	67
3.6. Quỹ thời gian lên.....	67
3.7. Yêu cầu về quỹ công suất	68
3.8. Ảnh hưởng của tán sắc sợi đến việc thiết kế tuyến thông tin quang tốc độ cao thông qua phương pháp xác định tổn hao công suất	70
3.9. Phân loại các mạng quang.....	73
3.9.1. Thiết kế mạng truy nhập	74
3.9.2. Thiết kế mạng đô thị	76
3.9.3. Thiết kế mạng Long Haul.....	79

3.10. Bảo vệ mạng DWDM	80
3.10.1. Bảo vệ kiểu 1+1 trên lớp SDH	80
3.10.2. Bảo vệ đoạn ghép kênh quang (OMSP)	82
3.11. Ứng dụng trong mạng ring	83
CHƯƠNG 4. ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG PHỤC HỒI MẠNG IP/DWDM	85
4.1. IP/DWDM	85
4.1.1. Lớp quang	86
4.1.2. Chuyển mạch đa giao thức theo nhãn MPLS	86
4.1.3. Chuyển mạch đa giao thức theo bước sóng MPLS	86
4.2. Khả năng hồi phục của mạng IP/DWDM	87
4.2.1. Khái niệm khả năng phục hồi của mạng	87
4.2.2. Một số cách đặt vấn đề tiếp cận nghiên cứu vấn đề năng lực hồi phục mạng	88
CHƯƠNG 5. TÌM HIỂU THIẾT BỊ OPTIX METRO DWDM 6100 CỦA HUAWEI	91
5.1. Giới thiệu chung về thiết bị	91
5.1.1. Vị trí trong mạng truyền dẫn	92
5.1.2. Công nghệ	93
5.1.3. Dung lượng truyền dẫn	93
5.1.4. Khoảng cách truyền dẫn	93
5.1.5. Topo mạng	93
5.2. Một số tính năng của thiết bị	93
5.2.1. Khả năng truy nhập các dịch vụ	93
5.2.2. Các tính năng về kỹ thuật	94
5.3. Cấu trúc phần cứng của thiết bị	95
5.3.1. Tủ (Cabinet)	95
5.3.2. Subrack	96

5.4. Chức năng các card	98
5.4.1. Chức năng và sơ đồ khối của card OUT.....	98
5.4.2. Chức năng và sơ đồ khối của card MUX/DEMUX.....	100
5.4.3. Chức năng và sơ đồ khối của card khuếch đại OA.....	103
5.4.4. Card giám sát OSC.....	104
5.4.5. Card điều khiển kết nối SCC	105
5.4.6. Các card phụ trợ (Card Auxiliary)	106
5.5. Các kiểu nút mạng trong hệ thống DWDM	108
5.5.1. Nút mạng ghép kênh quang đầu cuối OTM.....	109
5.5.2. Nút mạng xen/rẽ quang OADM.....	111
5.5.3. Nút mạng khuếch đại đường dây OLA	112
5.6. Bảo vệ mạng.....	113
5.6.1. Bảo vệ kênh quang	113
5.6.2. Bảo vệ đường quang	115
KẾT LUẬN	116
TÀI LIỆU THAM KHẢO	117
PHỤ LỤC	118
1. Bảng tra vị trí của từng board	118
2. Bảng tần số và bước sóng trung tâm hệ thống Optix Metro6100.....	122

BẢNG ĐỐI CHIẾU THUẬT NGỮ ANH VIỆT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
ADM	Add/Drop Multiplexer	Bộ ghép kênh xen/rẽ
APD	Avalanche Photo Diode	Diode quang thác
APS	Automatic Protection Switching	Chuyển mạch bảo vệ tự động
ASE	Amplifier Spontaneous Emission	Nhiều tự phát được khuếch đại
BER	Bit Error Ratio	Tỷ số lỗi bit
DCF	Dispersion Compensated Fiber	Sợi bù tán sắc
DCM	Dispersion Compensator Module	Module bù tán sắc
DEMUX	Demultiplexer	Thiết bị tách kênh
DSF	Dispersion Division Multiplexer	Sợi dịch chuyển tán sắc
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
LED	Light Emitting Diode	Diode phát quang

LD	Laser diode	Diode laser
MUX	Multiplexer	Thiết bị ghép kênh
NE	Network Element	Phần tử mạng
OADM	Optical Add/Drop Mutplexer	Bộ xen/rẽ bước sóng quang
OBA	Optical Booster Amplifier	Bộ khuếch đại công suất
OLT	Optical Line Terminator	Bộ kết cuối đường quang
OLA	Optical Line Amplifier	Bộ khuếch đại đường dây
OPA	Optical Pre-Amplifier	Bộ tiền khuếch đại
OTN	Optical Transport Network	Mạng truyền tải quang
OTU	Optical Transponder Unit	Khối thu phát quang
OSC	Optical Supervisor Channel	Kênh giám sát quang
OSNR	Optical Signal to Noise Ratio	Tỷ số tín hiệu trên tạp âm quang
OXC	Optical Cross Connect	Khối kết nối chéo quang
PMD	Polarization Mode Dispersion	Tán sắc mode phân cực
TFFs	Thin Film Filters	Bộ lọc màng mỏng

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
SSMF	Standard Single Mode Fiber	Sợi đơn mode chuẩn
XPM	Cross Phase Modulation	Điều chế pha chéo
WDM	Wavelength Division Multiplexer	Ghép kênh theo bước sóng

LỜI MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, chúng ta đã chứng kiến sự phát triển chưa từng có về nhu cầu sử dụng băng thông truyền dẫn, chính điều này đã sản sinh ra một lượng thông tin rất lớn truyền tải trên mạng tạo ra nhiều áp lực mới cho mạng hiện tại. Băng tần truyền dẫn trở thành tài nguyên quý giá hơn bao giờ hết.

Để đáp ứng yêu cầu trên, cho đến nay sợi quang vẫn được xem là môi trường lý tưởng cho việc truyền tải lưu lượng cực lớn. Đối với hệ thống dung lượng thấp, công nghệ TDM thường được sử dụng để tăng dung lượng truyền dẫn của một kênh cáp đơn lên 10Gbps, thậm chí là 40Gbps. Tuy nhiên, việc tăng tốc cao hơn nữa là không dễ dàng vì các hệ thống tốc độ cao đòi hỏi công nghệ điện tử phức tạp và đắt tiền. Khi tốc độ đạt tới hàng trăm Gbps, bản thân các mạch điện tử sẽ không thể đáp ứng được xung tín hiệu cực kỳ hẹp, thêm vào đó chi phí cho các giải pháp trở nên tốn kém và cơ cấu hoạt động quá phức tạp đòi hỏi công nghệ rất cao.

Để nâng cao tốc độ truyền dẫn, khắc phục được những hạn chế mà các mạch điện hiện tại chưa khắc phục được, công nghệ ghép kênh quang phân chia theo bước sóng mật độ cao DWDM ra đời. DWDM có thể ghép một số lượng lớn bước sóng trong vùng bước sóng 1550nm để nâng dung lượng hệ thống lên hàng trăm Gbps. Vì thế, DWDM ngày càng được ứng dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới cũng như ở Việt Nam.

Với ưu thế về công nghệ đặc biệt, ghép kênh theo bước sóng mật độ cao DWDM đã trở thành một phương tiện tối ưu về kỹ thuật và kinh tế để mở rộng dung lượng sợi quang một cách nhanh chóng và quản lý hiệu quả hệ thống. DWDM đã đáp ứng được hoàn toàn yêu cầu phát triển các dịch vụ băng rộng trên mạng và là tiền đề để xây dựng và phát triển mạng toàn quang trong tương lai.

Khi thiết kế một hệ thống DWDM, người thiết kế phải đối mặt với một số vấn đề như: bao nhiêu bước sóng được ghép trên một sợi và ở những tốc độ nào? Các bước sóng sẽ được giám sát và quản lý như thế nào? Có bao nhiêu loại lưu lượng khác nhau mà khách hàng yêu cầu? Các thuật toán và giao thức hiệu quả nhất là gì? Độ dài của một chặng mà không cần trạm lặp là bao xa? Bộ khuếch đại nào được sử dụng để thỏa mãn yêu cầu về hệ số khuếch đại và tạp âm? Và để có thể trả lời được những câu hỏi trên đòi hỏi người thiết kế phải nắm vững được nguyên lý, cấu trúc cũng như thường xuyên cập nhật những kỹ thuật mới để có thể đưa ra được những giải pháp tốt nhất cho hệ thống đang xây dựng. Chính vì lý do đó nên em đã tiến hành tìm hiểu đề tài: “**Thiết kế mạng DWDM và các giải pháp công nghệ**”.

Em xin được bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc tới thầy Th.S Đoàn Hữu Chức đã tận tình giúp đỡ, hướng dẫn nghiên cứu để em có thể hoàn thành đồ án này.

Do có hạn chế về mặt thời gian và kiến thức, đồ án tốt nghiệp của em còn nhiều thiếu sót, kính mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các thầy giáo trong bộ môn và các bạn đề tài của em được hoàn thiện hơn.

Em xin trân trọng cảm ơn!

Hải Phòng, ngày 10 tháng 7 năm 2010
Sinh viên

Trần Thị Kim Chi

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ DWDM VÀ CƠ SỞ KỸ THUẬT GHÉP KÊNH THEO BƯỚC SÓNG

Để thấy được vai trò quan trọng của công nghệ này đối với việc phát triển hệ thống mạng, trong chương này chúng ta sẽ xem xét những nét chung nhất về công nghệ DWDM so với các công nghệ truyền dẫn khác.

Để giải quyết vấn đề băng thông và phát triển hệ thống đa dịch vụ trên cùng một mạng, công nghệ DWDM đã thực hiện ghép nhiều bước sóng trên cùng một sợi quang. Với việc tăng số bước sóng ghép trên một sợi quang một cách đáng kể so với công nghệ WDM trước đây, điểm nổi bật của DWDM chính là khả năng cho phép truyền trên sợi quang một lưu lượng khổng lồ lên tới hàng Terabits/s. Tuy nhiên, để đạt được điều này một cách có hiệu quả thì hệ thống DWDM có những yêu cầu rất đặc biệt đối với các chức năng quang như: độ linh hoạt cao, kết cấu đấu chéo nhanh, các bộ lọc và nguồn laser phải có khả năng điều hướng, các bộ thu phải có tạp âm thấp và độ nhạy cao.

Các hệ thống DWDM hiện nay làm việc trên các kênh bước sóng theo khuyến nghị của ITU-T dành cho DWDM. Nhiều bước sóng ghép trên một sợi quang đã mang lại sự linh hoạt và mềm dẻo cho cả các dịch vụ và băng thông. Mỗi kênh bước sóng có thể truyền tải một loại lưu lượng khác nhau như SONET/SDH trên một kênh, ATM trên một kênh khác, tín hiệu thoại TDM hay Internet trên một kênh khác nữa.

1.1. KỸ THUẬT GHÉP BƯỚC SÓNG QUANG

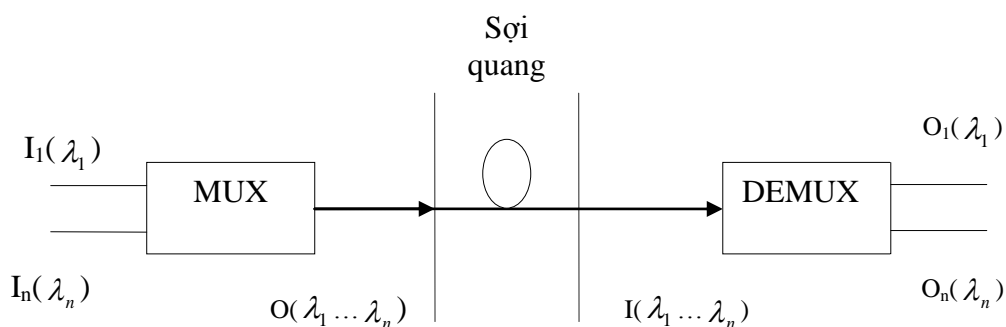
Trong hệ thống đơn kênh, khi tốc độ đường truyền đạt đến mức độ nào đó, người ta thấy các hạn chế của các mạch điện tử trong việc nâng cao tốc độ cũng như kéo dài cự ly truyền dẫn. Thêm vào đó, chi phí cho các giải pháp trên tuyến truyền dẫn rất tốn kém vì cấu trúc hệ thống khá phức tạp. Do đó, kỹ thuật ghép kênh quang ra đời nhằm khắc phục được những hạn chế trên.

Các phần tử quang trong hệ thống thiết bị sẽ đóng vai trò chủ đạo trong việc thay thế hoạt động của các phần tử điện ở các vị trí xung yếu đòi hỏi kỹ thuật xử lý tín hiệu nhanh.

Về lý thuyết, ta có thể làm tăng đáng kể dung lượng truyền dẫn của hệ thống bằng cách truyền đồng thời nhiều tín hiệu quang trên cùng một sợi nếu các nguồn phát có phổ cách nhau một cách hợp lý và đầu thu có thể thu được các tín hiệu quang riêng biệt nếu phần thu có bộ tách bước sóng. Đây chính là cơ sở kỹ thuật ghép bước sóng.

1.2. NGUYÊN LÝ CƠ BẢN CỦA GHÉP BƯỚC SÓNG QUANG

Nguyên lý cơ bản của ghép bước sóng quang có thể minh họa như hình 1.1. Giả sử có các nguồn phát quang làm việc ở các bước sóng $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. Các tín hiệu quang làm việc ở các bước sóng khác nhau này sẽ được ghép vào cùng một sợi dẫn quang. Các tín hiệu có bước sóng khác nhau được ghép lại ở phía phát nhờ bộ ghép kênh, bộ ghép bước sóng phải đảm bảo có suy hao nhỏ và tín hiệu sau khi ghép sẽ được truyền dọc theo sợi để đến phía thu. Các bộ tách sóng quang khác nhau ở phía đầu thu sẽ nhận lại các luồng tín hiệu với các bước sóng riêng rẽ này sau khi chúng qua bộ giải ghép bước sóng.



Hình 1.1: Mô tả tuyến thông tin quang có ghép bước sóng

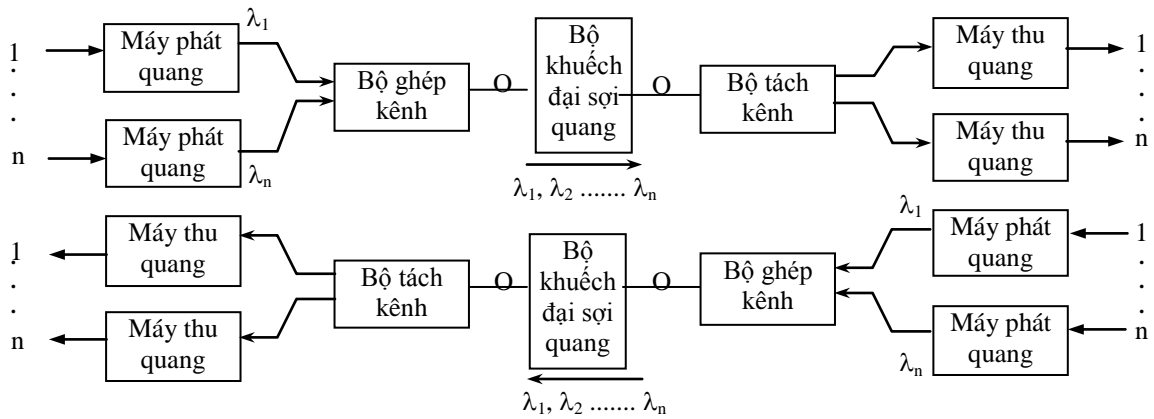
Đặc điểm nổi bật của hệ thống ghép kênh theo bước sóng là tận dụng hữu hiệu nguồn tài nguyên băng thông rộng trong khu vực tổn hao thấp của sợi quang đơn mode, nâng cao rõ rệt dung lượng truyền dẫn của hệ thống, đồng thời hạ giá thành của kênh dịch vụ xuống mức thấp nhất.

Hệ thống WDM dựa trên cơ sở tiềm năng băng tần của sợi quang để truyền đi nhiều bước sóng ánh sáng khác nhau, điều thiết yếu lúc này là việc truyền đồng thời nhiều bước sóng cùng một lúc không gây nhiễu lẫn nhau. Mỗi bước sóng đại diện cho một kênh quang trong sợi quang. Công nghệ WDM phát triển theo xu hướng mà sự riêng rẽ bước sóng của kênh có thể là một phần rất nhỏ của 1nm hay 10^{-9} m, điều này dẫn đến các hệ thống ghép kênh theo bước sóng mật độ cao DWDM. Các thành phần thiết bị trước kia chỉ có khả năng xử lý từ 4 - 16 kênh, mỗi kênh hỗ trợ luồng dữ liệu đồng bộ tốc độ 2.5Gbps cho tín hiệu mạng quang phân cấp số đồng bộ (SDH/SONET). Các nhà cung cấp WDM đã sớm phát triển các thiết bị nhằm cho việc truyền nhiều hơn các kênh quang. Các hệ thống với hàng trăm kênh giờ đây đã sẵn sàng được đưa vào sử dụng, cung cấp một tốc độ dữ liệu kết hợp hàng trăm Gbps và tiến tới đạt tốc độ Tbps truyền trên một sợi đơn.

Có hai phương án thiết lập hệ thống truyền dẫn sử dụng ghép bước sóng quang WDM.

❖ Truyền dẫn một chiều trên hai sợi.

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

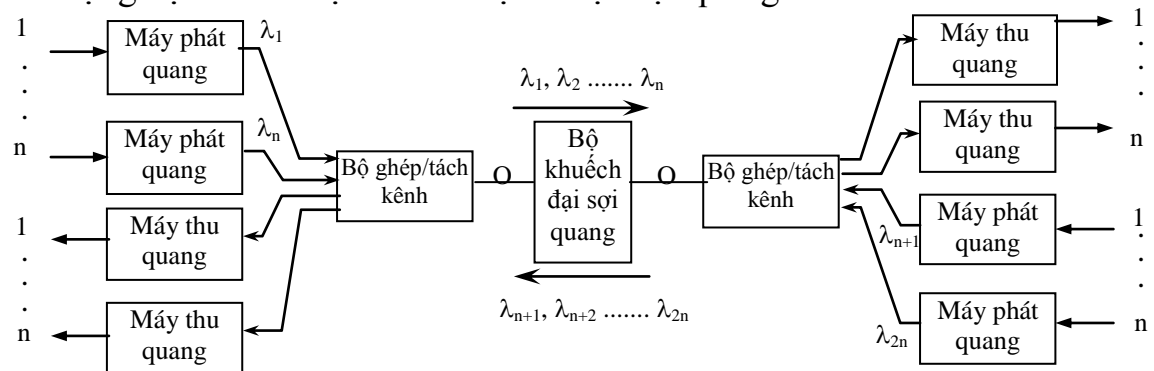


Hình 1.2: Sơ đồ truyền dẫn một chiều trên hai sợi quang

❖ Truyền dẫn hai chiều trên một sợi.

WDM hai chiều là kênh quang trên mỗi sợi cùng truyền dẫn theo hai chiều khác nhau, dùng các bước sóng tách rời nhau để thông tin hai chiều (song công).

Hệ thống WDM song hướng yêu cầu phát triển và ứng dụng cao hơn, có cơ cấu phức tạp hơn đòi hỏi yêu cầu kỹ thuật cực kỳ nghiêm ngặt. Có rất nhiều vấn đề cần lưu ý như phản xạ quang, xuyên âm giữa các kênh, mức điện của công suất truyền dẫn. Ở phía phát, các thiết bị ghép kênh phải có suy hao nhỏ từ mỗi nguồn quang tới đầu ra của bộ ghép kênh. Ở phía thu, các bộ tách sóng quang phải nhạy với dải rộng của các bước sóng quang. Khi thực hiện tách kênh cần phải cách ly kênh quang thật tốt với các bước sóng khác bằng cách thiết kế các bộ tách kênh thật chính xác, dải làm việc ổn định. Do sử dụng bộ khuếch đại quang hai chiều nên hệ thống song hướng giảm được số lượng bộ khuếch đại và tiết kiệm được sợi quang.

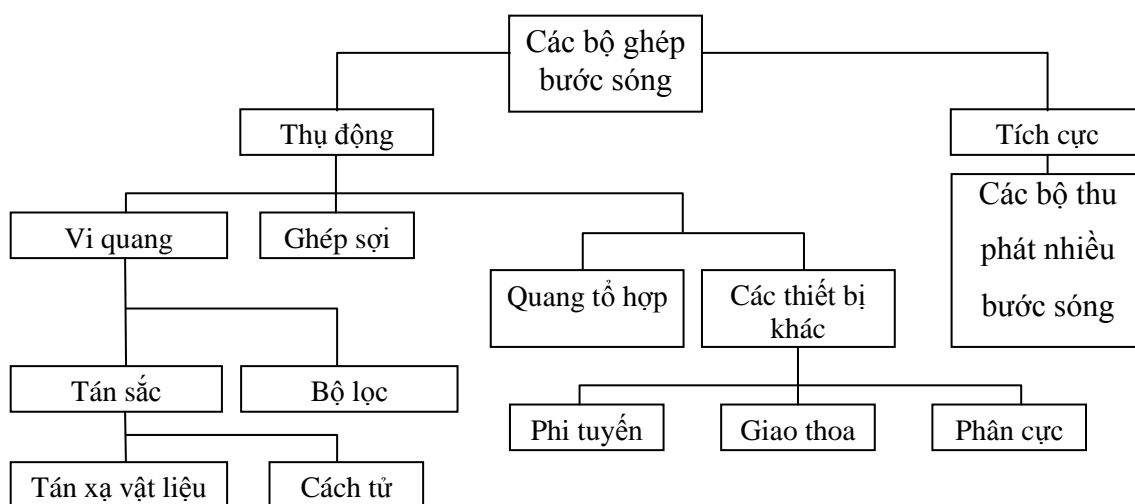


Hình 1.3: Sơ đồ truyền dẫn hai chiều trên một sợi quang

Về nguyên lý, bất kỳ một bộ ghép bước sóng nào cũng có thể được dùng làm bộ giải ghép bước sóng. Như vậy, điều đơn giản là “Multiplexer” trong trường hợp này thường sử dụng ở dạng chung để tương thích cho bộ ghép và bộ giải ghép, trừ trường hợp cần thiết để phân biệt hai thiết bị này.

Người ta chia loại thiết bị ghép bước sóng quang thành ba loại: Các bộ ghép (MUX), các bộ giải ghép (DEMUX) và các bộ ghép và giải ghép hỗn hợp (MUX - DEMUX). Các bộ MUX và DEMUX được dùng cho các phương án truyền dẫn song hướng.

Phân loại các bộ ghép bước sóng trong kỹ thuật ghép bước sóng:



Hình 1.4: Phân loại các bộ ghép bước sóng quang

Các bộ ghép bước sóng thụ động được sử dụng hiện nay thường là các bộ vi quang học (micro-optic) và bộ ghép sợi kiểu dẫn sóng (guided wave fibre coupler). Mỗi loại đều có ưu nhược điểm.

Các bộ vi quang học thường đòi hỏi hệ thống ghép nối các thấu kính để ghép vào sợi quang. Các khó khăn trong việc định vị và ghép nối làm hạn chế các đặc tính kỹ thuật, đặc biệt là đối với các sợi đơn mode. Tuy nhiên, việc sử dụng các bộ vi quang học cho phép lựa chọn đặc tính của bộ lọc rộng rãi hơn.

Các bộ ghép sợi ít chịu ảnh hưởng của các khó khăn nêu trên nhưng lại bị hạn chế trong việc lựa chọn các đặc tính cần có của bộ lọc, chẳng hạn như mức độ bằng phẳng của băng thông.

Có 3 tiêu chuẩn cơ bản để xác định đặc tính của bộ ghép bước sóng:

- ✓ Suy hao xen
- ✓ Xuyên âm
- ✓ Độ rộng phổ của kênh

❖ Suy hao xen

Suy hao xen ở đây được xác định như lượng tổn hao công suất trên tuyến truyền dẫn quang do việc thêm vào các bộ ghép bước sóng. Khác với các coupler thông thường, ở đây suy hao xen được xem xét đối với từng bước sóng:

$$L_k = -10 \log O(\lambda_k)/I_k(\lambda_k) \quad \text{MUX}$$

$$L_i = -10 \log O_i(\lambda_i)/I(\lambda_i) \quad \text{DEMUX}$$

Trong đó:

$I(\lambda_i)$, $O(\lambda_k)$ là công suất tín hiệu được ghép ở trên đường chung.

$I_k(\lambda_k)$ là công suất tín hiệu bước sóng λ_k đi vào cửa thứ k của bộ ghép, tín hiệu này được phát từ nguồn phát quang thứ k.

$O_i(\lambda_i)$ là công suất tín hiệu bước sóng λ_k đi khỏi cổng thứ i của bộ tách.

Suy hao này bao gồm suy hao sinh ra tại các điểm ghép nối của bộ ghép bước sóng mà nguyên nhân chủ yếu là do hấp thụ hoặc do phản xạ. Mức độ ảnh hưởng tương đối của hai nguồn suy hao trên hệ thống còn tùy thuộc vào loại công nghệ được lựa chọn để chế tạo bộ ghép bước sóng.

❖ Xuyên âm

Xuyên âm là sự dò tín hiệu từ kênh này sang kênh kia. Nó làm tăng nền nhiễu, do vậy làm giảm tỷ số tín hiệu trên nhiễu SNR. Hiện tượng này được sinh ra do các yếu tố sau:

- ✓ Do các đặc tính của bộ lọc không hoàn thiện.
- ✓ Do phản xạ hay hội tụ không hoàn toàn làm các tia sáng bị tán mát.
- ✓ Do phổ của các nguồn phát chồng lấn lên nhau.
- ✓ Do các hiệu ứng phi tuyến xảy ra khi đưa công suất cao vào sợi quang.

Trong một bộ giải ghép kênh lý tưởng, sẽ không có sự dò công suất tín hiệu từ kênh thứ i có bước sóng λ_i sang kênh khác có bước sóng khác với λ_i . Nhưng trong thực tế luôn tồn tại một mức xuyên âm nào đó và làm giảm chất lượng truyền dẫn của thiết bị. Khả năng để tách các kênh khác nhau được diễn giải bằng suy hao xen và được tính bằng dB như sau:

$$D_i(\lambda_i) = -10 \log U_i(\lambda_k)/I(\lambda_k)$$

Trong đó: $U_i(\lambda_k)$ là lượng tín hiệu không mong muốn ở bước sóng λ_k do có sự dò tín hiệu ở cửa thứ i sang, mà đúng ra thì chỉ có tín hiệu ở bước sóng λ_i .

Trong thiết bị ghép - giải hỗn hợp, việc xác định suy hao xen kênh cũng được áp dụng như bộ giải ghép. Ở trường hợp này phải xem xét cả hai loại xuyên kênh. Xuyên kênh đầu xa là do các kênh khác được ghép đi vào đường truyền gây ra, ví dụ như $I(\lambda_k)$ sinh ra $U_i(\lambda_k)$. Xuyên kênh đầu gần là do các kênh khác ở đầu vào sinh ra, nó được ghép ở bên trong thiết bị như $U_i(\lambda_i)$. Khi cho các sản phẩm, các nhà chế tạo cũng phải cho biết suy hao kênh đối với từng thiết bị.

❖ Độ rộng phổ của kênh:

Độ rộng phổ của kênh là dải bước sóng dành cho mỗi kênh. Độ rộng này phải đảm bảo để tránh nhiễu giữa các kênh. Độ rộng phổ giữa các kênh tùy thuộc vào từng nguồn phát. Ứng với các tốc độ truyền dẫn khác nhau sẽ có độ rộng phổ mỗi kênh là khác nhau và độ chính xác khác nhau.

Độ rộng kênh	Độ dịch tần
25 GHz	± 5 GHz
50 GHz	± 10 GHz
100 GHz	± 20 GHz
200 GHz	± 50 GHz

Bảng 1.1: Độ rộng phổ của kênh

1.3. CÁC THAM SỐ CHÍNH TRONG DWDM

DWDM thực hiện ghép một số lượng lớn các bước sóng quang đã được điều chế trên một sợi quang. Những kênh quang trong hệ thống DWDM thường nằm trong một cửa sổ bước sóng, chủ yếu là 1550 nm vì môi trường ứng dụng hệ thống này thường là mạng đường trục, cự ly truyền dẫn dài và có dung lượng truyền dẫn lớn. Giống như bất cứ một công nghệ nào, DWDM cũng tồn tại những giới hạn và những vấn đề kỹ thuật. Trong chương này, chúng ta sẽ xem xét một số tham số như: suy hao, nhiễu xuyên kênh, số kênh bước sóng, bề rộng phổ nguồn phát, quỹ công suất, tán sắc và ảnh hưởng của các hiệu ứng phi tuyến.

1.3.1. Suy hao của sợi quang

Suy hao trong sợi quang đóng một vai trò rất quan trọng trong việc thiết kế hệ thống. Suy hao sợi được tính bằng tỷ số giữa công suất cuối sợi quang P_2 của sợi dẫn quang dài $L(km)$ với công suất đưa vào sợi quang P_1 . Nếu gọi α là hệ số suy hao của sợi thì:

$$A_{(dB)} = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (1.1)$$

$$\alpha (dB/km) = \frac{A(dB)}{L(km)} \quad (1.2)$$

Các nguyên nhân chính gây suy hao trong sợi quang là: Suy hao do hấp thụ ánh sáng, trong đó có hấp thụ tử ngoại và hấp thụ hồng ngoại. Hấp thụ chủ yếu do hấp thụ điện tử, hấp thụ tạp chất và hấp thụ vật liệu. Ngoài ra, còn phải kể đến suy hao do ghép nguồn quang vào sợi quang, suy hao do môi hàn, suy hao do uốn cong sợi và suy hao do tán xạ do tính không đồng nhất quang học của lõi sợi gây ra. Có 3 loại suy hao do tán xạ cơ bản của lõi sợi quang là tán xạ Rayleigh, tán xạ Brillouin và tán xạ Raman.

1.3.2. Số kênh bước sóng

Một trong những vấn đề quan trọng là hệ thống sử dụng bao nhiêu kênh bước sóng và số kênh cực đại hệ thống có thể sử dụng được. Số kênh bước sóng sử dụng phụ thuộc vào:

- Khả năng của công nghệ đối với các thành phần quang như:
 - ✓ Khả năng băng tần của sợi quang.
 - ✓ Khả năng tách/ghép các kênh bước sóng.
- Khoảng cách giữa các kênh gồm các yếu tố sau:
 - ✓ Tốc độ truyền dẫn của từng kênh.
 - ✓ Quỹ công suất quang.
 - ✓ Ảnh hưởng của hiệu ứng phi tuyến.
 - ✓ Độ rộng phổ của nguồn phát.
 - ✓ Khả năng tách/ghép của hệ thống DWDM.

Mặc dù cửa sổ truyền dẫn tại vùng bước sóng 1550 nm có độ rộng khoảng 100 nm, nhưng do dải khuếch đại của các bộ khuếch đại quang chỉ có độ rộng khoảng 35 nm (theo quy định của ITU - T thì dải khuếch đại này là từ bước sóng 1530 nm đến 1565 nm đối với băng C; hoặc băng L từ 1570 nm đến 1603 nm) nên trong thực tế, các hệ thống DWDM không thể tận dụng hết băng tần của sợi quang.

Gọi $\Delta\lambda$ là khoảng cách giữa các kênh bước sóng thì tương ứng ta có:

$$\Delta f = -c.\Delta\lambda / \lambda^2 \quad (1.3)$$

Như vậy, tại bước sóng $\lambda = 1550$ nm, với $\Delta\lambda = 35$ nm thì $\Delta f = 4,37.10^{12}$ Hz. Giả sử tốc độ truyền dẫn của mỗi kênh bước sóng là 2.5Gbps thì theo định nghĩa Nyquist, phổ cơ sở của tín hiệu là $2 \times 2,5 = 5$ Gbps thì số kênh bước sóng cực đại có thể đạt được $N = \Delta f / 5 = 874$ kênh trong dải băng tần khuếch đại quang. Đây là số kênh tính theo lý thuyết, tuy nhiên, với mật độ kênh càng lớn thì đòi hỏi các thành phần quang trên tuyến phải có chất lượng càng cao. Để tránh xuyên âm giữa các kênh này cần có bộ phát ổn định và

một bộ lọc quang có khả năng chọn lọc bước sóng cao. Bất kỳ sự dịch tần nào của nguồn phát cũng có thể làm dẫn phổ sang kênh lân cận.

Dựa vào khả năng công nghệ hiện nay, ITU - T đưa ra quy định về khoảng cách giữa các kênh bước sóng là 100 GHz (0,8 nm) hoặc 50 GHz (0,4 nm) với chuẩn tần số là 193,1 THz.

Với công nghệ hiện nay, DWDM chủ yếu sử dụng dải băng tần C (1530 - 1560)nm và băng L (1560 - 1600)nm.

1.3.3. Độ rộng phổ của nguồn phát

Việc chọn độ rộng phổ của nguồn phát nhằm đảm bảo cho các kênh bước sóng hoạt động một cách độc lập nhau, nói khác đi là tránh hiện tượng chồng phổ ở phía thu giữa các kênh lân cận. Khoảng cách giữa những kênh này phụ thuộc vào đặc tính của các thiết bị như MUX/DEMUX, bộ lọc, độ dung sai cũng như mức độ ổn định của các thiết bị này.

Về bản chất, việc ghép các bước sóng khác nhau trên cùng một sợi quang là dựa trên nguyên tắc ghép kênh theo tần số. Các kênh khác nhau làm việc ở các kênh tần số khác nhau trong cùng băng thông của sợi quang. Theo lý thuyết, băng thông của sợi quang rất rộng nên số lượng kênh bước sóng ghép được rất lớn (ở cả 2 cửa sổ truyền dẫn). Tuy nhiên, trong thực tế, các hệ thống WDM thường đi liền với các bộ khuếch đại quang sợi và làm việc chỉ ở cửa sổ bước sóng 1550 nm. Vì vậy, băng tần của sợi quang bị giới hạn bởi băng tần của bộ khuếch đại. Như vậy, một vấn đề đặt ra khi ghép là khoảng cách giữa các bước sóng phải thỏa mãn được yêu cầu tránh chồng phổ của các kênh lân cận ở phía thu. Khoảng cách này phụ thuộc vào đặc tính phổ của nguồn phát và các ảnh hưởng khác nhau trên đường truyền như tán sắc sợi, hiệu ứng phi tuyến...

Một cách lý tưởng, có thể xem hệ thống DWDM như là sự xếp chồng của các hệ thống truyền dẫn đơn kênh khi khoảng cách giữa các kênh bước sóng đủ lớn và công suất phát hợp lý. Mối quan hệ giữa phổ công suất phía

thu với phổ công suất nguồn phát được thể hiện bởi tham số đặc trưng cho giãn phổ, kí hiệu Δ , băng tần tín hiệu B và bù tán sắc D . Nếu gọi ϵ là hệ số đặc trưng cho sự tương tác giữa nguồn phát và sợi quang, ta có biểu thức:

$$\epsilon = B \cdot D \cdot \Delta_{\text{RMS}} \quad (1.4)$$

Trong đó: B là độ rộng băng tần tín hiệu truyền dẫn.

D là độ tán sắc tương ứng khoảng cách truyền dẫn.

Δ_{RMS} là độ giãn rộng phổ.

1.3.4. Quỹ công suất

Trong môi trường truyền dẫn cáp sợi quang, quỹ công suất là một yếu tố rất quan trọng nhằm đảm bảo cho hệ thống hoạt động bình thường. Mục đích của quỹ công suất là bảo đảm công suất đến máy thu đủ lớn để duy trì hoạt động tin cậy trong suốt thời gian sống của hệ thống.

Suy hao công suất trên toàn tuyến bao gồm: suy hao trên sợi dẫn quang, trên các bộ nối quang và tại các mối hàn. Tổng suy hao trên toàn tuyến nhận được từ các phân bố suy hao liên tiếp của từng phần tử trên tuyến. Suy hao của từng phần tử được tính:

$$A_{(\text{dB})} = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (1.5)$$

Trong đó: P_1, P_2 là các công suất quang đầu vào và đầu ra của phần tử.

Ngoài các suy hao do các phần tử trên tuyến quang gây ra như đã nêu ở trên, ta còn phải có một lượng công suất quang dự phòng cho tuổi thọ của các thành phần, sự thay đổi nhiệt độ và các suy hao tăng lên ở các thành phần. Dự phòng cho tuyến thường thường từ 6 - 8 dB. Chính vì vậy mà quỹ công suất của tuyến có thể xem như là công suất tổng P_T nằm giữa nguồn phát quang và bộ tách sóng quang. Suy hao tổng này bao gồm suy hao sợi, suy hao bộ nối quang, suy hao mối hàn và dự phòng cho hệ thống.

Nếu gọi P_S là công suất quang của nguồn phát được đưa vào đầu ghép sợi và P_R là độ nhạy của bộ thu quang thì:

$$P_T = P_S - P_R = 2l_C + \alpha_f \cdot L + \text{dự phòng hệ thống} \quad (1.6)$$

Trong đó: l_C là suy hao bộ nối quang

α_f là suy hao sợi

L là cự ly truyền dẫn

Ở đây, suy hao do mỗi hàn l_{SP} được gán vào trong suy hao sợi để đơn giản phép tính.

1.3.5. Tán sắc

Khi truyền dẫn tín hiệu số dọc theo sợi quang, xuất hiện hiện tượng giãn xung ở đầu thu. Thậm chí trong một số trường hợp các xung lân cận đè lên nhau, khi đó không phân biệt được các xung với nhau nữa, gây méo tín hiệu khi tái sinh.

Sở dĩ có hiện tượng méo này là do tán sắc ở bên trong mode và hiệu ứng giữa các mode gây ra.

- ❖ Tán sắc bên trong mode bao gồm tán sắc vật liệu và tán sắc dẫn sóng.

Tán sắc vật liệu do chỉ số chiết suất của vật liệu lõi phụ thuộc vào bước sóng tạo nên. Nó gây ra sự phụ thuộc của bước sóng vào vận tốc nhóm của bất kỳ mode nào.

Tán sắc dẫn sóng phụ thuộc vào thiết kế sợi vì hằng số lan truyền mode β . Nó thường được bỏ qua trong sợi đa mode nhưng lại cần quan tâm trong sợi đơn mode. Gọi là tán sắc dẫn sóng vì hiện tượng này thường xảy ra trong các ống dẫn sóng kể cả ở sóng cao tần và siêu cao tần.

- ❖ Tán sắc giữa các mode

Tán sắc này chỉ ảnh hưởng đến các sợi đa mode, nó sinh ra do có nhiều đường khác nhau (các mode khác nhau) mà một tia sáng có thể truyền lan trong sợi đa mode dẫn đến tia sáng truyền qua những quang lộ khác nhau, làm cho xung truyền dẫn bị giãn rộng ra, tán sắc này phụ thuộc vào kích thước của sợi quang, đặc biệt phụ thuộc vào đường kính của lõi sợi.

Các phương pháp để làm giảm thiểu sự ảnh hưởng của tán sắc đến hệ thống DWDM tốc độ cao có dùng khuếch đại EDFA gồm: làm hẹp bề rộng phổ của nguồn phát hoặc sử dụng các phương pháp bù tán sắc như:

- ✓ Sử dụng sợi quang có hệ số tán sắc nhỏ.
- ✓ Bù tán sắc bằng phương pháp tự dịch pha SPM.
- ✓ Bù tán sắc bằng các thành phần bù tán sắc thụ động.
- ✓ Bù tán sắc bằng sợi DCF.
- ✓ Bù tán sắc bằng các modul DCM sử dụng cách tử sợi Bragg.

Các hệ thống truyền dẫn TDM cũng như WDM bị ảnh hưởng nhiều hơn đối với một loại tán sắc khác, khi tăng tốc độ truyền dẫn của hệ thống còn phải quan tâm đến ảnh hưởng của tán sắc mode phân cực (PMD). Ảnh hưởng này thường được bỏ qua đối với hệ thống tốc độ thấp.

❖ **Khái niệm tán sắc mode phân cực PMD**

Tán sắc mode phân cực PMD là một thuộc tính cơ bản của sợi quang đơn mode và các thành phần hợp thành trong đó năng lượng tín hiệu ở bất kỳ bước sóng nào cũng được phân tích thành 2 mode phân cực trực giao có vận tốc truyền khác nhau. Do vận tốc của hai mode chênh lệch nhau đôi chút nên thời gian truyền qua cùng khoảng cách là khác nhau và được gọi là sự trễ nhóm (DGD). Vì vậy, PMD sẽ làm giãn rộng xung tín hiệu gây nên suy giảm dung lượng truyền dẫn. Về phương diện này, ảnh hưởng của tán sắc mode phân cực cũng giống như ảnh hưởng của tán sắc. Tuy nhiên, có một điểm khác biệt lớn đó là: tán sắc là một hiện tượng tương đối ổn định, trong khi đó, PMD của sợi đơn mode ở bất kỳ bước sóng nào cũng là không ổn định. Ngoài những ảnh hưởng trên còn phải kể đến suy hao phụ thuộc phân cực (PLD) của các thành phần hợp thành. PLD phân biệt sự thay đổi phân cực trong thành phần cường độ được tách ra từ tín hiệu mong muốn thông qua sự suy hao trạng thái phân cực có chọn lọc.

Tán sắc mode phân cực được tính theo công thức:

$$\text{PMD}_{\text{total}} = K.L^{1/2} \quad (1.7)$$

Trong đó: $\text{PMD}_{\text{total}}$ là tán sắc phân cực của sợi quang (ps)

K là hệ số tán sắc phân cực ($\text{ps}/\text{km}^{1/2}$)

L là chiều dài của sợi (km)

❖ Nguyên nhân của tán sắc phân cực

Do cấu trúc không hoàn hảo của sợi quang cũng như các thành phần quang hợp thành nên có sự khác biệt về chiết suất đối với cặp trạng thái phân cực trực giao, được gọi là sự lưỡng chiết. Sự khác biệt chiết suất sẽ sinh ra độ chênh lệch thời gian truyền sóng trong các mode phân cực này. Trong các sợi đơn mode, hiện tượng này bắt nguồn từ sự không tròn hoặc ovan của lõi sợi theo 2 cách: ống dẫn sóng ovan (vốn có tính lưỡng chiết) và trường lực căng cơ học tạo nên bởi lõi ovan gồm có cả lưỡng chiết phụ. Nhìn chung, ảnh hưởng của ống dẫn sóng ovan có vai trò lớn trong sợi PMD thấp.

Sự lưỡng chiết của các vật liệu trong suốt giống nhau như thạch anh được tạo ra từ cấu trúc tinh thể cân xứng. Và như vậy, PMD trong các thành phần quang có thể sinh ra từ sự lưỡng chiết của các thành phần con trong các thành phần quang hợp thành. Tín hiệu truyền trên các đường song song nhau có độ dài quang khác nhau cũng sinh ra hiện tượng trễ nhóm.

Sự phân cực trong sợi đặc trưng cho lưỡng chiết do lực cơ học. Nhiều phân tử không phải là thủy tinh được cho vào trong lớp vỏ của sợi nên ở lõi xuất hiện trường lực không đối xứng nhau dọc theo chiều dài sợi. Khi ánh sáng phân cực bị ghép trong một đoạn sợi này thì trường điện đầu ra của ánh sáng đầu vào được phân tích thành 2 modul phân cực trực giao với tốc độ truyền khác nhau. Các modul phân cực được duy trì dọc theo sợi và năng lượng của chúng sẽ không bị ghép.

Ngoài những nguyên nhân trên, lưỡng chiết còn sinh bởi sự uốn cong của sợi. Sự uốn cong này làm thay đổi mật độ phân tử của cấu trúc sợi, làm cho hệ số khúc xạ mất đối xứng. Tuy nhiên, lưỡng chiết do uốn cong không phải là nguyên nhân chủ yếu sinh ra PMD.

1.3.6. Vấn đề ảnh hưởng của các hiệu ứng phi tuyến

Đối với hệ thống thông tin sợi quang, công suất quang không lớn, sợi quang có tính năng truyền dẫn tuyến tính. Sau khi dùng EDFA, công suất quang tăng lên, trong điều kiện nhất định sợi quang sẽ thể hiện đặc tính truyền dẫn phi tuyến, hạn chế rất lớn tính năng của bộ khuếch đại EDFA và cự ly truyền dẫn dài không có chuyển tiếp.

Nhìn chung, có thể chia hiệu ứng phi tuyến thành 2 loại:

- ✓ Hiệu ứng tán xạ: bao gồm tán xạ do kích thích Raman (SRS) và tán xạ do kích thích Brillouin (SBS).
- ✓ Hiệu ứng liên quan đến chiết suất phụ thuộc vào công suất quang: bao gồm hiệu ứng tự điều chế pha (SPM), điều chế pha chéo(XPM) và trộn bốn bước sóng (FWM).

1.3.6.1. Hiệu ứng tán xạ Raman SRS

Hiệu ứng Raman là kết quả của quá trình tán xạ không đàn hồi mà trong đó photon của ánh sáng tới chuyển một phần năng lượng của mình cho dao động cơ học của các phân tử cấu thành môi trường truyền dẫn và phần năng lượng còn lại được phát xạ thành ánh sáng có bước sóng lớn hơn bước sóng của ánh sáng tới (ánh sáng với bước sóng mới này được gọi là ánh sáng stoke). Khi ánh sáng tín hiệu truyền trong sợi quang có cường độ lớn, quá trình này trở thành quá trình kích thích (được gọi là SRS) mà trong đó ánh sáng tín hiệu đóng vai trò sóng (gọi là bơm Raman) làm cho phần năng lượng của tín hiệu được truyền tới bước sóng stoke.

Nếu gọi $P_S(L)$ là công suất của bước sóng stoke trong sợi quang thì:

$$P_S(L) = P_0 \exp\left(\frac{g_r P_0 L}{K S_{eff}}\right) \quad (1.8)$$

Trong đó: P_0 là công suất đưa vào sợi tại bước sóng tín hiệu

g_r là hệ số khuếch đại Raman

L là khoảng cách ánh sáng lan truyền trong sợi quang

S_{eff} là diện tích vùng lõi hiệu dụng

K đặc trưng cho mối quan hệ về phân cực giữa tín hiệu, bước sóng stoke và phân cực của sợi. Đối với sợi thông thường thì $K \approx 2$.

Từ đây có thể tính toán mức công suất P_0 mà tại đó hiệu ứng SRS ảnh hưởng lớn đến hệ thống, được gọi là ngưỡng Raman (P_0^{th}) (P_0^{th} là công suất của tín hiệu đầu vào mà ứng với nó công suất bước sóng stoke và bước sóng tín hiệu tại đầu ra là bằng nhau).

$$P_0^{th} \approx \left(\frac{32 S_{eff}}{L g_r}\right) \quad (1.9)$$

Từ đây, người ta tính toán được rằng, đối với hệ thống đơn kênh, để hiệu ứng SRS có thể ảnh hưởng đến chất lượng hệ thống thì mức công suất phải lớn hơn 1W (nếu như hệ thống không sử dụng khuếch đại quang trên đường truyền). Tuy nhiên, trong hệ thống WDM thì mức công suất này sẽ thấp hơn nhiều vì có hiện tượng khuếch đại đối với các bước sóng lớn, trong khi đó công suất của các kênh có bước sóng ngắn hơn lại bị giảm đi (do đã chuyển một phần năng lượng cho các bước sóng lớn) làm suy giảm hệ số SNR, ảnh hưởng đến chất lượng hệ thống. Để đảm bảo suy giảm SNR không nhỏ hơn 0,5 dB thì mức công suất của từng kênh phải thỏa mãn:

$$P < \frac{10,28 \cdot 10^{12}}{N(N-1) L_{eff} \Delta f} \quad (1.10)$$

Trong đó: N là số kênh bước sóng

Δf là khoảng cách giữa các kênh bước sóng

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

1.3.6.2. Hiệu ứng tán xạ Brillouin SBS

Tán xạ Brillouin được hiểu như là sự điều chế ánh sáng của năng lượng nhiệt trong vật liệu. Photon ánh sáng vào sợi quang chịu sự tương tác không tuyến tính và tạo ra năng lượng rung động trong thủy tinh cũng như tạo ra ánh sáng tán xạ. Độ dịch tần số và cường độ tán xạ biến đổi theo hàm của góc tán xạ, với giá trị lớn nhất là ngược với hướng truyền và nhỏ nhất bằng không theo hướng truyền. Do đó, tán xạ Brillouin chủ yếu về hướng ngược hướng về nguồn và xa bộ thu, vì vậy làm giảm công suất ánh sáng tại bộ thu. Mức công suất mà tại đó tán xạ Brillouin trở nên đáng kể trong sợi quang đơn mode tuân theo công thức:

$$P_B = 17,6 \times 10^{-3} \times a^2 \times \lambda^2 \times \alpha \times \Delta \nu \quad (1.11)$$

Trong đó: P_B là mức công suất (W) cần thiết để tán xạ Brillouin trở nên đáng kể.

a là bán kính sợi quang (μm)

λ là bước sóng của nguồn phát (μm)

α là suy hao của sợi quang (dB/km)

$\Delta \nu$ là độ rộng phổ của nguồn (GHz)

Hiệu ứng SBS là hiệu ứng tương tự như hiệu ứng SRS, tức là có sự tạo thành của bước sóng Stokes với bước sóng dài hơn bước sóng của ánh sáng tới. Điểm khác nhau chính của hai hiệu ứng này là: hiệu ứng SBS liên quan đến các photon âm học, còn hiệu ứng SRS liên quan đến các photon quang. Chính do sự khác biệt này mà hai hiệu ứng có những ảnh hưởng khác nhau đến hệ

thống WDM. Trong hiệu ứng này, một ánh sáng bị tán xạ do các photon âm học và làm cho phần ánh sáng bị tán xạ này dịch tới bước sóng dài hơn (trùng với độ dịch tần là khoảng 11 GHz tại bước sóng 1550 nm). Tuy nhiên, chỉ có phần ánh sáng bị tán xạ theo chiều ngược trở lại (tức là ngược chiều với chiều của tín hiệu) mới có thể truyền đi ở trong sợi quang. Vì vậy, trong hệ thống WDM khi tất cả các kênh đều cùng truyền theo một hướng thì hiệu ứng SBS không gây xuyên âm giữa các kênh.

Trong tất cả các hiệu ứng phi tuyến thì ngưỡng công suất để xảy ra hiệu ứng SBS là thấp nhất, chỉ vài mV. Tuy nhiên, do hiệu ứng SBS giảm tỷ lệ với $\Delta V_B / \Delta V_{\text{Laser}}$ (ΔV_B là băng tần khuếch đại Brillouin, ΔV_{Laser} là độ rộng phổ của laser) và băng tần khuếch đại Brillouin là rất hẹp (chỉ khoảng 10 – 100 MHz) nên hiệu ứng này cũng khó xảy ra. Chỉ các hệ thống với nguồn phát có độ rộng phổ rất hẹp mới có thể bị ảnh hưởng của hiệu ứng SBS. Người ta tính toán được mức công suất ngưỡng đối với hiệu ứng SBS như sau:

$$P_{\text{th}} = 21 \frac{k A_{\text{eff}}}{g L_{\text{eff}}} \cdot \frac{\Delta V_B + \Delta V_P}{\Delta V_B} \quad (1.12)$$

Trong đó: g là hệ số khuếch đại Brillouin

A_{eff} là vùng lõi hiệu dụng

k : đặc trưng cho mối quan hệ về phân cực giữa tín hiệu, bước sóng stoke và phân cực của sợi. Đối với hệ thống thông thường thì $k \approx 2$.

ΔV_B là băng tần khuếch đại Brillouin

ΔV_P là độ rộng phổ của tín hiệu

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

1.3.6.3. Hiệu ứng tự điều chế pha SPM

Hiệu ứng SPM thuộc loại hiệu ứng Kerr, tức là hiệu ứng trong đó chiết suất của môi trường truyền dẫn thay đổi theo cường độ ánh sáng truyền trong đó:

$$n = n_0 + \Delta n_{NL} = n_0 + n_2 |E|^2 \quad (1.13)$$

Trong đó: n_0 là chiết suất tuyến tính

n_2 là hệ số chiết suất phi tuyến ($n_2 = 1,22 \cdot 10^{-22} (\text{V/m})^2$ đối với sợi Silic)

E là trường quang

Hiện tượng này tạo nên sự dịch pha phi tuyến Φ_{NL} của trường quang khi lan truyền trong sợi quang. Giả sử bỏ qua suy hao quang thì sau khoảng cách L , pha của trường quang sẽ là:

$$\Phi = \frac{2\pi n L}{\lambda} = \frac{2\pi L (n_0 + n_2 |E|^2)}{\lambda} \quad (1.14)$$

Đối với trường quang có cường độ không đổi hiệu ứng SPM chỉ làm quay pha của trường quang, do đó ít ảnh hưởng đến chất lượng của hệ thống. Tuy nhiên, đối với các trường quang có cường độ thay đổi thì pha phi tuyến Φ_{NL} sẽ thay đổi theo thời gian. Sự thay đổi theo thời gian này cũng có nghĩa là trong xung tín hiệu sẽ tồn tại nhiều tần số quang khác với tần số trung tâm ν_0 một giá trị là $\delta\nu_{NL}$, với:

$$\delta\nu_{NL} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\partial \Phi_{NL}}{\partial t} \right) \quad (1.15)$$

Hiện tượng này còn gọi là hiện tượng dịch tần phi tuyến làm cho sườn sau của xung dịch đến tần số $\nu < \nu_0$ và sườn trước của xung dịch đến tần số $\nu > \nu_0$. Điều này có nghĩa là phổ của tín hiệu đã bị giãn trong quá trình truyền. Trong hệ thống WDM, đặc biệt khi khoảng cách giữa các kênh gần nhau, hiện tượng giãn phổ do SPM có thể dẫn đến giao thoa gây nhiễu giữa các kênh. Hơn nữa, nếu xét đến ảnh hưởng của tán sắc thì thấy dạng xung bị biến đổi dọc theo sợi. Nếu gọi D là hệ số tán sắc của sợi thì:

- Với $D < 0$: thành phần tần số cao sẽ lan truyền nhanh hơn thành phần tần số thấp. Do đó, xung bị giãn ra.
- Với $D > 0$: thành phần tần số cao sẽ lan truyền chậm hơn thành phần tần số thấp làm cho xung bị co lại (nguyên lý truyền dẫn Soliton). Tuy nhiên, việc tạo ra Soliton phải được kiểm soát, nếu không sẽ có hiện tượng lúc đầu xung co lại, sau đó lại giãn ra rất nhanh.

1.3.6.4. Hiệu ứng điều chế pha chéo XPM

Đối với hệ thống WDM, hệ số chiết suất tại một bước sóng nào đó không chỉ phụ thuộc vào cường độ của sóng đó mà còn phụ thuộc vào cường độ của bước sóng khác lan truyền trong sợi. Trong trường hợp này, chiết suất phi tuyến ứng với bước sóng thứ i sẽ là:

$$\Delta n_{NL} = n_2 \left(|E_i|^2 + \sum |E_j|^2 \right) \quad (1.16)$$

Trong đó: N là tổng số kênh quang

E_i, E_j là cường độ trường quang của bước sóng thứ i, j

XPM có quan hệ đến phương thức điều chế, khi điều chế PSK thì ảnh hưởng đến tính năng của hệ thống là lớn nhất. Có thể thông qua việc giảm công suất của các kênh tín hiệu để giảm XPM. Ngoài ra, XPM không chỉ phụ thuộc vào công suất của kênh tín hiệu mà còn phụ thuộc vào số kênh tín hiệu. Số kênh tín hiệu càng nhiều thì ảnh hưởng của XPM càng lớn.

1.3.6.5. Hiệu ứng trộn bốn bước sóng FWM

Hiện tượng chiết suất phi tuyến còn gây ra một hiệu ứng khác trong sợi đơn mode, đó là hiệu ứng FWM. Trong hiệu ứng này, 2 hoặc 3 sóng quang với các tần số khác nhau sẽ tương tác với nhau tạo ra các thành phần tần số mới. Tương tác này có thể xuất hiện giữa các bước sóng của tín hiệu trong hệ thống WDM, hoặc giữa bước sóng tín hiệu với tạp âm ASE của các bộ khuếch đại quang, cũng như giữa mode chính hoặc mode bên của một kênh

tín hiệu. Giả sử có 3 bước sóng với tần số $\omega_i, \omega_j, \omega_k$ thì tổ hợp tần số mới tạo ra sẽ là những tần số ω_{ijk} thỏa mãn:

$$\omega_{ijk} = \omega_i + \omega_j - \omega_k$$

Theo quan điểm cơ lượng tử, hiệu ứng FWM là hiệu ứng mà trong đó có sự phá hủy photon ở một số bước sóng và tạo ra một số photon ở các bước sóng mới sao cho vẫn bảo toàn về năng lượng và động lượng. Nếu gọi $P_{ijk}(L)$ là công suất của bước sóng ω_{ijk} trong sợi quang thì:

$$P_{ijk}(L) = \eta \frac{1024\pi^6}{n_0 \lambda_{ijk}^2 c^2} (6\chi^{(3)})^2 \frac{L^2}{S_{eff}^2} P_i P_j P_k \cdot \exp(-\alpha L) \quad (1.17)$$

Trong đó: η là hiệu suất của quá trình FWM

c là vận tốc ánh sáng trong chân không

S_{eff} là diện tích vùng lõi hiệu dụng

P_i, P_j, P_k là công suất tương ứng của bước sóng $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k$,

$\chi^{(3)}$ là độ cảm phi tuyến bậc 3

Hiệu suất η của quá trình FWM phụ thuộc vào điều kiện phù hợp về pha. Hiệu ứng FWM xảy ra mạnh chỉ khi điều kiện này được thỏa mãn (tức là động lượng photon được bảo toàn). Về mặt toán học thì điều này có thể biểu thị như sau:

$$\beta(\omega_{ijk}) = \beta(\omega_i) + \beta(\omega_j) - \beta(\omega_k)$$

Vì trong sợi quang tồn tại tán sắc nên điều kiện phù hợp về pha rất khó xảy ra. Tuy nhiên, với môi trường truyền dẫn là loại sợi có tán sắc thấp và khoảng cách truyền dẫn tương đối lớn và các kênh gần nhau thì điều kiện này có thể coi là xấp xỉ đạt được.

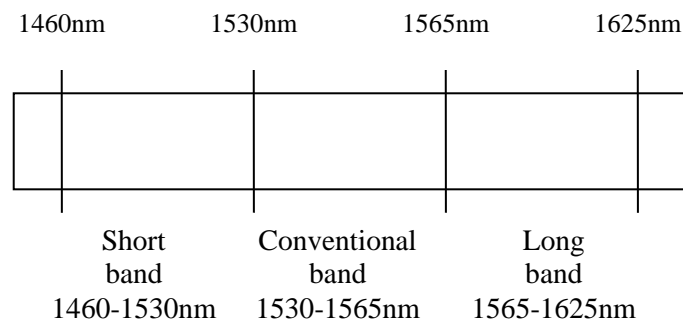
Do việc tạo ra các tần số mới là tổ hợp của các tần số tín hiệu nên hiệu ứng FWM sẽ làm giảm công suất của các kênh tín hiệu trong hệ thống WDM. Hơn nữa, nếu khoảng cách giữa các kênh là bằng nhau thì những tần số mới được tạo ra có thể rơi vào các kênh tín hiệu, gây xuyên âm giữa các kênh, làm suy giảm chất lượng của hệ thống.

Sự suy giảm công suất sẽ làm cho dạng hình mắt của tín hiệu ở đầu thu bị thu hẹp lại nên sẽ làm giảm chất lượng BER của hệ thống. Vì các hệ thống WDM chủ yếu làm việc ở cửa sổ bước sóng 1550 nm và do tán sắc của sợi quang đơn mode thông thường (sợi G.652) tại cửa sổ này là khoảng 18 ps/nm km, còn tán sắc của sợi tán sắc dịch chuyển (sợi G.653) là 0 (< 3 ps.nm), do đó hệ thống WDM làm việc trên sợi đơn mode chuẩn thông thường (SSMF) sẽ ít bị ảnh hưởng bởi hiệu ứng FWM hơn hệ thống WDM làm việc trên sợi tán sắc dịch chuyển (DSF).

Ảnh hưởng của hiệu ứng FWM càng lớn nếu như khoảng cách giữa các kênh trong hệ thống WDM càng nhỏ cũng như khi khoảng cách truyền dẫn và mức công suất của mỗi kênh lớn. Vì vậy, hiệu ứng FWM sẽ hạn chế dung lượng và cự ly truyền dẫn của hệ thống WDM.

1.3.7. Dải bước sóng làm việc của DWDM

Sợi quang thạch anh có 3 cửa sổ suy hao thấp 860 nm, 1310 nm và 1550 nm, trong đó tại cửa sổ 1550 nm đặc tính suy hao của sợi quang là nhỏ nhất, cửa sổ này được áp dụng để truyền dẫn tín hiệu SDH với khoảng cách ngắn và dài. Hơn thế nữa, các bộ khuếch đại quang EDFA sử dụng hiện nay có đặc tính độ lợi khá bằng phẳng trong cửa sổ này, bởi vậy đây là cửa sổ hoạt động rất tốt của hệ thống DWDM. Các bước sóng làm việc trong cửa sổ 1550nm được chia thành 3 dải: băng S, băng C và băng L.



Hình 1.5 : Sự phân chia dải bước sóng làm việc tại cửa sổ 1550 nm

Trong đó:

- Băng S (1460 nm – 1530 nm): hiện tại, dải bước sóng làm việc của bộ khuếch đại quang EDFA thuộc băng C và L. Do đó, băng S không sử dụng trong hệ thống DWDM.
- Băng C (1530 – 1565 nm): đây là dải bước sóng làm việc của các hệ thống DWDM sử dụng 40 bước sóng (khoảng cách giữa các bước sóng là 100 GHz), hệ thống DWDM sử dụng 80 bước sóng (khoảng cách giữa các bước sóng là 50 GHz) và hệ thống SDH.
- Băng L (1565 – 1625 nm): đây là dải bước sóng làm việc của các hệ thống DWDM sử dụng 80 bước sóng (khoảng cách giữa các bước sóng là 50 GHz).

Dựa trên số lượng kênh được ghép và khoảng cách giữa các kênh trong hệ thống DWDM, các bước sóng làm việc trong hệ thống DWDM có thể là: 40 bước sóng, 80 bước sóng và 160 bước sóng.

- ❖ Hệ thống DWDM ghép 40 bước sóng
 - ✓ Dải bước sóng làm việc: băng C (1530 – 1565 nm)
 - ✓ Dải tần số: 192.1 THz – 196.0 THz
 - ✓ Khoảng cách giữa các kênh: 100 GHz
 - ✓ Central frequency offset: ± 20 GHz (tại tốc độ thấp hơn 2.5Gbps) và ± 12.5 GHz (tại tốc độ 10Gbps)

1.4. CÁC ƯU ĐIỂM CỦA HỆ THỐNG DWDM

- ❖ Tận dụng được phần lớn băng thông của sợi quang, tạo ra được dung lượng truyền dẫn lớn. Công nghệ DWDM cho phép sử dụng toàn bộ tài nguyên băng thông rất lớn của sợi quang (khoảng 25THz) để nâng cao dung lượng truyền dẫn của hệ thống.
- ❖ Khoảng cách truyền dẫn xa bằng cách sử dụng công nghệ khuếch đại quang sợi EDFA.

- ❖ Cho phép truy nhập nhiều loại hình dịch vụ: các bước sóng trong hệ thống DWDM độc lập nhau, do đó có khả năng truyền nhiều loại hình dịch vụ trên cùng một cáp sợi quang như: SDH, GE hay ATM...
- ❖ Hạn chế được số sợi quang cần sử dụng: hệ thống DWDM ghép nhiều bước sóng trên một sợi quang nên tiết kiệm được rất nhiều cáp quang, từ đó có thể giảm được cho phí xây dựng đường dây.
- ❖ Khả năng nâng cấp và mở rộng dễ dàng.
- ❖ Độ linh hoạt cao, mạng kinh tế và ổn định.

Chương 2

CÁC THÀNH PHẦN CƠ BẢN CỦA MẠNG DWDM

2.1. CẤU TRÚC TRUYỀN DẪN CƠ BẢN CỦA MẠNG DWDM

Hệ thống DWDM thực hiện ghép bước sóng danh định khác nhau (tương ứng với các tín hiệu kênh quang riêng lẻ) thành một chùm sáng và được truyền dẫn trên một sợi, trong đó mỗi kênh quang mang dịch vụ khác nhau.

Cấu trúc cơ bản của hệ thống DWDM gồm các thành phần chính sau:

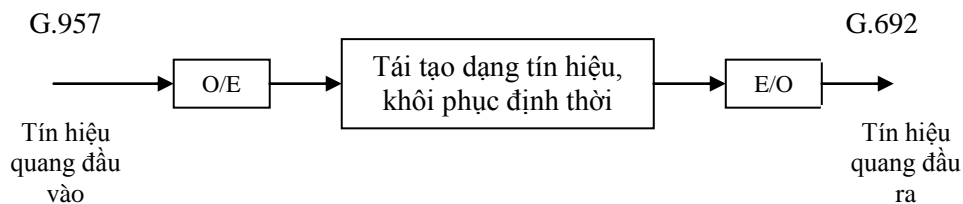
- Bộ sửa dạng tín hiệu
- Các bộ tách ghép kênh quang OMUX, ODMUX
- Các bộ khuếch đại quang sợi EDFA
- Các bộ xen/rẽ quang OADM
- Các modul bù tán sắc DCM
- Bộ kết nối chéo quang OXC

2.2. KHỐI PHÁT ĐÁP QUANG OTU

OTU (Optical Transponder Unit) là thiết bị được sử dụng để thực hiện sửa dạng tín hiệu. Nó chuyển đổi những tín hiệu của các kênh quang đầu vào ở phía Client side thành các tín hiệu quang chuẩn theo khuyến nghị G.692 của ITU-T để có thể truyền trên hệ thống DWDM.

Nguyên lý hoạt động:

OTU thực hiện việc chuyển đổi quang - điện với các tín hiệu quang đưa vào ghép kênh theo khuyến nghị G.957 và thực hiện tái tạo tín hiệu, khôi phục định thời và khôi phục dữ liệu đối với các tín hiệu quang đã được chuyển đổi thành điện. Sau đó thực hiện chuyển đổi điện - quang để đưa ra tín hiệu kênh quang DWDM mà có bước sóng, độ tán sắc và công suất phát quang theo chuẩn G.692.



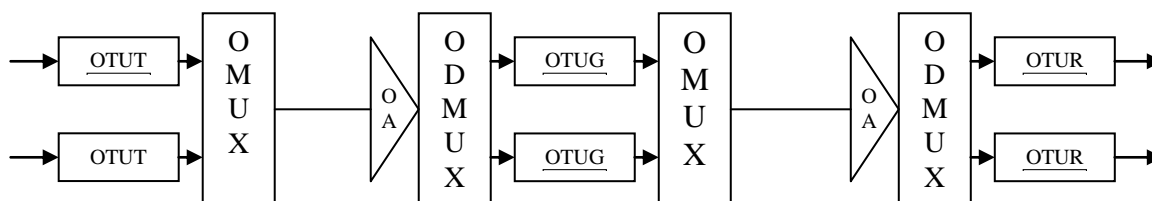
Hình 2.1: Nguyên lý của bộ thu phát quang OTU

Sau khi chuyển đổi O/E nếu chỉ thực hiện tái tạo dạng tín hiệu, khôi phục định thời (thực hiện chức năng 2R: Reshape, Retiming) thì OTU thực hiện chức năng sửa dạng tín hiệu cho truyền dẫn ở khoảng cách ngắn.

Nếu sau khi chuyển đổi O/E, OTU xử lý tái tạo dạng tín hiệu, khôi phục định thời và khôi phục dữ liệu (chức năng 3R: Reshape, Retiming, Regenerator) được thực hiện thì OTU đó có chức năng của một bộ repeater.

Phân loại và ứng dụng:

Phụ thuộc vào vị trí của OTU trong mạng DWDM mà OTU có thể được chia làm 3 loại: OTUT (OUT Transmitter), OTUR (OUT Receiver) và OTUG (OUT Generator). Ứng dụng của chúng trong hệ thống như hình vẽ:



Hình 2.2: Vị trí của bộ chuyển đổi bước sóng OTU trong hệ thống

OTUT (OTU ở đầu phát): đặt giữa các thiết bị của khách hàng và OMUX. Thực hiện chuyển đổi tín hiệu quang từ phía khách hàng thành tín hiệu quang đầu ra theo chuẩn G.692 rồi đưa vào OMUX. Loại OTU này không chỉ thực hiện chức năng chuyển đổi O/E và E/O mà còn thực hiện việc tái tạo dạng tín hiệu, khôi phục định thời (chức năng 2R) và có chức năng tìm byte B1 (byte giám sát lỗi bit từng đoạn lặp).

OTUR (OTU ở đầu thu): đặt giữa ODMUX và các thiết bị của khách hàng. Tín hiệu quang đầu ra từ ODMUX đến OTR phải tuân theo chuẩn G.692. Loại OUT này có chức năng giống như OTUT, nó thực hiện sửa dạng tín hiệu, chức năng 2R và tìm kiếm byte B1.

OTUG (OTU chuyển tiếp): đặt giữa OMUX và ODMUX. Tín hiệu đầu vào và đầu ra của OTUG phải tuân theo chuẩn G.692. OTU loại này không chỉ có chức năng chuyển đổi O/E, E/O mà còn có chức năng tái tạo lại dạng tín hiệu, khôi phục định thời và chức năng khôi phục dữ liệu (chức năng 3R). Vì vậy, OTUG tương đương như một bộ lặp thông thường và cũng có chức năng tìm byte B1.

2.3. BỘ GIẢI/GHÉP KÊNH QUANG

Giả sử các nguồn phát quang làm việc ở các bước sóng khác nhau $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. Các tín hiệu quang ở các bước sóng khác nhau này sẽ được ghép vào cùng một sợi quang ở phía phát. Bộ ghép kênh theo bước sóng phải đảm bảo có độ suy hao nhỏ và tín hiệu sau khi được ghép sẽ được truyền dọc theo sợi để tới phía thu. Tới bên thu, qua bộ giải ghép kênh (ODMUX), tín hiệu sẽ được tách ra thành các bước sóng riêng rẽ và đến các bộ thu thích hợp.

Có 3 loại WDM chính thức được sử dụng đó là:

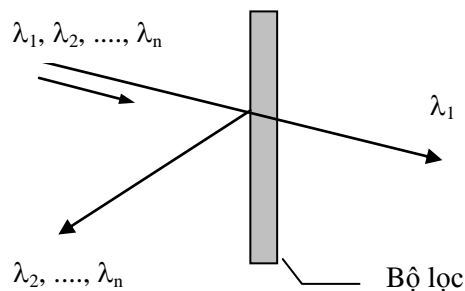
- ✓ Sử dụng bộ lọc điện môi màng mỏng (Dielectric thin film filters - DTF) dùng để lọc các bước sóng riêng biệt trong dải bước sóng cụ thể cũng như dễ dàng thích ứng trong việc truyền dẫn một chiều hoặc hai chiều. Bộ lọc DTF được sử dụng để ghép bước sóng tại hai cửa sổ.
- ✓ Sử dụng cách tử nhiễu xạ dùng để ghép và tách nhiều tín hiệu trong cùng một cửa sổ.
- ✓ Ghép định hướng theo phương pháp hàn sợi.

2.3.1. Phương pháp ghép kênh sử dụng bộ lọc màng mỏng

Bộ lọc điện môi sử dụng trong ghép kênh quang hoạt động dựa trên nguyên tắc phản xạ tín hiệu ở một dải phổ này và cho phần phổ còn lại đi qua.

Phần tử cơ bản để thực hiện ghép kênh theo bước sóng là bộ lọc điện môi giao thoa, nó có cấu trúc đa lớp gồm các màng mỏng có chỉ số chiết suất cao và thấp đặt xen kẽ nhau. Hầu hết các bộ lọc giao thoa làm việc dựa trên nguyên lý buồng cộng hưởng Fabry - Perot, gồm 2 gương phản xạ thành phần đặt song song cách nhau bởi một lớp điện môi trong suốt.

Nguyên lý hoạt động của nó như sau: Khi chùm tia sáng chạm vào thiết bị, các hiện tượng giao thoa sẽ tạo ra những phản xạ nhiều lần trong khoang cộng hưởng. Nếu bề dày của lớp đệm là số nguyên lần của nửa bước sóng ánh sáng thì giao thoa xếp chồng xảy ra và công suất quang của bước sóng đạt giá trị cực đại. Các tia ánh sáng của các bước sóng khác với bước sóng cộng hưởng phản xạ trọn vẹn, chỉ có một bước sóng đi qua bộ lọc. Gương phản xạ là các lớp thủy tinh nằm trên lớp đệm trong suốt.



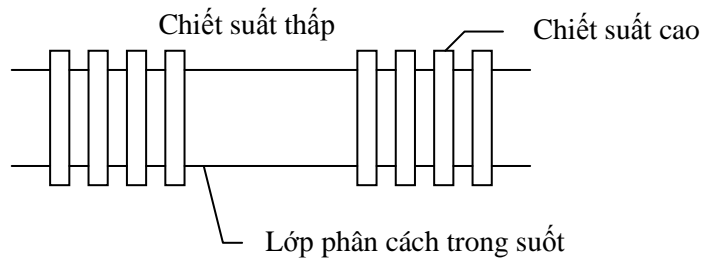
Hình 2.3: Bộ tách bước sóng dùng bộ lọc

Theo đặc tính phổ thì có thể phân các bộ lọc giao thoa thành:

- ✓ Bộ lọc thông thấp hoặc thông cao có bước sóng cắt λ_c .
- ✓ Bộ lọc thông dải có bước sóng trung tâm λ_0 và độ rộng dải $\Delta\lambda$.

Các bộ lọc thông thấp hoặc thông cao thường sử dụng để ghép hoặc tách 2 bước sóng khác nhau, chẳng hạn 850 nm và 1310 nm hoặc 1310 nm và

1550 nm. Loại bộ lọc như vậy thích hợp cho nguồn quang có dải phổ rộng (LED). Bộ lọc thông dải được sử dụng trong WDM khi nguồn quang có phổ hẹp (LD). Đối với bộ lọc thông dải có một vài yêu cầu, đó là độ dốc sườn đường cong hàm truyền đạt phải đủ lớn để tránh xuyên âm giữa các kênh kề nhau, mặt khác độ rộng giải $\Delta\lambda$ có dung sai cho phép để đề phòng dịch bước sóng trung tâm của nguồn quang do nhiệt độ thay đổi.

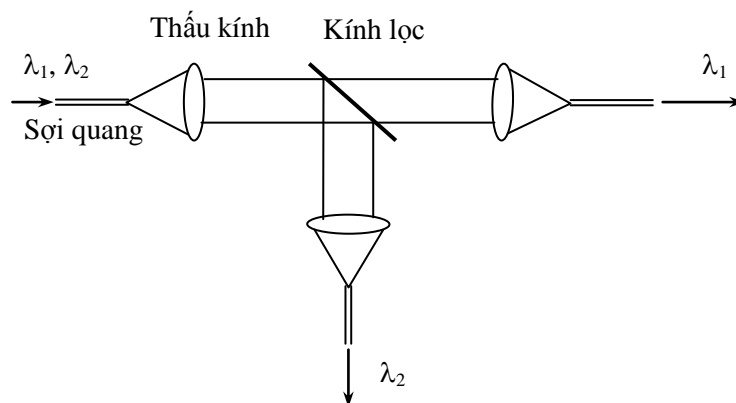


Hình 2.4: Cấu tạo bộ lọc

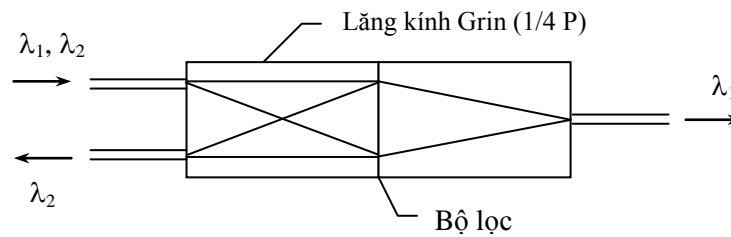
2.3.2. Một số thiết bị tách kênh dùng bộ lọc điện môi màng mỏng

❖ Bộ tách 2 bước sóng:

Do thiết bị ghép và thiết bị tách bước sóng có cấu trúc thuận - nghịch, nghĩa là giữa bộ ghép và bộ tách chỉ thay đổi cổng vào và cổng ra, cho nên trong phần này chủ yếu chỉ trình bày cấu trúc và hoạt động của các bộ tách bước sóng.



Hình 2.5: Bộ tách 2 kênh dùng thấu kính phẳng và bộ lọc

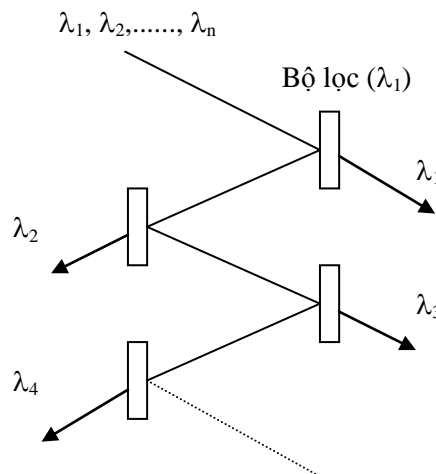


Hình 2.6: Bộ tách 2 kênh dùng bộ lọc và lăng kính Grin

Cấu trúc cơ bản của bộ giải ghép 2 kênh như ở hình 2.5, trong khi đó việc thực hiện trên thực tế cấu trúc này chỉ đơn giản như ở hình 2.6. Các phần tử chuẩn trực và hội tụ là các lăng kính Grin - rod 1/4 bước. Bộ lọc được thiết kế để phát đi λ_1 và phản xạ λ_2 sẽ được đặt giữa 2 lăng kính. Các thiết bị giải ghép này có sẵn trên thị trường thương mại và được sử dụng rộng rãi ở các hệ thống thông tin quang sử dụng các nguồn phát LED ở bước sóng 850 nm và 1300 nm hoặc sử dụng các nguồn phát phổ hẹp của các tổ chức bước sóng như 800 nm và 830 nm; 800 nm và 890 nm;..., với suy hao nhỏ hơn 3 dB (cho mỗi cặp) và suy hao xuyên kênh cao hơn 25 dB.

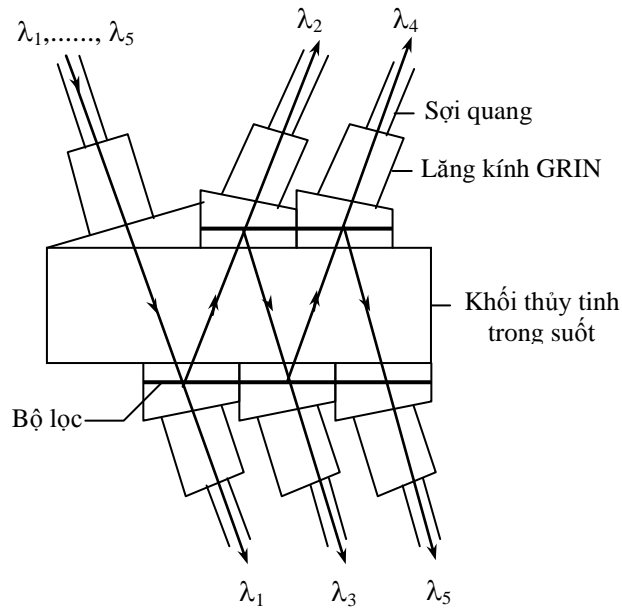
❖ Bộ tách lớn hơn hai bước sóng:

Thiết bị này sử dụng các bộ lọc nối tiếp nhau và mỗi bộ lọc cho đi qua một bước sóng và phản xạ các bước sóng còn lại.



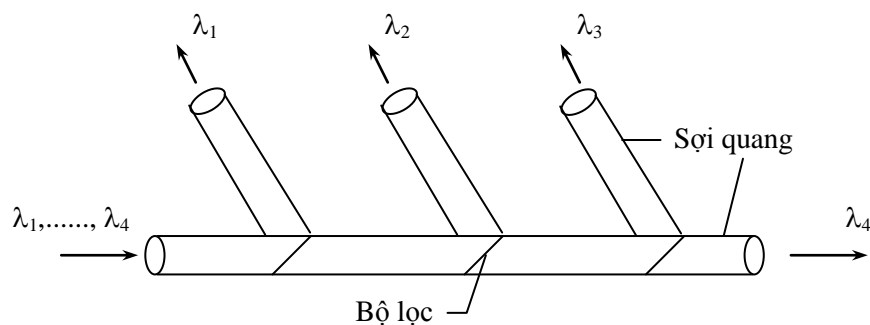
Hình 2.7: Cấu tạo cơ bản của bộ lọc nhiều bước sóng

Trong thực tế, thiết bị tách nhiều bước sóng ngoài các bộ lọc còn có thấu kính, các sợi quang,... Hình vẽ là bộ tách 5 bước sóng dùng thấu kính Grin và khối thủy tinh trong suốt.



Hình 2.8: Bộ tách kênh vi quang nhiều kênh trên thực tế

Đôi khi có thể thực hiện tạo ra bộ tách kênh mà không cần sử dụng đến các phần tử trực chuẩn, thiết bị không có thấu kính mà các bộ giao thoa ở đây được đặt trên từng đoạn một cách thích hợp và đầu sợi được mài nhọn.



Hình 2.9: Cấu trúc cơ bản của bộ tách kênh sử dụng bộ lọc gắn trực tiếp vào sợi

2.3.3. Phương pháp ghép kênh sử dụng cách tử nhiễu xạ

Do nhược điểm không tách được các tia sáng có bước sóng gần nhau nên thấu kính ngày nay hầu như không được sử dụng nữa, thay vào đó người

ta sử dụng cách tử nhiễu xạ là chủ yếu. Các bộ tách/ghép bước sóng sử dụng bộ lọc không thể thực hiện được khi số lượng kênh lớn và số lượng bước sóng sát gần nhau. Thuận lợi chính của cách tử là có thể nhiễu xạ đồng thời tất cả các bước sóng và có thể thực hiện được với các bộ tách ghép nhiều kênh. Nguyên lý cơ bản của ghép bước sóng sử dụng cách tử dựa trên hiện tượng góc nhiễu xạ phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng.

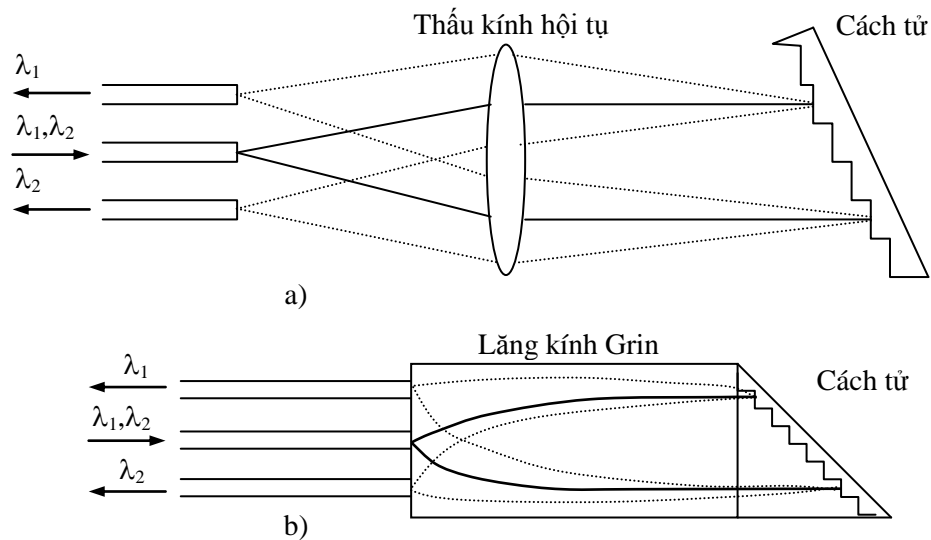
Cách tử nhiễu xạ là một thiết bị quang thụ động, nhiễu xạ chùm sáng tới theo các hướng khác nhau tùy theo góc tới của chùm sáng trên bề mặt cách tử, bước sóng của ánh sáng tới, các đặc tính thiết kế của cách tử, khoảng cách giữa các rãnh (chu kỳ cách tử), góc của rãnh cách tử Φ . Trên 1mm của cách tử có hàng chục hay hàng ngàn rãnh nhỏ, số rãnh trên một đơn vị chiều dài của cách tử được gọi là hằng số cách tử.

Người ta chế tạo cách tử bằng cách dùng một mũi kim cương nhọn rạch những đường song song cách đều trên một tấm thủy tinh phẳng. Chỗ bị rạch có tác dụng như những chắn sáng, chỗ còn lại có tác dụng như những khe sáng. Cách tử thu được bằng cách đó gọi là cách tử truyền xạ. Cách tử truyền xạ ngày nay dùng rất ít vì mũi kim cương mau mòn khi rạch lên thủy tinh hoặc thạch anh, khiến cho các khe cuối không còn rộng như khe đầu. Thay vào đó người ta sử dụng cách tử phản xạ bằng cách rạch lên bề mặt kim loại phủ trên thủy tinh, tạo ra các chắn sáng, phần còn lại phản xạ ánh sáng có tác dụng như các khe. Các lớp kim loại phủ thường là bạc hoặc nhôm, khá mềm nên mũi kim cương rất lâu mòn.

Tùy theo các bước sóng khác nhau mà cách tử nhiễu xạ ánh sáng theo các hướng khác nhau. Do vậy, chùm tia tới với nhiều bước sóng khác nhau sẽ được tách ra theo chiều hướng tùy thuộc vào bước sóng. Ngược lại các ánh sáng đơn sắc từ các hướng khác nhau cũng có thể được ghép lại thành một chùm sáng truyền theo cùng một hướng.

2.3.4. Các bộ tách ghép bước sóng sử dụng cách tử

Nói chung, các bộ ghép kênh hoặc tách kênh sử dụng cách tử gồm 3 phần chính: các phần tử vào và ra (là mảng sợi hoặc một sợi truyền dẫn với các thành phần thu - phát), phần tử hội tụ quang, phần tử tán sắc góc.



Hình 2.10: Bộ tách Littrow: a) Bộ tách bước sóng dùng thấu kính hội tụ, b) Bộ tách bước sóng dùng thấu kính Grin

Hình 2.10 a,b là bộ tách Littrow với cấu trúc cơ bản và cấu trúc thực tế sử dụng thấu kính Grin của bộ tách 2 kênh. Trong cấu hình này, cả tín hiệu ánh sáng đi vào và ánh sáng đi ra khỏi bộ ghép chỉ sử dụng một thấu kính, dùng thấu kính chuẩn trục hoặc thấu kính Grin.

2.3.5. Phương pháp ghép sợi

Phần trên ta xem xét các thành phần thiết bị vi quang đã được sử dụng rộng rãi cho các loại sợi đa mode, nhưng lại khó sử dụng cho sợi đơn mode bởi vì quá trình xử lý chùm sáng phải qua các giai đoạn như phản xạ, chuẩn trục, hội tụ,..., từ đó dẫn tới quang sai và các vấn đề trễ khác tạo ra suy hao tín hiệu quá lớn ở thiết bị. Thiết bị DWDM ghép sợi phù hợp hơn đối với các sợi đơn mode vì có thể tránh được quang sai, giảm trễ, giảm suy hao do các quá trình xử lý chùm sáng qua các đoạn phản xạ, chuẩn trục, hội tụ gây ra.

Nguyên lý hoạt động: khi lõi các sợi quang đặt gần nhau thì công suất quang từ một sợi sẽ chuyển vào các sợi khác.

Các thiết bị DWDM ghép sợi có thể có 2 dạng đó là: nung nóng chảy các sợi kề nhau và mài ghép chỗ tiếp xúc giữa các sợi.

2.3.5.1. Phương pháp ghép xoắn sợi và mài ghép

❖ Phương pháp ghép xoắn sợi

Các sợi được bện với nhau và được đặt dưới một nguồn nhiệt có điều khiển, sau khi các sợi đã đạt tới trạng thái mềm dẻo thì dùng lực kéo và xoắn các sợi lại với nhau làm cho các lõi sợi ghép lại gần nhau. Bằng cách điều khiển các yếu tố như: nhiệt độ, vùng được đốt nóng, các lực kéo và xoắn ta có thể thay đổi được kích cỡ, hình dạng và độ dài của vùng ghép. Do đó làm thay đổi được đặc tính của sợi.

Đối với các bộ ghép kiểu xoắn nóng chảy, người ta nhận thấy rằng khi tăng chiều dài ghép lên thì có khả năng tách được các bước sóng gần nhau hơn.

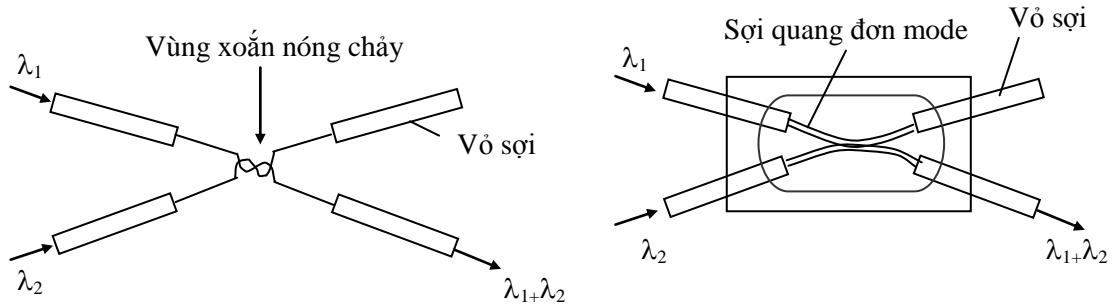
Trong cấu trúc nóng chảy, đoạn ghép được kéo dài cho đến khi giá trị ghép theo yêu cầu đạt được ở những bước sóng cố định. Ví dụ: ghép nóng chảy 1300/1550 nm có độ dài ghép 20 nm, suy hao xen nhỏ khoảng 0,04 dB.

❖ Phương pháp mài ghép sợi

Ở phương pháp này, hai sợi quang được đặt trong hai rãnh cong nằm trong hai khối thạch anh. Tiếp đó, người ta mài cho đến khi các lõi sợi này gần lộ ra và được đặt tiếp xúc với nhau qua một lớp dầu hay epoxy. Do đó, sự ghép nối có thể thực hiện được. Ở đây, hệ số ghép nối có thể đạt đến giá trị tùy ý bằng cách thay đổi khoảng cách giữa hai sợi hay sử dụng các vật liệu có chiết suất khác nhau giữa hai khối.

Ưu điểm chính của ghép đơn mode theo phương pháp mài ghép so với phương pháp nóng chảy là có thể điều hướng được bằng cách dịch chuyển vị trí tương đối của hai sợi với nhau. Ghép theo phương pháp nóng chảy thì giá thành hạ, vì vậy có thể kết hợp cả hai phương pháp để đạt được hiệu quả tối ưu.

Khi cần ghép nhiều hơn hai bước sóng thì phải ghép nối tiếp các bộ ghép. Hình vẽ là bộ ghép gồm 3 mối ghép nối tiếp ở các bước sóng 1320 nm, 1280 nm và 1200 nm.



Hình 2.11: a) Phương pháp ghép xoắn sợi; b) Phương pháp mài ghép sợi

2.3.5.2. Nhược điểm của phương pháp ghép sợi

Thực tế cho thấy, băng thông của các bộ ghép bước sóng dùng phương pháp ghép sợi có đặc tính gần như hình sin. Vì vậy khó khăn trong việc lựa chọn bước sóng của nguồn quang. Do đó, việc sử dụng LED đối với các phương pháp này là không thể được vì phổ của chúng quá lớn. Như vậy, chỉ có các Laser có độ rộng phổ hẹp được sử dụng để tránh suy hao cũng như xuyên âm giữa các kênh.

2.4. BỘ KHUẾCH ĐẠI QUANG SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ EDFA

2.4.1. Tổng quan về công nghệ EDFA

Bộ khuếch đại EDFA ra đời làm cho công nghệ truyền dẫn sợi quang phát triển nhanh chóng. Cho đến nay, EDFA đã được đưa vào khai thác và sử dụng ở hầu hết các hệ thống thông tin quang, chúng được dùng để thay thế các trạm lặp thông thường.

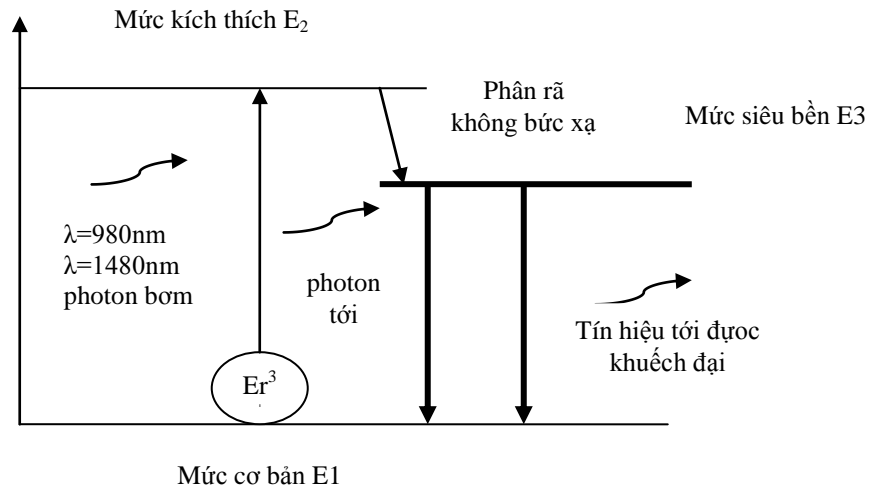
EDFA làm việc ở bước sóng 1550 nm với hệ số khuếch đại cao, công suất ra lớn và nhiễu thấp. Để cho các EDFA hoạt động trên các hệ thống thông tin quang thì cần có một nguồn bơm. Các Laser diode bán dẫn công suất cao là các nguồn bơm thực tế để cung cấp nguồn ánh sáng cho EDFA.

Hệ số khuếch đại của EDFA không bị ảnh hưởng do ảnh hưởng phân cực của ánh sáng, bởi vì bão hòa xảy ra trong EDFA tồn tại trong một thời gian khá dài, do đó không tạo ra nhiễu xuyên âm khi truyền tín hiệu tốc độ cao.

2.4.2 Nguyên lý hoạt động của EDFA

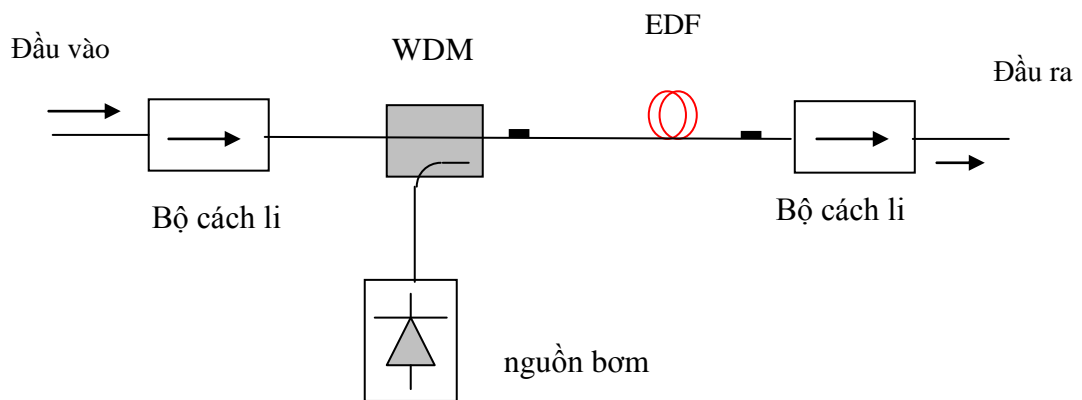
Khuếch đại quang sợi hiện nay chủ yếu dùng sợi pha tạp Erbium, viết tắt là EDFA (Erbium - Doped Fiber Amplifier). Nguyên lý khuếch đại được thực hiện nhờ cơ chế bức xạ trong ba mức hoặc bốn mức như sau.

EDFA có cấu trúc là một đoạn sợi quang mà lõi của chúng được cấy Er^{3+} với nồng độ ít hơn 0,1%. Khi một nguồn bơm photon bước sóng 980 nm hoặc 1480 nm được bơm vào lõi sợi đặc biệt này, các ion Er^{3+} này sẽ hấp thụ các photon đó một điện tử của nó chuyển mức năng lượng từ mức cơ bản E1 lên mức kích thích E2, do tồn tại một mức năng lượng siêu bền E3 ở giữa (xem giản đồ năng lượng), nên các điện tử này chuyển xuống mức năng lượng E3 theo cơ chế phân rã không bức xạ (thả không bức xạ xuống E3), sau một khoảng thời gian điện tử được kích thích này rơi trở lại mức E1 phát xạ ra photon. Hiện tượng bức xạ bình thường có thể là bức xạ tự phát (là cơ chế bình thường khi điện tử nhảy mức năng lượng), hoặc bức xạ sẽ xảy ra mạnh theo cơ chế bức xạ kích thích, tức là do sự có mặt của cá photon mang năng lượng bằng với năng lượng dịch chuyển mức của các điện tử (trong EDFA, thì đó là photon của tín hiệu cần được khuếch đại) sẽ kích thích sự phát ra và tạo ra thêm nhiều photon tỷ lệ với số photon của chùm sáng. Rất may là bức xạ này lại ở vùng bước sóng 1550 nm. Nhờ vậy tín hiệu được khuếch đại khi đi qua sợi pha tạp Erbium.



Hình 2.12: Giải đồ năng lượng của Erbium

Cấu trúc của một bộ khuếch đại quang sợi EDFA:



Hình 2.13: Cấu trúc một EDFA đơn tầng

2.4.3. Phân loại EDFA

Phụ thuộc và vị trí trong mạng quang, EDFA được chia thành: khuếch đại công suất OBA, khuếch đại đường quang OLA và tiền khuếch đại OPA.

OBA là thiết bị EDFA có công suất bão hòa lớn được sử dụng ngay sau Tx để tăng mức công suất tín hiệu. Do mức công suất ra tương đối cao nên tạp âm ASE có thể bỏ qua nên đối với BA không đòi hỏi phải có yêu cầu nghiêm ngặt trong việc sử dụng các bộ lọc tạp âm. Tuy nhiên, với mức công suất ra cao, việc sử dụng BA có thể gây ra một số hiện tượng phi tuyến. Các chức

năng OAM đối với BA có thể tách riêng hoặc chung với Tx. BA có thể tích hợp với Tx (gọi là OAT) hoặc tách riêng với Tx.

OPA là thiết bị EDFA có mức tạp âm rất thấp, được sử dụng ngay trước bộ thu (Rx) để tăng độ nhạy thu. Sử dụng PA, độ nhạy thu được tăng thêm đáng kể. Các chức năng OAM đối với PA có thể tách riêng hoặc chung với Rx. Để đạt được mức tạp âm ASE thấp, người ta thường sử dụng các bộ lọc quang băng hẹp (nên sử dụng các loại bộ lọc có khả năng điều chỉnh bước sóng trung tâm). PA có thể tích hợp với Rx (gọi là OAR) hoặc tách riêng với Rx.

OLA là thiết bị EDFA có mức tạp âm thấp được sử dụng trên đường truyền (giữa hai đoạn sợi quang) để tăng chiều dài khoảng lặp. Tùy theo chiều dài tuyến mà LA có thể được dùng để thay thế một số hay tất cả các trạm lặp trên tuyến. Đối với các hệ thống có sử dụng LA, đòi hỏi phải có một kênh thông tin riêng để thực hiện việc cảnh báo, giám sát và điều khiển các LA. Kênh giám sát này (OSC – Optical Supervise Channel) không được quá gần với bước sóng bơm cũng như kênh tín hiệu để tránh ảnh hưởng giữa các kênh này. Tại mỗi LA, kênh giám sát này được chèn thêm các kênh thông tin mới (về trạng thái LA, các thông tin về cảnh báo), sau đó được phát lại vào đường truyền. Về mặt lý thuyết, khoảng cách truyền dẫn lớn (cỡ vài nghìn km) có thể đạt được bằng cách chèn thêm LA vào đường truyền. Tuy nhiên, trong trường hợp trên tuyến có nhiều LA liên tiếp nhau, chất lượng hệ thống có thể suy giảm nghiêm trọng do có các hiện tượng như: tích lũy tạp âm, sự phụ thuộc của phổ khuếch đại vào tổng hệ số khuếch đại, ảnh hưởng của tán sắc, phân cực và các hiệu ứng phi tuyến, đặc biệt là việc hình thành đỉnh khuếch đại xung quanh một bước sóng nào đó dẫn đến việc thu hẹp dải phổ khuếch đại của LA.

So với thiết bị đầu cuối thông thường, việc sử dụng các thiết bị khuếch đại quang (BA, LA, PA) sẽ tăng quỹ công suất lên đáng kể. Với phổ khuếch đại tương đối rộng (khoảng 35 nm), khả năng khuếch đại không phụ thuộc

vào tốc độ và dạng tín hiệu, sử dụng khuếch đại quang rất thuận lợi trong việc nâng cấp tuyến (tăng tốc độ hoặc thêm kênh bước sóng).

Nhìn chung, sử dụng khuếch đại quang có thể bù lại suy hao trong hệ thống. Như vậy, những hệ thống trước đây bị hạn chế về suy hao thì nay có thể lại bị hạn chế về tán sắc. Trong trường hợp đó, phải sử dụng một số phương pháp để giảm bớt ảnh hưởng của tán sắc, ví dụ như sử dụng sợi bù tán sắc hay các nguồn phát có độ rộng phổ hẹp kết hợp với điều chế ngoài...

Do đặc điểm khác nhau của các loại thiết bị khuếch đại quang nên mức ưu tiên sử dụng đối với từng loại cũng khác nhau. LA đòi hỏi phải có một kênh giám sát riêng, hơn nữa thêm các điểm trung gian vào trên đường truyền cũng làm cho việc bảo dưỡng trở nên phức tạp hơn. Do đó, mức ưu tiên sử dụng đối với LA là thấp nhất, chỉ trong trường hợp mà khi dùng cả BA và PA mà vẫn không đáp ứng nổi yêu cầu về công suất thì mới sử dụng LA.

Đơn giản nhất là việc sử dụng BA và PA để tăng quỹ đạo công suất. Tuy nhiên, do cấu hình của PA phức tạp hơn BA (vì phải sử dụng các bộ lọc quang băng hẹp để loại bỏ bớt tạp âm ASE) nên giữa BA và PA thì BA vẫn được ưu tiên sử dụng hơn.

Một trong các hạn chế của EDFA đối với hệ thống WDM là phổ khuếch đại không đồng đều, các bước sóng khác nhau sẽ được khuếch đại với các hệ số khác nhau, đặc biệt là sự tồn tại của đỉnh khuếch đại tại bước sóng 1530 nm. Hơn nữa, trong trường hợp trên tuyến có sử dụng nhiều EDFA liên tiếp thì sẽ hình thành một đỉnh khuếch đại khác xung quanh bước 1558 nm. Như vậy, với nhiều EDFA liên tiếp trên đường truyền, dải phổ khuếch đại sẽ bị thu hẹp lại (có thể từ 35 nm giảm xuống còn 10 nm hoặc hơn nữa, tùy thuộc vào số bộ khuếch đại quang liên tiếp nhau).

Hiện nay, để cân bằng hệ số khuếch đại của EDFA có thể sử dụng một số phương pháp sau:

Sử dụng bộ lọc để suy hao tín hiệu tại đỉnh khuếch đại: xung quanh bước sóng 1530 nm và xung quanh bước sóng 1558 nm (trong trường hợp có sử dụng nhiều EDFA liên tiếp trên đường truyền).

Hoặc điều chỉnh mức công suất đầu vào của các bước sóng sao cho tại đầu thu, mức công suất của tất cả các bước sóng này là như nhau.

Ngoài ra, trong trường hợp sử dụng nhiều EDFA liên tiếp trên đường truyền, một vấn đề nữa cũng cần phải xem xét là tạp âm ASE trong các bộ khuếch đại quang: tạp âm ASE trong bộ khuếch đại quang phía trước sẽ được khuếch đại bởi bộ khuếch đại quang phía sau. Sự khuếch đại và tích lũy tạp âm này sẽ làm cho tỷ số S/N của hệ thống bị suy giảm nghiêm trọng. Nếu mức công suất tín hiệu vào là quá thấp, tạp âm ASE có thể làm cho tỷ số S/N bị giảm xuống tới mức cho phép. Tuy nhiên, nếu mức công suất tín hiệu vào là quá cao thì tín hiệu này kết hợp với ASE có thể gây hiện tượng bão hòa ở bộ khuếch đại.

Theo tạp chí Lightwave tháng 11-1999 đã có một cải tiến đáng kể trong việc san bằng và mở rộng phổ khuếch đại của bộ khuếch đại quang. Đó là sự ra đời của bộ khuếch đại có tên là EDTFA (Erbium Doped Tellurite - Based Fiber Amplifier).

Về bản chất, EDTFA giống như EDFA hay EDSFA, chỉ khác là EDSFA dựa trên nền bán dẫn Silic, còn EDTFA dựa trên nền bán dẫn Telurium. EDTFA cho phép mở rộng phổ khuếch đại lên tới 90 nm từ bước sóng 1530 nm - 1620 nm (so với 35 nm của EDSFA).

2.5. BỘ XEN/RỄ KÊNH QUANG OADM

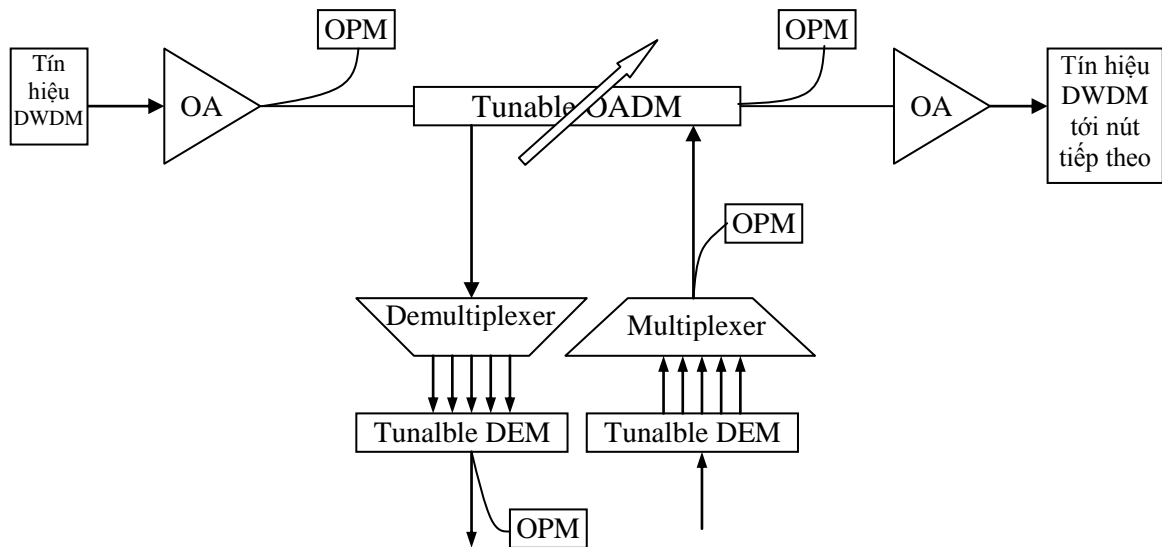
OADM là một thiết bị được sử dụng trong các hệ thống ghép kênh phân chia theo bước sóng để hạ một kênh bước sóng từ sợi quang xuống, định tuyến tín hiệu sang một mạng khác hoặc ghép thêm một hay nhiều bước sóng vào luồng tín hiệu quang truyền đi trên sợi quang.

OADM là node mạng có vai trò rất quan trọng trong mạng DWDM, làm cho mạng quang DWDM trở nên linh hoạt và đơn giản hơn nhiều với nhiều cấu hình mạng khác nhau.

Chức năng của 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. Trong các node 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 node hoặc một số bước sóng quang được ghép vào luồng tín hiệu trên sợi tại node đó.

Điểm node OADM có thể chia làm hai loại: điểm node OADM tĩnh và điểm node OADM động. Trong điểm node OADM tĩnh, thực hiện việc xen/rẽ các bước sóng cố định. Trong điểm node OADM động, có thể căn cứ vào nhu cầu để chọn tín hiệu quang có bước sóng xen/rẽ nhau.

Hầu hết các chức năng chính của mạng quang được thực hiện tại node OADM. Mô hình chung của một node OADM gồm các phần tử như: modul xen/rẽ bước sóng có thể điều chỉnh được, các modul bù tán sắc điều chỉnh theo từng kênh DEM (Dispersion Equalizer Module), các thiết bị giám sát quang OPM (Optical Performance Monitor). Mỗi modul 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 2.14: Sơ đồ vị trí các thiết bị trong một node OADM

Thiết bị OADM như trên hình 2.14 có thể cho phép xen/rẽ một kênh bước sóng đơn hoặc nhiều kênh bước sóng đồng thời. Trong tương lai, khi vai trò của lớp chuyên 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. 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 mang này nhằm mục đích cân bằng lưu lượng giữa các nhánh của mạng để đạt hiệu quả cao nhất cho mạng lưới, từ đó cải thiện được hiệu quả truyền thông.

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 hệ thống 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 lọc tương đối tốt.

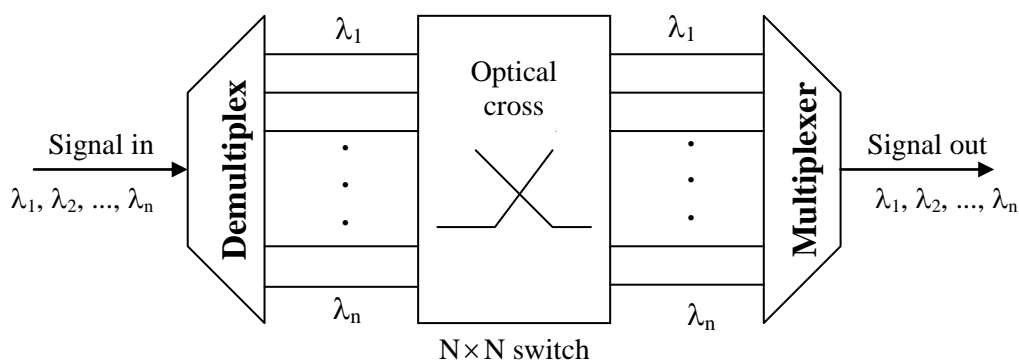
Module OPM (Optical Performance Monitor) có nhiệm vụ đo đạc các thông số của kênh như: bước sóng làm việc, công suất của kênh, tỷ số S/N, số lượng kênh đang hoạt động, khoảng cách giữa các kênh độ khuếch đại và độ gọn khuếch đại...nhằm mục đích giám sát rồi thông báo cho module điều khiển hiệu chỉnh 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.

2.6. BỘ KẾT NỐI CHÉO QUANG OXC

Chức năng của điểm node 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 mạng 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 node OXC được chia ra thành điểm node OXC động và điểm node OXC tĩnh. Trong điểm node OXC tĩnh, trạng thái nối 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 node OXC động, trạng thái nối 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.

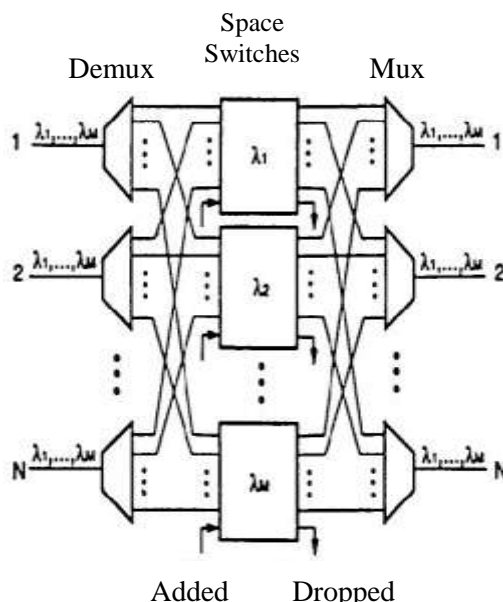
Trong điểm node OXC, kỹ thuật biến đổi bước sóng là rất quan trọng vì nó giúp giảm nghẽn của mạng lưới, thực hiện kết nối định tuyến ảo và vận dụng tối đa tài nguyên băng tần của sợi quang.



Hình 2.16: OXC với ma trận chuyển mạch N x N

Sự phát triển của mạng quang DWDM đòi hỏi định tuyến bước sóng quang động để có thể thay đổi cấu hình mạng linh hoạt mà vẫn giữ được bản chất “trong suốt” của mạng. Chức năng này được đảm bảo bằng việc ứng dụng các bộ đầu nối chéo quang OXC. Có hai loại OXC là: OXC chuyển mạch không gian và OXC định tuyến bước sóng.

Cấu trúc OXC chuyển mạch không gian gồm N cổng vào, mỗi cổng thu một tín hiệu DWDM chứa M kênh bước sóng. Bộ tách bước sóng sẽ chia tín hiệu thành các bước sóng riêng biệt và phân phối chúng tới M bộ chuyển mạch quang. Đây là các bộ chuyển mạch không gian, mỗi bộ chuyển mạch thu được N tín hiệu đầu vào có cùng một bước sóng. Một đầu vào và một đầu ra khác của bộ chuyển mạch được thêm vào để cho phép xen/rẽ các kênh đặc thù. Các bộ chuyển mạch sẽ chuyển các tín hiệu tới đầu ra tương ứng để ghép thành M bước sóng hình thành một đường tín hiệu DWDM. Mỗi OXC như vậy cần N bộ ghép sóng, N bộ tách sóng quang và $(N+1) \times (N+1)$ bộ chuyển mạch quang. Bộ chuyển mạch thường được sử dụng là ống dẫn sóng N đầu vào và N đầu ra.



Hình 2.17: Bộ kết nối chéo chuyển mạch không gian

Cấu trúc OXC chuyển mạch theo nguyên tắc chuyển đổi bước sóng quang. Đầu tiên, mỗi tín hiệu quang từ một sợi được phân chia với số nhánh bằng tổng số kênh quang cần lấy ra tại đầu ra nhờ bộ tách. Sau đó, chúng được đưa tới bộ chuyển mạch quang để lấy ra tín hiệu cần thiết. Tín hiệu được lựa chọn ra lại tiếp tục qua bộ lựa chọn bước sóng, tách ra bộ kênh quang yêu cầu để đưa chúng vào đúng bước sóng quang cần ghép đầu ra.

2.7. KHỐI BÙ TÁN SẮC

Bên cạnh suy hao của sợi, tán sắc cũng là một hiệu ứng giới hạn khoảng cách truyền trong tuyến thông tin quang. Trong truyền dẫn quang, hiệu ứng tán sắc tăng tuyến tính với độ dài và độ rộng phổ nguồn quang và là nguyên nhân gây méo xung. Thiết bị bù tán sắc đưa ra một mức tán sắc bằng và ngược lại để điều chỉnh sự giãn xung ánh sáng.

Sợi bù tán sắc (DCF – Dispersion Compensate Fiber) là loại sợi đặc biệt mà bước sóng của ánh sáng ở vùng cửa sổ 1550 nm có hệ số tán sắc không âm với khoảng 80 ps/(nm.km). Do đó, 1 km sợi DCF có thể bù tán sắc cho 5 km sợi đơn mode, khi hệ số tán sắc của sợi đơn mode là 17 ps/(nm.km). Hệ số tán sắc của sợi DCF cũng thay đổi theo tần số như sợi SFM, do đó

không thể có khả năng bù tán sắc tốt nếu dải tần số mở rộng. Suy hao của sợi DCF có giá trị cỡ 0,6 dB/km và lớn hơn sợi SFM.

2.8 CÁC LOẠI SỢI QUANG SỬ DỤNG TRONG CÔNG NGHỆ DWDM

2.8.1. Sợi quang G.652

Đây là sợi quang đơn mode được sử dụng rộng rãi hiện nay, còn gọi là sợi đơn mode không thay đổi vị trí tán sắc, nó có thể làm việc ở hai cửa sổ truyền dẫn 1310 nm và 1550 nm. Khi làm việc ở cửa sổ 1310 nm, G.652 có tán sắc nhỏ nhất ≈ 0 ps/(nm.km) và suy hao tương đối lớn. Ngược lại, khi làm việc ở cửa sổ 1550 nm, G.652 có suy hao nhỏ nhất (0.19 dB/km) nhưng hệ số tán sắc tương đối lớn ≈ 20 ps/(nm.km), chỉ số PMD nhỏ hơn 0.1 ps/(nm.km). Do đó, với những hệ thống DWDM với tốc độ mỗi kênh 2.5 Gbps thì sử dụng tốt, tuy nhiên, nếu tốc độ mỗi kênh lớn hơn 10 Gbps thì không thể sử dụng được sợi quang G.652.

2.8.2. Sợi quang G.653

Muốn xây dựng tuyến thông tin quang tốc độ cao mà cự ly dài thì phải sử dụng sợi quang có suy hao và tán sắc tối ưu tại một bước sóng nào đó. Hiện nay, bằng cách thay đổi mặt cắt chiết suất có thể chế tạo được sợi tán sắc dịch chuyển, tức là sợi có tán sắc và suy hao tối ưu ở cùng một bước sóng. Sợi G.652 có tán sắc lớn ở dải sóng từ 1500 - 1600 nm, do vậy khó áp dụng vào hệ thống DWDM tốc độ cao. Sợi dịch chuyển tán sắc DSF hay còn gọi là sợi G.653, nó dịch chuyển vùng tán sắc bằng không từ 1310 nm đến vùng 1550 nm, tại đó tán sắc sợi quang là nhỏ nhất. G.653 sử dụng tốt trong dải sóng từ 1500 - 1600 nm vì tán sắc nhỏ. Tuy nhiên, trong hệ thống DWDM với mật độ kênh bước sóng cao thì DSF lại gặp phải hiệu ứng phi tuyến rất nghiêm trọng, cụ thể là hiệu ứng trộn bốn bước sóng nên ít được sử dụng trong DWDM tốc độ siêu cao.

Hệ số suy hao của sợi DSF thường nhỏ hơn 0.5 dB/km ở cửa sổ 1300nm và nhỏ hơn 0.3 dB/km ở cửa sổ 1550nm. Hệ số tán sắc ở vùng bước

sóng 1550nm khoảng 20 ps/(nm.km), còn ở vùng bước sóng 1300nm nhỏ hơn 3.5 ps/(nm.km). Bước sóng cắt thường nhỏ hơn 1270nm.

2.8.3. Sợi quang G.654

G.654 là sợi quang đơn mode tới hạn thay đổi vị trí bước sóng cắt. Loại sợi này có đặc điểm: suy hao ở bước sóng 1550 nm rất nhỏ vì lõi sợi làm bằng Silic nguyên chất. Nó có thể truyền các kênh mức công suất cao, tuy nhiên nó vẫn có tán sắc lớn tại vùng bước sóng 1550 nm. Điểm tán sắc bằng không vẫn ở bước sóng 1310 nm. G.654 được sử dụng chủ yếu trong các tuyến cáp quang biển cự ly lớn.

2.8.4. Sợi quang G.655

G.655 hay còn gọi là sợi quang dịch chuyển tán sắc khác không (NZ-DSF), điểm tán sắc bằng không của nó không nằm ở 1550 nm mà dịch tới 1570 nm hoặc gần 1510 - 1520 nm. Giá trị tán sắc trong phạm vi 1548 - 1565 nm là ở 1 - 4 ps/(nm.km) đủ để đảm bảo tán sắc không bằng không, trong khi vẫn duy trì được tán sắc tương đối nhỏ.

Sợi quang G.655 có ưu điểm của cả hai loại sợi quang G.652 và G.653, đồng thời khắc phục được những điểm yếu cố hữu của sợi G.652 (bị hạn chế bởi tán sắc) và sợi G.653 (bị ảnh hưởng bởi hiệu ứng phi tuyến “trộn bốn bước sóng” nên khó áp dụng được vào mạng DWDM). Đối với G.655 thì các hiệu ứng phi tuyến như FWM, XPM và FPM là nhỏ nhất. Sợi NZ-DSF sử dụng rất tốt trong hệ thống DWDM siêu tốc, tuy giá thành nó hiện còn cao nhưng đổi lại hệ thống giảm đi bộ bù tán sắc.

Có hai loại sợi: sợi NZ-DSF là sợi NZ₋ (dịch chuyển vùng tán sắc không tới trước bước sóng 1550 nm) và sợi NZ₊ dịch chuyển vùng tán sắc không tới sau bước sóng 1550 nm.

Về mặt lý thuyết đã chứng minh tốc độ truyền dẫn quang của sợi quang NZ-DSF có thể đạt được ít nhất 80 gbps. Vì vậy sợi NZ-DSF có thể đạt được ít nhất 80 Gbps. Vì vậy, sợi NZ-DSF là lựa chọn lý tưởng để thiết kế tuyến truyền dẫn tốc độ cao, cự ly dài.

Chương 3

THIẾT KẾ TUYẾN THÔNG TIN QUANG DWDM

3.1. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN VIỆC THIẾT KẾ HỆ THỐNG

Để triển khai được công nghệ DWDM trên mạng có rất nhiều vấn đề được đặt ra, trong đó có vấn đề thiết kế tuyến. Với các tuyến đơn kênh quang (chỉ có một kênh bước sóng), việc thiết kế tuyến tương đối đơn giản, ngược lại đối với các tuyến DWDM, việc thiết kế trở nên phức tạp hơn nhiều, đòi hỏi phải hiểu rõ về các giới hạn do suy hao, tán sắc, quỹ công suất, quỹ thời gian lên và các hiện tượng phi tuyến trong sợi quang tạo ra. Do tính chất của sợi quang phụ thuộc vào bước sóng, nên việc chọn lựa bước sóng hoạt động là một vấn đề quan trọng trong thiết kế.

Lúc đầu, **sự tổn hao** của sợi quang được xem là yếu tố lớn nhất trong việc hạn chế độ dài của mỗi kênh quang. Tuy nhiên, với tốc độ dữ liệu lớn, số xung chiếm ít hơn và ít khe thời gian. Tốc độ tán sắc và phi tuyến (SPM, XPM, FWM) là những vấn đề đáng quan tâm. Như đã biết, liên kết quang được thiết kế bởi hệ số phẩm chất đó là tỷ lệ lỗi bit (BER) của hệ thống. Thực tế, với mạng WDM, $BER = 10^{-12}$ ($10^{-9} - 10^{-12}$), nghĩa là tối đa có 1 trong 10^{12} bit bị lỗi trong quá trình truyền.

Sự tán sắc là sự mở rộng của một xung trong miền thời gian, thường do tác động lớn của quang phổ. Tác động có hại của sự mở rộng xung là ISI. Nếu giả sử ISI không bao giờ xảy ra thì vẫn có một lượng nhỏ tán sắc có hại tác động vào.

Bằng việc đặt các bộ khuếch đại quang có thể làm nâng cao hiệu suất của tín hiệu quang để tách quang. Cường độ của sóng điện từ truyền qua sợi quang dẫn đến phi tuyến. Chiết suất có thành phần phi tuyến phụ thuộc vào mức tín hiệu. Phi tuyến tạo ra sự dịch pha phi tuyến ϕ_{NL} :

$$\phi_{NL} = \bar{\gamma} \frac{[1 - e^{-\alpha L}]}{\alpha} \quad (3.1)$$

$$\bar{\gamma} = \frac{n_2 W_0}{c A_{eff}} \quad (3.2)$$

Trong đó: $\bar{\gamma}$ là hệ số phi tuyến

n_2 là hệ số vô

A_{eff} là diện tích mặt cắt ngang của lõi

Trong thông tin quang, lightpath cần được thiết kế giữ ở mức dịch pha cho phép lớn nhất $\phi_{NL} < 1$. Điều chế tự dịch pha (SPM) không hoạt động một mình mà thường hoạt động cùng với vận tốc nhóm (GVD) tương ứng qua độ dài của sợi quang. Công suất kênh đầu vào cần được tối ưu hóa để đảm bảo độ tán sắc. Theo toán học, độ dịch pha được biểu diễn:

$$\phi_i^{NL} = \gamma \left[\frac{1 - e^{-\alpha L}}{\alpha} \right] \left[P_i + 2 \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^W P_k \right] \quad (3.3)$$

Trong đó: W là tổng số các kênh

P_k là công suất của kênh k^{th}

Độ dịch pha lớn nhất (cho 1 bit) là:

$$\phi_{max}^{NL} = \left[\frac{\bar{\gamma}}{\alpha} \right] [2W - 1] P_i \quad (3.4)$$

Quỹ công suất: Mục đích của quỹ công suất là bảo đảm công suất đến máy thu đủ lớn để duy trì hoạt động tin cậy trong suốt thời gian sống của hệ thống. Quỹ công suất của tuyến có thể xem như là công suất tổng P_T nằm giữa nguồn phát quang và bộ tách sóng quang. Suy hao tổng này bao gồm suy hao sợi, suy hao bộ nối quang, suy hao mỗi hàn và dự phòng cho hệ thống.

Nếu gọi P_S là công suất quang của nguồn phát được đưa vào đầu ghép sợi và P_R là độ nhạy của bộ thu quang thì:

$$P_T = P_S - P_R = 2l_C + \alpha_f \cdot L + \text{dự phòng hệ thống} \quad (3.23)$$

Trong đó: l_c là suy hao bộ nối quang

α_f là suy hao sợi

L là cự ly truyền dẫn

Quỹ thời gian lên: Mục đích của quỹ thời gian lên là bảo đảm rằng hệ thống có khả năng hoạt động đúng ở tốc độ bit mong muốn. Thời gian lên tổng cộng của toàn hệ thống có thể lấy gần đúng như sau:

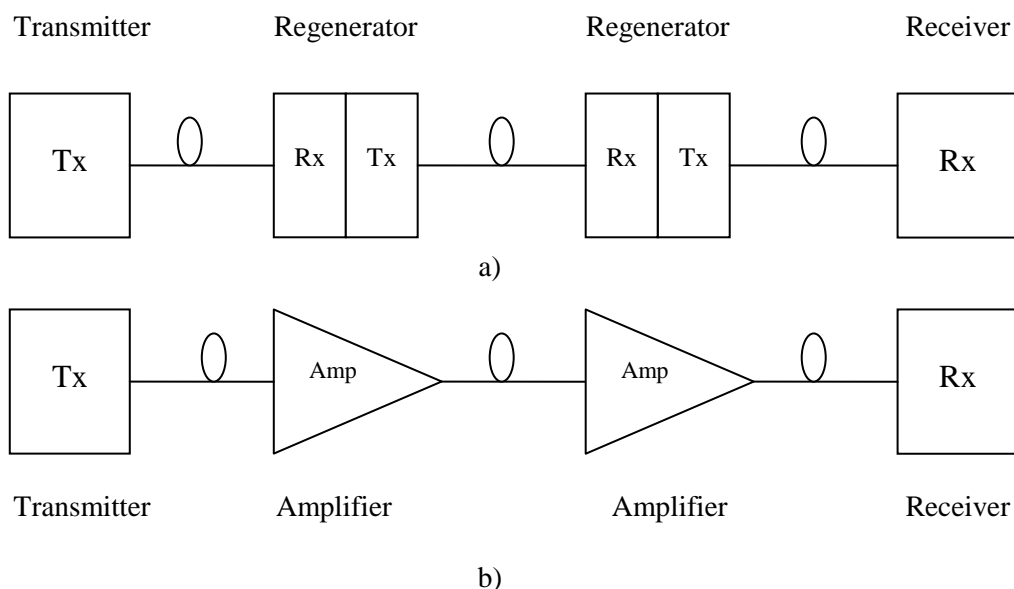
$$T_r^2 = (T_{tr}^2 + T_{fiber}^2 + T_{rec}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Trong đó: T_{tr} , T_{fiber} và T_{rec} là các thời gian lên tương ứng với máy phát, sợi quang và máy thu. Thời gian lên của máy phát và máy thu thường được biết khi thiết kế hệ thống.

3.2. THIẾT KẾ TUYẾN ĐIỂM - ĐIỂM

Tuyến điểm - điểm là loại kiến trúc đơn giản nhất của hệ thống thông tin quang. Vai trò của chúng là chuyển tải thông tin trong dạng luồng số bit từ một nơi này đến một nơi khác một cách chính xác nhất có thể được. Chiều dài tuyến có thể thay đổi từ nhỏ hơn 1 km (cự ly ngắn) đến hàng ngàn km (cự ly dài), phụ thuộc vào ứng dụng.

Khi chiều dài tuyến vượt quá một giá trị nào đó, nằm trong khoảng từ 20 - 100 km phụ thuộc vào bước sóng công tác, cần thiết phải bù đắp các suy hao trong sợi quang, ngược lại tín hiệu có thể quá yếu để có thể tách ra ở phía thu.



Hình 3.1: Các tuyến điểm-điểm có bù suy hao định kỳ bằng cách a) sử dụng các trạm tái tạo ; b) sử dụng khuếch đại quang

Hình 3.1 trình bày hai sơ đồ thường sử dụng bộ suy hao quang. Các bộ lặp quang điện còn được gọi là trạm tái tạo bởi vì chúng tái tạo lại tín hiệu quang. Hình 3.1a), bộ tái tạo là một cặp thu - phát tách tín hiệu quang đến, khôi phục lại bit điện rồi chuyển đổi ngược lại thành tín hiệu quang bằng cách điều chế một nguồn quang.

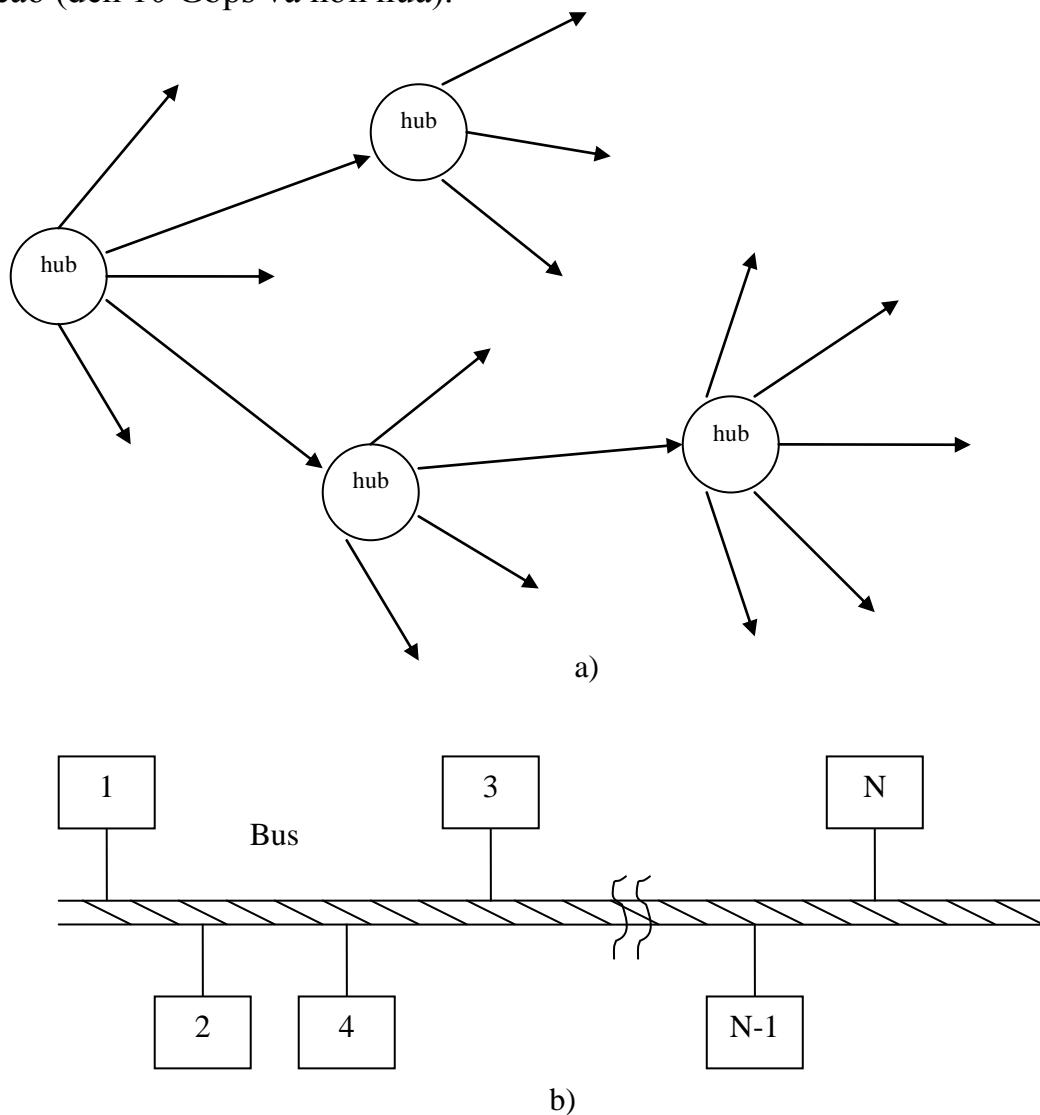
Các bộ khuếch đại quang giải quyết vấn đề suy hao nhưng chúng bổ sung thêm nhiễu và làm trầm trọng thêm ảnh hưởng của tán sắc và các hiệu ứng phi tuyến bởi vì sự suy giảm tín hiệu sẽ được tích lũy ở các tầng khuếch đại. Thực tế, các hệ thống thông tin quang được khuếch đại một cách định kỳ thường bị giới hạn bởi tán sắc trừ khi các kỹ thuật bù tán sắc được sử dụng. Các bộ lặp quang điện không bị ảnh hưởng bởi vấn đề này bởi vì chúng tái tạo lại các luồng bit ban đầu, do đó bù trừ hiệu quả tất cả các nguồn suy giảm tín hiệu một cách tự động. Để thay thế cho bộ lặp quang điện tử, bộ tái tạo quang phải thực hiện ba chức năng tương tự - tái tạo (regenerator), sửa dạng (reshaping) và định thời lại (retiming) tín hiệu, nên được gọi là bộ lặp 3R.

Khoảng cách L giữa các bộ tái tạo hoặc bộ khuếch đại quang thường được gọi là khoảng lặp (repeater spacing) là một tham số thiết kế chủ yếu vì

giá thành hệ thống giảm khi L tăng nhưng tán sắc khoảng cách L phụ thuộc vào tốc độ bit B. Tính tốc độ bit - khoảng cách, thông thường được sử dụng như là thước đo chất lượng của các tuyến điểm - điểm. Tích BL phụ thuộc vào bước sóng hoạt động vì cả suy hao và tán sắc trong sợi quang đều phụ thuộc vào bước sóng.

3.3. MẠNG QUANG BÁ VÀ PHÂN BỐ

Nhiều ứng dụng của hệ thống thông tin quang đòi hỏi thông tin không chỉ được truyền đi mà còn phải được phân bố đến một nhóm thuê bao. Các mạng phân bố có khoảng cách truyền là ngắn (< 50 km) nhưng tốc độ bit có thể cao (đến 10 Gbps và hơn nữa).



Hình 3.2: a) Topo hub ;b) Topo bus dành cho mạng phân bố

Trong trường hợp topo hub, phân bố kênh đặt ở vị trí trung tâm (hay các hub), nơi mà thiết kế kết nối chéo tự động chuyển mạch các kênh trong miền điện. Những mạng như vậy được gọi là mạng đô thị (MAN) bởi vì các hub thường được đặt ở các thành phố lớn. Vai trò của sợi quang tương tự như trường hợp đối với tuyến điểm - điểm bởi vì băng thông của sợi thông thường lớn hơn yêu cầu bởi một trạm hub riêng biệt, một vài trạm có thể chia sẻ cùng một sợi quang được xuất phát cho hub chính. Vấn đề cần quan tâm đối với mô hình hub là sự gián đoạn cáp quang có thể ảnh hưởng đến dịch vụ đối với phần lớn mạng. Có thể sử dụng các tuyến nối điểm - điểm bổ sung nối các hub quan trọng trực tiếp với nhau để bảo vệ chống lại sự cố này.

Trong trường hợp topo bus, một sợi quang mang tín hiệu quang đa kênh suốt cả vùng dịch vụ. Sự phân bố được thực hiện bằng cách sử dụng các nối phân nhánh quang (optical tap), có tác dụng làm chệch hướng một phần nhỏ công suất quang đến mỗi thuê bao. Một vấn đề với topo bus là suy hao tín hiệu tăng theo hàm mũ với số lượng nối phân nhánh và số lượng thuê bao được phục vụ bởi một bus quang. Khi suy hao sợi có thể bỏ qua, công suất nối ở phân nhánh thứ N là:

$$P_N = P_T C [(1 - \delta)(1 - C)]^{N-1} \quad (3.5)$$

Trong đó: P_N là công suất phát

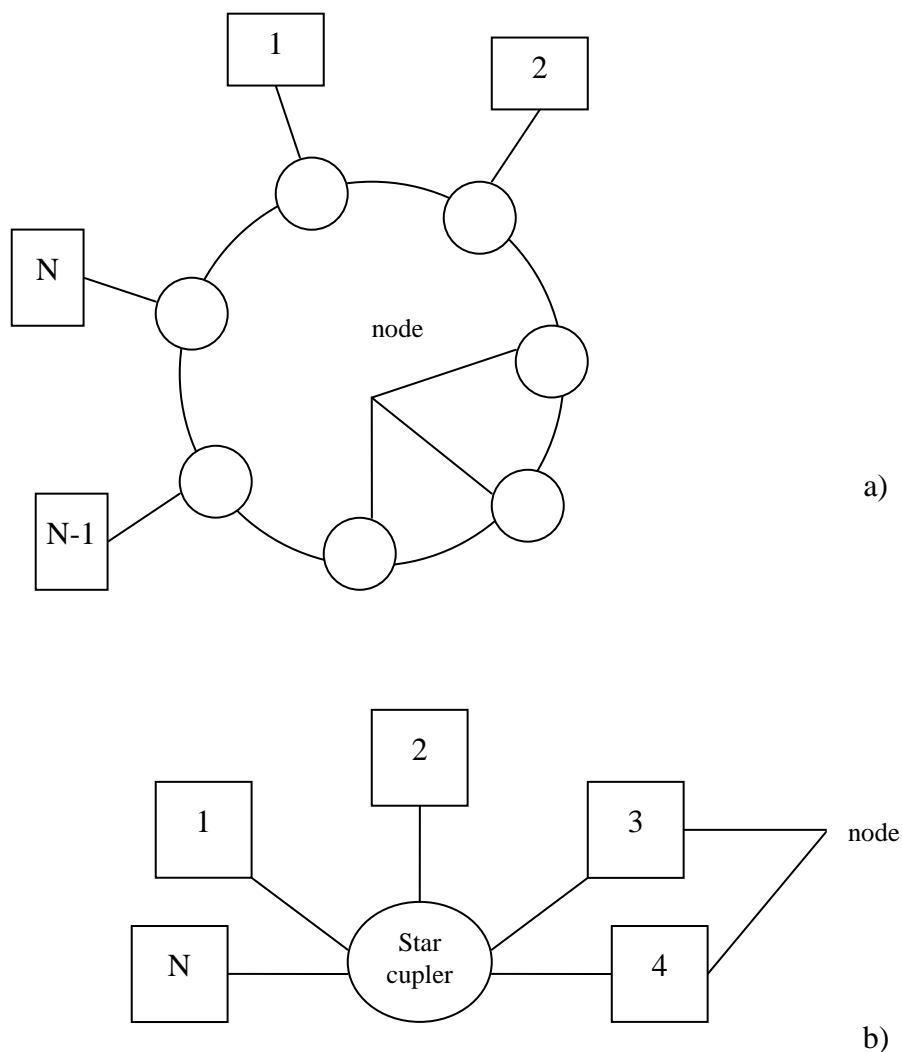
C là phần công suất được tách ra trên mỗi nối phân nhánh

δ là suy hao xen được giả định là như nhau tại mỗi nối phân nhánh.

Một giải pháp cho vấn đề này là sử dụng bộ khuếch đại quang có thể làm tăng công suất quang một cách định kỳ, do đó sự cho phép phân bố đến một số lượng lớn các thuê bao dài cho đến khi ảnh hưởng của tán sắc còn có thể bỏ qua.

3.4. MẠNG CỤC BỘ LAN

Nhiều ứng dụng của công nghệ truyền dẫn quang đòi hỏi các mạng trong đó phần lớn người dùng trong mạng cục bộ được kết nối với nhau theo cách mà bất kỳ người dùng nào cũng có thể truy nhập mạng một cách ngẫu nhiên để truyền dữ liệu đến những người dùng khác. Các mạng này được gọi là các mạng cục bộ (LAN). Các mạng truy nhập quang được sử dụng trong vòng thuê bao nội hạt cũng thuộc loại này. Do khoảng cách truyền dẫn tương đối ngắn (<10 km), suy hao trên sợi quang đáng quan tâm đối với các ứng dụng trên mạng LAN, động cơ chính thúc đẩy việc sử dụng sợi quang chính là băng thông rộng.



Hình 3.3: Cấu trúc a) mạng vòng ;b) mạng hình sao trong mạng LAN

Trong topo vòng, các node liên kết được kết nối bằng các tuyến điểm - điểm hình thành một vòng khép kín. Mỗi node có truyền hoặc nhận dữ liệu bằng cách sử dụng một cặp máy phát - thu, có thể hoạt động như một trạm lặp. Một thẻ token được truyền quanh vòng. Mỗi node sẽ giám sát luồng bit để lắng nghe địa chỉ riêng và nhận dữ liệu. Nó cũng có thể truyền bằng cách nối vào một thẻ rỗng.

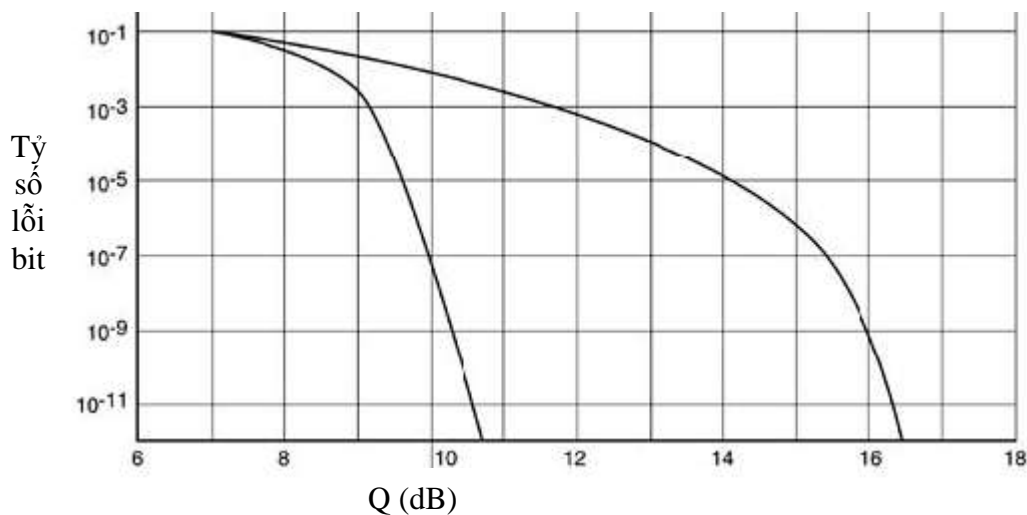
Trong cấu hình sao, tất cả các node được kết nối đến node trung tâm gọi là hub hay đơn giản là hình sao bằng các liên kết điểm - điểm. Các mạng LAN như vậy tiếp tục phân loại nhỏ hơn thành các mạng hình sao tích cực hay thụ động, phụ thuộc vào node trung tâm là thiết bị thụ động hay tích cực. Đối với cấu hình sao được hình thành từ các bộ coupler định hướng, công suất còn giảm hơn nữa do suy hao xen và được tính như sau:

$$P_N = (P_T/N)(1 - \delta)^{\log_2 N} \quad (3.6)$$

Trong đó: δ là suy hao xen của mỗi coupler định hướng

3.5. THIẾT KẾ MẠNG ĐIỂM - ĐIỂM DỰA TRÊN HỆ SỐ Q VÀ OSNR

Để thiết kế một mạng bắt buộc phải thiết kế hệ thống có tỷ số lỗi bit BER cho trước.



Hình 3.4: Quan hệ của Q với BER

$$\text{Ta có: } Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_0 + \sigma_1} \quad (3.7)$$

Trong đó: I_1 là giá trị của dòng bit 1

I_0 là giá trị của dòng bit 0

σ_1 là độ lệch chuẩn của dòng bit 1

σ_0 là độ lệch chuẩn của dòng bit 0

Mối quan hệ của hệ số Q với BER:

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \quad (3.8)$$

3.5.1. Cách tính hệ số Q từ OSNR

OSNR là tham số quan trọng nhất được kết hợp với tín hiệu quang. Đó là một đại lượng đo được.

$$Q_{\text{dB}} = 20 \log \sqrt{\text{OSNR} \sqrt{\frac{B_0}{B_e}}} \quad (3.9)$$

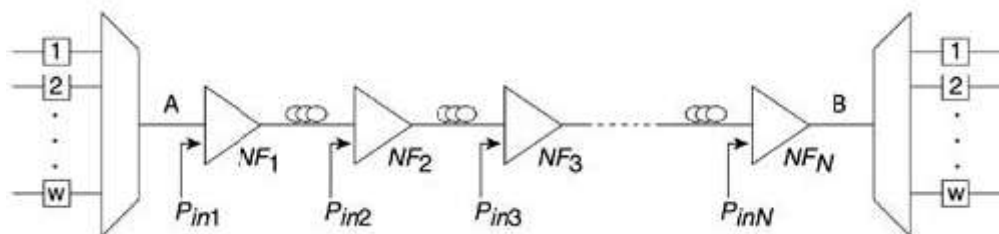
$$Q_{\text{dB}} = \text{OSNR} + 10 \log \frac{B_0}{B_e} \quad (3.10)$$

Trong đó: B_0 là dải quang của thiết bị cuối (tách quang)

B_e là dải điện của bộ lọc thu

3.5.2. Cách tính OSNR cho mạng điểm - điểm

Xét đường AB. Khuếch đại được đặt theo chu kỳ với khoảng cách lặp lại để nâng cao công suất tín hiệu lên. Mỗi lần khuếch đại, nó là thành phần riêng của nhiễu khuếch đại phát xạ tức thời và làm giảm bớt OSNR. Mỗi bộ khuếch đại sẽ vẫn khuếch đại tạp âm hiện tại.



Hình 3.5: Khuếch đại đa miền trong mạng điểm-điểm

Dựa trên OSNR để thiết kế phải đảm bảo OSNR ở mức cuối phù hợp với hệ thống OSNR, do đó BER mới đạt yêu cầu.

OSNR ở mỗi mức là:

$$OSNR = \frac{P_{in}}{NF_{muc} h \nu \nabla f} \quad (3.11)$$

Trong đó: NF_{muc} là hệ số nhiễu của mức

h : hằng số Plank = 6.6260×10^{-34}

ν : tần số quang = 193 THz

∇f : dải thông được tính bằng NF (thường là 0.1 nm)

Tổng OSNR của toàn hệ thống:

$$\frac{1}{OSNR} = \frac{1}{OSNR_1} + \frac{1}{OSNR_2} + \dots + \frac{1}{OSNR_N} = \sum_i \frac{1}{OSNR_i} \quad (3.12)$$

Cho khuếch đại đơn có độ lợi G. Ta có:

$$OSNR = \frac{P_{in}}{P_{ASE}} = \frac{P_{in}}{2n_{sp}(G-1)h\nu\nabla f} \quad (3.13)$$

$$n_{sp} = \frac{N_2}{N_2 - N_1} \quad (3.14)$$

Trong đó: n_{sp} là hệ số phát xạ tự phát

N_2 : số hạt electron ở trạng thái cao hơn

N_1 : số hạt electron ở trạng thái thấp hơn

Hệ số phát xạ tự phát cũng được tính theo công thức:

$$n_{sp} = 0.5 \times 10^{\frac{NF}{10}} \quad (3.15)$$

Do đó:

$$OSNR_{db} = 1.5893 + P_{in} - \Gamma (db) - NF_{db} - 10\log N - 10\log \nabla f \quad (3.16)$$

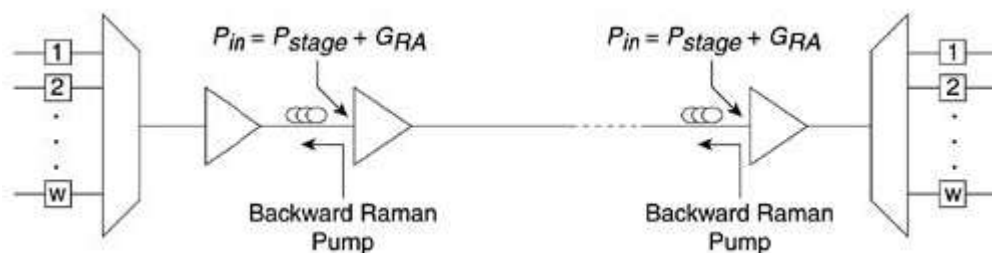
Cho $\nabla f = 0.1$ nm hay 12.5 GHz. Ta sẽ có:

$$OSNR_{db} = 58 + P_{in} - \Gamma (db) - NF_{db} - 10\log N \quad (3.17)$$

Trong đó: NF là hệ số nhiễu ở mỗi bộ khuếch đại là như nhau

Γ là hệ số chòng lấp

3.5.3. Tính toán OSNR bằng khuếch đại Raman



Hình 3.6: Khuếch đại Raman đa mức

OSNR của mức cuối được tính theo công thức:

$$\frac{1}{OSNR} = \sum_i \frac{1}{OSNR_{i(muc)}} + \sum_i \frac{1}{OSNR_{RA}} \quad (3.18)$$

$$OSNR_{i(muc)} = \frac{P_{in} G_{RA(i)}}{NF_i h \nu \Delta f} \quad (3.19)$$

3.6. QŨY THỜI GIAN LÊN

Mục đích của quỹ thời gian lên là bảo đảm rằng hệ thống có khả năng hoạt động đúng ở tốc độ bit mong muốn. Thậm chí, nếu dải thông của các thành phần riêng lẻ của hệ thống vượt quá tốc độ bit, vẫn có thể xảy ra trường hợp toàn hệ thống có thể không hoạt động được ở tốc độ bit đó. Thời gian lên T_r của một hệ thống tuyến tính được định nghĩa là thời gian trong khoảng đó đáp ứng tăng từ 10 - 90% của giá trị ngõ ra cuối cùng khi ngõ vào bị thay đổi đột ngột.

Trong một hệ thống tuyến tính, giữa dải thông Δf và thời gian lên T_r có mối quan hệ nghịch đảo. Ba thành phần của hệ thống thông tin quang có các thời gian lên riêng. Thời gian lên tổng cộng của toàn hệ thống có thể lấy gần đúng như sau:

$$T_r^2 = (T_{tr}^2 + T_{fiber}^2 + T_{rec}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.20)$$

Trong đó: T_{tr} , T_{fiber} và T_{rec} là các thời gian lên tương ứng với máy phát, sợi quang và máy thu. Thời gian lên của máy phát và máy thu thường được biết khi thiết kế hệ thống. Thời gian lên của máy phát T_{tr} được xác định chủ

yếu bởi các thành phần điện tử của mạch điều khiển và các phần tử ký sinh điện liên quan đến nguồn quang. Thường T_{tr} khoảng vài ns đối với máy phát sử dụng Led, nhưng có thể nhỏ hơn 0.1 ns đối với máy phát sử dụng Laser. Thời gian lên của máy thu T_{rec} được xác định chủ yếu bởi dải thông điện 3 dB sau tách quang.

Thời gian lên của sợi quang T_{fiber} :

$$T_{fiber}^2 = T_{mode}^2 + T_{chr}^2 \quad (3.21)$$

Trong đó: T_{mode} là tán sắc mode

T_{chr} là tán sắc màu trong sợi quang

3.7. YÊU CẦU VỀ QUỸ CÔNG SUẤT

Trong môi trường truyền dẫn cáp sợi quang, quỹ công suất là một yếu tố rất quan trọng nhằm đảm bảo cho hệ thống hoạt động bình thường. Mục đích của quỹ công suất là bảo đảm công suất đến máy thu đủ lớn để duy trì hoạt động tin cậy trong suốt thời gian sống của hệ thống.

Suy hao công suất trên toàn tuyến bao gồm: suy hao trên sợi dẫn quang, trên các bộ nối quang và tại các mối hàn. Tổng suy hao trên toàn tuyến nhận được từ các phân bố suy hao liên tiếp của từng phần tử trên tuyến. Suy hao của từng phần tử được tính:

$$A_{(dB)} = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (3.22)$$

Trong đó: P_1, P_2 là các công suất quang đầu vào và đầu ra của phần tử.

Ngoài các suy hao do các phần tử trên tuyến quang gây ra như đã nêu ở trên, ta còn phải có một lượng công suất quang dự phòng cho tuổi thọ của các thành phần, sự thay đổi nhiệt độ và các suy hao tăng lên ở các thành phần. Dự phòng cho tuyến thường thường từ **6 - 8 dB**. Chính vì vậy mà quỹ công suất của tuyến có thể xem như là công suất tổng P_T nằm giữa nguồn phát quang và bộ tách sóng quang. Suy hao tổng này bao gồm suy hao sợi, suy hao bộ nối quang, suy hao mối hàn và dự phòng cho hệ thống.

Nếu gọi P_S là công suất quang của nguồn phát được đưa vào đầu ghép sợi và P_R là độ nhạy của bộ thu quang thì:

$$P_T = P_S - P_R = 2l_C + \alpha_f \cdot L + \text{dự phòng hệ thống} \quad (3.23)$$

Trong đó: l_C là suy hao bộ nối quang

α_f là suy hao sợi

L là cự ly truyền dẫn

Ở đây, suy hao do mỗi hàn l_{SP} được gán vào trong suy hao sợi để đơn giản phép tính.

Hai bảng sau đưa ra các thành phần tổn hao và quỹ dự phòng của chúng:

Thành phần	Mức tổn hao	Bước sóng dựa vào tổn hao	Phân cực dựa vào tổn hao	Nhiều xuyên kênh
Ghép/tách kênh (AWG)	5 dB	<1 dB	0.1 dB	-40 dB
Chuyển mạch xen/rẽ quang 2x2	1.2 dB	< 0.2 dB	0.1 dB	-40 dBm
Coupler thụ động	3 dB	-	-	-
Bộ lọc màng mỏng	1 dB	0.1 dB	-	-40 dBm
Bộ lọc AOTF/MZI	1 dB	0.1 dB	-	-35 dBm
Kết nối chéo quang (OXC)	3 dB	< 0.4 dB	0.1 dB	-40 dBm

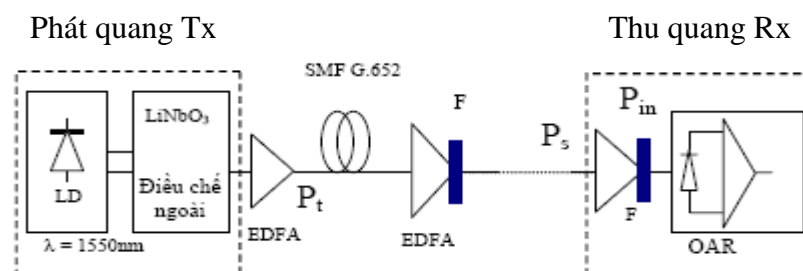
Bảng 3.1: Sự tổn hao ở bước sóng 1550 nm

Thành phần	Tổn hao quỹ dự phòng
Tán sắc sợi	1 dB
Dự phòng SPM	0.5 dB
Dự phòng XPM	0.5 dB
Bù DCU	6 dB
FWM	0.5 dB
SRS/SBS	0.5 dB
PDL	0.3 dB
PMD	0.5 dB
Khuếch đại nghiêng	3.0 dB
Độ nhạy nghiêng máy thu	0.5 dB
Chirp truyền	0.5 dB
Nhiều xuyên âm AWG	0.2 dB
Mối nối sợi quang	0.5 dB

Bảng 3.2: Yêu cầu về quỹ dự phòng

3.8. ẢNH HƯỞNG CỦA TÁN SẮC SỢI ĐẾN VIỆC THIẾT KẾ TUYẾN THÔNG TIN QUANG TỐC ĐỘ CAO THÔNG QUA PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH TỔN HAO CÔNG SUẤT

Phương pháp tính toán được áp dụng cho tỷ lệ lỗi bit nhỏ $BER = 10^{-12}$ nhằm bảo đảm theo yêu cầu của hệ thống có sử dụng khuếch đại quang theo khuyến nghị ITU-T.



Hình 3.7: Cấu hình hệ thống thông tin quang tiêu biểu

Các hệ thống hoạt động tại vùng bước sóng 1550 nm sử dụng bộ khuếch đại quang EDFA thường có tốc độ bit cao và cự ly xa nên ở đầu thu của công suất tín hiệu quang thu được thường rất nhỏ. Hơn nữa, giá trị tán sắc lớn luôn xuất hiện trong hệ thống. Vì vậy, ngoài tín hiệu truyền dẫn, méo dạng sóng và giao thoa giữa các ký tự ISI do tán sắc vận tốc nhóm GVD gây nên và tự điều chế pha SPM cần được tính đến.

Phương pháp xác định ảnh hưởng của tán sắc đến hệ thống thông tin quang thông qua tính toán quỹ công suất hệ thống P_B bằng việc thiết kế độ dài tuyến:

$$P_B = P_t(t) - P_S(G,NF) - P_M - P_P - P_D - (N_C l_C + N_S l_S) \quad (3.24)$$

Trong đó: $P_t(t)$ là công suất tín hiệu phát có tính cả ảnh hưởng chirp phi tuyến

G là độ khuếch đại của các bộ EDFA

P_M là công suất dự phòng của hệ thống

P_P là đền bù tổn hao công suất

P_D là tổn hao công suất do tán sắc, đây chính là công suất tương đương do năng lượng phổ của xung tín hiệu bị giãn ra ngoài khe thời gian đã định sinh ra

$P_S(G,NF)$ là độ nhạy thu có tính cả ảnh hưởng của bộ khuếch đại và nhiễu của EDFA

l_S và l_C tương ứng là suy hao mỗi hàn và suy hao bộ nối quang

N_S và N_C tương ứng là số mỗi hàn và số bộ nối quang

Chất lượng truyền dẫn được xác định thông qua việc tính tỷ số lỗi bit $BER = 10^{-12}$ cho độ nhạy thu của thiết bị thu quang.

Công suất tín hiệu tại đầu vào thiết bị thu quang:

$$P_S = (G I_S L_R)^2 \quad (3.25)$$

Trong đó: I_S là dòng tín hiệu điện thu được sau tách quang

L_R là suy hao giữa khuếch đại quang và bộ thu quang
Tổn hao công suất tín hiệu:

$$P_D = [1 - (8 R_b^2 \beta_2 L)^2]^{-1/2} \quad (3.26)$$

Với β_2 là tham số tán sắc vận tốc nhóm

Từ đây, ta có thể xác định được lượng công suất tổn hao khi có tác động của tán sắc sợi.

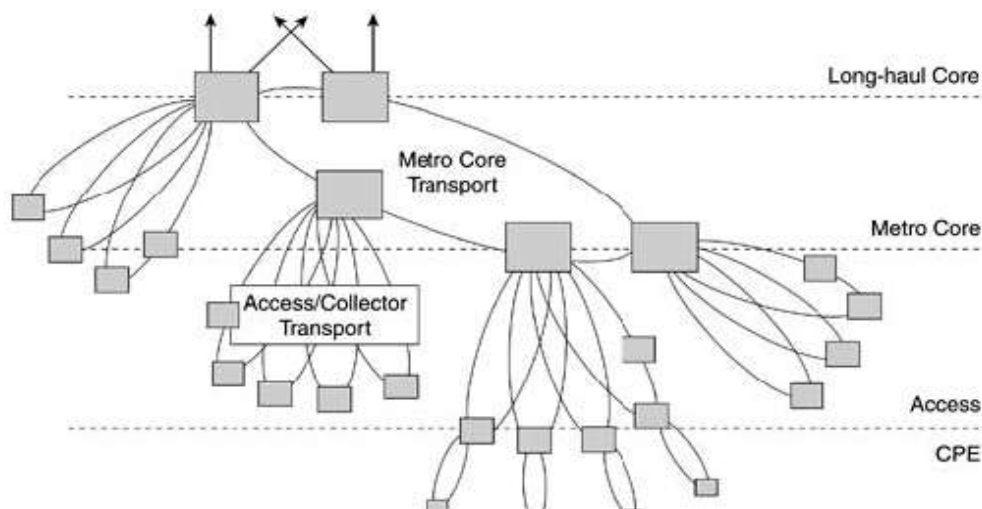
Tham số	Ký hiệu	Giá trị tham số
Bước sóng tín hiệu	λ	1544.5 nm
Công suất phát quang	P_t	-1 dBm
Suy hao sợi G.652 gồm cả mỗi hàn	α_f	0.24 dB
Tham số tán sắc sợi	D	18ps/km.nm
Khuếch đại của EDFA	G	30 dB
Hệ số nhiễu của EDFA	NF	5 dB
Băng tần quang bộ lọc F	B_0	0.5 nm
Băng tần điện B_e bộ thu	B_e	7.5 GHz
Dự phòng hệ thống	P_M	6 dB
Tỷ số lỗi bit	BER	$BER = 10^{-12}$
Tải bộ tách sóng quang	R_L	50 Ω
Suy hao bộ nối quang (2 bộ)	L_C	0.5 dB/bộ
Công suất đèn bù	P_P	1 dB

Bảng 3.3: Các tham số để tính toán thiết kế cấu hình tuyến 10Gbps

Đối với hệ thống 10 Gbps, các nguồn phát thường có độ rộng phổ rất hẹp. Để xác định được cự ly truyền dẫn, có hai tham số quan trọng cần xác định là độ nhạy thu quang $P_S(G,NF)$ và giá trị tổn hao công suất P_D do tán sắc trên tuyến gây ra.

Trong thực tế, thiết kế tuyến 10 Gbps sẽ còn thêm một số tham số khác như các hiện tượng phi tuyến, tán sắc bậc cao, tán sắc phân cực ... tác động vào và làm giảm cự ly truyền dẫn.

3.9. PHÂN LOẠI CÁC MẠNG QUANG



Hình 3.8: Phân loại mạng Long Haul, Metro, Access

Lớp đầu tiên là mạng truy nhập, lớp tiếp theo là mạng đô thị và lớp cao nhất là mạng Long Haul. Khách hàng cuối được kết nối với dịch vụ cung cấp mạng.

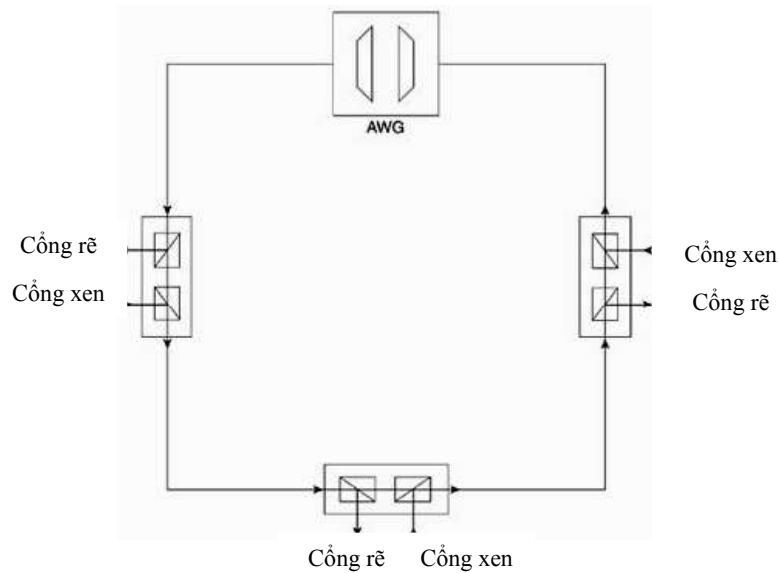
	Mạng truy nhập	Mạng đô thị	Mạng Long Haul
Topo	Ring	Ring/Mesh	Điểm-điểm/Ring và Mesh
Lưu lượng vận chuyển	Hub	Phân tán/Mesh	Hub
Vòng ring/độ dài	40 – 75 km	< 100-250 ~ 300 km	< 300-2000 km
Bước sóng tự do	lên tới 16 λ	32 – 64 loại	64
Số nút trong vòng ring	6 ~ 8	8 ~ 16	5 - 12

Khoảng cách giữa các nút	10 – 30 km	~ 40 – 300 km	300 km
Kỹ thuật DWDM	Mux/Demux OADM Chuyển mạch và định tuyến	Mux/Demux OADM EDFA DCU Bước sóng điều hưởng Chuyển mạch điện và định tuyến/giới hạn tất cả chuyển mạch quang	Mux/Demux OADM EDFA DCU PMD Bước sóng điều hưởng Chuyển mạch và định tuyến

Bảng 3.4: Phân loại và so sánh các mạng quang**3.9.1. Thiết kế mạng truy nhập**

Đây là mạng phù hợp nhất với mạng quang. Mạng truy nhập được xác định như là một phần mạng mà phía khách hàng có thể truy nhập đến. Mạng này có độ dài truyền lớn nhất là 40 - 75 km nghĩa là nếu mạng này được triển khai một vòng tròn thì nó sẽ < 75 km.

Mạng truy nhập được xác định từ phía người sử dụng cuối, đó là một tập đoàn hay một hãng nào đó. Đây chính là sự tăng trưởng nhất về cấu trúc mạng đô thị. Mục đích chính của mạng truy nhập là định tuyến, tổng hợp và vận chuyển.



Hình 3.9: Bộ lọc màng mỏng (Mạng truy nhập)

Cấu trúc chỉ có cấu tạo nút xen/rẽ một phần bước sóng nên nó không cần thiết cho phần ghép quang. Tuy nhiên, ở nút hub cần nhất là nút xen/rẽ quang. Thuận lợi của hệ thống hybrid không chỉ có giá thành thấp mà phần thiết kế hệ thống được cải thiện.

Cấu trúc mạng truy nhập có thể biến đổi từ đường trục chính điểm - điểm đến vòng truy nhập chuẩn trong mạng yêu cầu, số nút mạng... Vòng truy nhập tạo ra từ hub và vòng nan để điều khiển nút hub đúng vị trí và hoạt động như một bộ góp vận chuyển truy nhập cổng tới mạng đô thị. Ma trận vận chuyển là đơn cực mà tất cả các nút có thể vận chuyển hai chiều với nút hub.

Để giảm và dự phòng lightparth trong mạng truy nhập, khi thiết kế cần vận chuyển hub xung quanh. Hầu hết các mạng truy nhập trong thông tin quang có khoảng cách trong vòng tròn ring < 75km, độ dài span lớn nhất không quá 40km. Do vậy, khoảng cách chỉ < 40km.

*** Cấu trúc nút truy nhập**

Nút hub có cấu trúc khác với nút truy nhập riêng lẻ. Nút truy nhập không cần khả năng xen/rẽ nên từ điểm thiết kế tổng quát, nút truy nhập phải đưa ra mức tổn hao ít nhất cho từng kênh. Có thể thực hiện nút truy nhập bằng việc sử dụng bộ lọc màng mỏng (TFF). Một số nhà cung cấp đã có đề nghị

dùng cấu hình này. TFF có 3 cổng: cổng vào, cổng lựa chọn và cổng truyền. Tín hiệu ghép nguyên được đặt ở cổng vào TFF phụ thuộc vào cấu hình bộ lọc. Một số bước sóng (dải bước sóng hay bước sóng đơn) được tách ở cổng lựa chọn. Tín hiệu còn lại nhỏ hơn được tách dải là có sẵn ở cổng truyền.

Mức tổn hao xuyên qua bộ lọc khoảng 2 dB không đáng kể để so sánh với OADM đối xứng trong vòng metro. Dải tách được phân ra để sử dụng bộ tách và nhiều bộ lọc hoặc giá thành thấp, dải tách kênh nhỏ (4 – 10 nm). Công suất đầu ra = $P(\text{dB}) - 10 \log N$.

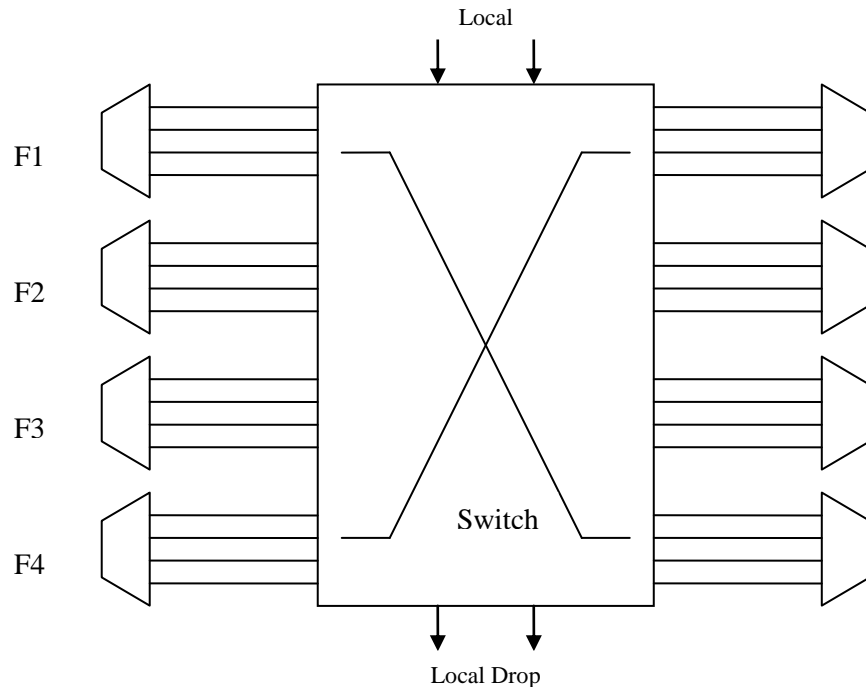
3.9.2. Thiết kế mạng đô thị

Đây là lớp tiếp theo trong ba phân lớp của mạng quang. Mạng này được biết đến từ mạng truy nhập diện rộng. Tổng độ dài đường truyền của mạng đô thị lớn là 100 - 300 km.

Mạng đô thị được mô tả như mạng đa hub với điểm truy nhập Long Haul và vòng truy nhập Metro. Mạng đô thị còn có mạng dự trữ nên được gọi là mạng cực, vận chuyển từ mạng truy nhập và cung cấp cho vùng ring. Trong một vòng tròn, kích cỡ của ring < 200 km và lưu lượng đường lên tới 40 bước sóng.

Mạng đô thị thì thông dụng nhất mạng quang trong công nghiệp bởi vì doanh thu của nó rất cao.

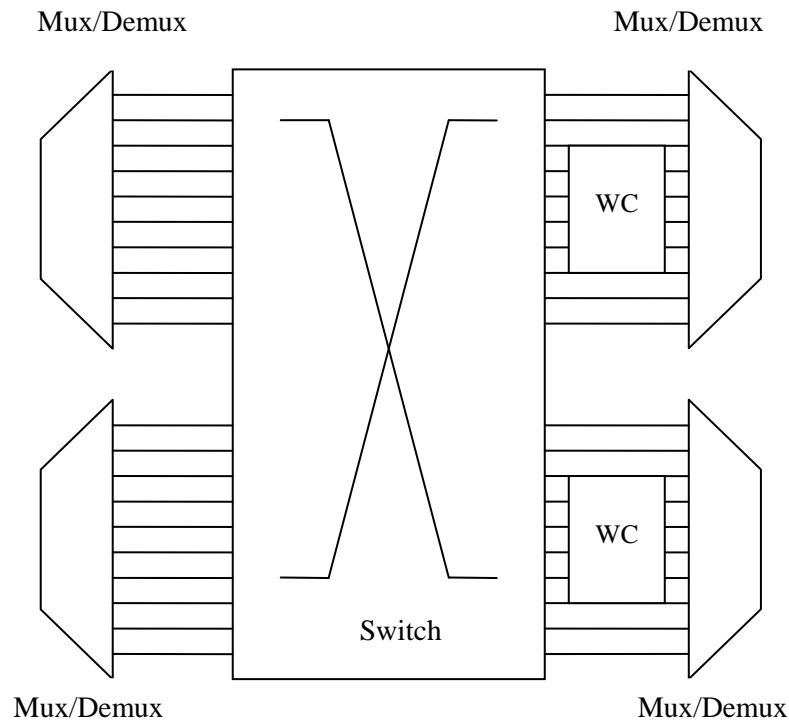
Mạng đô thị có thể được phân loại như mạng cực và mạng lõi. Mạng lõi được phân biệt nhờ sự phức tạp rất lớn, chúng được liên kết ở một hay nhiều nút đến đầu cuối mạng Long Haul. Ngược lại, mạng cực được biết như một bộ phối hợp vận chuyển. Mạng đô thị có dịch vụ cấp khác nhau từ mạng quang đồng bộ (SONET) có trước. Một số bước sóng với dải tốc độ từ OC-3 → OC-192 đến Gigabit Ethernet và 40 Gbps lightpath làm thử nghiệm.



Hình 3.10: Định tuyến bước sóng với bước sóng không đổi

Giao thức phụ thuộc vào tốc độ bit. Một vài sự tăng đã tạo ra giao thức bước sóng biến đổi tự do nhưng việc thực hiện bị hạn chế. Tuy nhiên, trong tương lai, giao thức biến đổi bước sóng tự do hy vọng sẽ thông dụng hơn. Nó đòi hỏi kỹ thuật biến đổi bước sóng trong suốt tới tốc độ bit và giao thức.

Biến đổi bước sóng cho mạng đô thị không thể thực hiện được. Kích thước lớn, độ giảm này có lợi cho cấu hình kết nối chéo qua cấu hình xen/rẽ OADM thông thường.



Hình 3.11: Dùng bước sóng biến đổi (bước sóng λ nhỏ) giữa các kênh trên cùng một sợi

Khi thiết kế OADM cho mạng đô thị cần phải chú ý đến một vài lợi ích. Đầu tiên là thiết kế nguồn chi phí vì có nhiều bước sóng và nút mạng, cần phải đảm bảo nguồn chi phí cho kênh lightpath, tiếp theo là thiết kế BER:

$$BER = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} \exp(-Q^2/2) \quad (3.27)$$

$$Q(\text{dB}) = \text{OSNR}(\text{dB}) + 10 \log(B_0/B_e) \quad (3.28)$$

Chỉ đưa ra cấu trúc mạng đô thị là tổn hao span và nút mạng. Một đường tín hiệu là đủ để tính toán OSNR cho mạng. Tính OSNR của một lightpath bởi sự phân tán lightpath thành các phần tử span của nó. Sự tổn hao span được xác định như sự tổn hao span thực tế (độ suy giảm, tán sắc, phi tuyến, bộ nối,...) cùng với tổn hao nút kế tiếp.

3.9.3. Thiết kế mạng Long Haul

Lớp cuối cùng trong ba phân lớp của mạng quang là mạng Long Haul. Mạng Long Haul là mạng đặc trưng hay mạng liên lục địa kết nối với các đô thị khác hay với các lục địa khác. Mạng này có dải lên tới hàng nghìn km. Mạng Long Haul được xây dựng đầu tiên bằng sợi quang bởi vì sợi quang tạo ra lưu lượng vận chuyển dữ liệu bit với một vài sai số mặc dù tốc độ bit cao hơn. Tuy nhiên, khi tốc độ bit tăng, trên độ dài đường truyền giá trị quang khác nhau có hiệu ứng âm. Vì vậy, mạng Long Haul có khả năng suy yếu do độ lợi như sự suy giảm, tán sắc, phi tuyến. Hệ thống Long Haul là hệ thống điểm - điểm với bộ tái tạo lại ở cuối và ở giữa.

Mạng ngầm là loại mạng ở dưới biển được dùng để chuyển dữ liệu xuyên lục địa. Chúng cũng có đường Long Haul điểm - điểm với mạng khôi phục quang sợi dưới đường biển sau khi sợi quang cắt hầu như là không thể. Thêm vào đó, giá thành sợi quang là thành phần chính cho giá thành của mạng.

Trong mạng Long Haul, dữ liệu truyền qua hơn 100 km hay 1000 km.

Trong mạng quang, dự trữ tạp âm ASE là vùng mới khi nghiên cứu, giải pháp đó là bộ lọc tạp âm âm mặc dù kỹ thuật này không khả quan cho lắm. Ở khoảng cách lớn (công suất cao), tín hiệu quang biến dạng từ hiệu ứng phi tuyến. Điều chế tự dịch pha SPM và điều chế pha chéo XPM xảy ra hai suy yếu duy nhất.

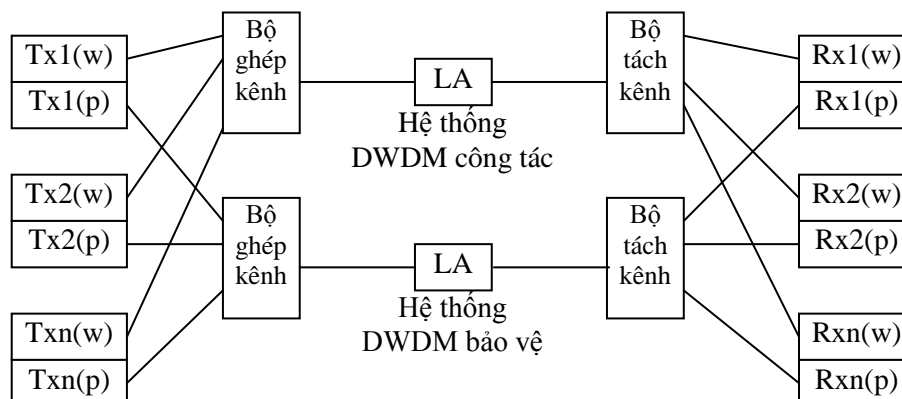
Điều chế pha chéo nhất là trong mạng Long Haul WDM và chỉ tiêu nhận được trong thiết kế hệ thống tới hiệu ứng này là sự tính toán nguồn bổ sung bằng hiệu ứng âm nhờ XPM. Hiệu ứng phi tuyến khác là trộn bốn bước sóng FWM tạo ra nhiễu sự cố trong việc thiết kế hệ thống và kết quả là thiết lập gán bước sóng khác nhau để tránh hiệu ứng có hại của FWM.

Nút mạng Long Haul bao gồm ghép/tách kênh ở ngoài nút, tách biệt nhờ nội bộ khôi phục.

3.10. BẢO VỆ MẠNG DWDM

3.10.1. Bảo vệ kiểu 1+1 trên lớp SDH

3.10.1.1. Bảo vệ kiểu 1+1:

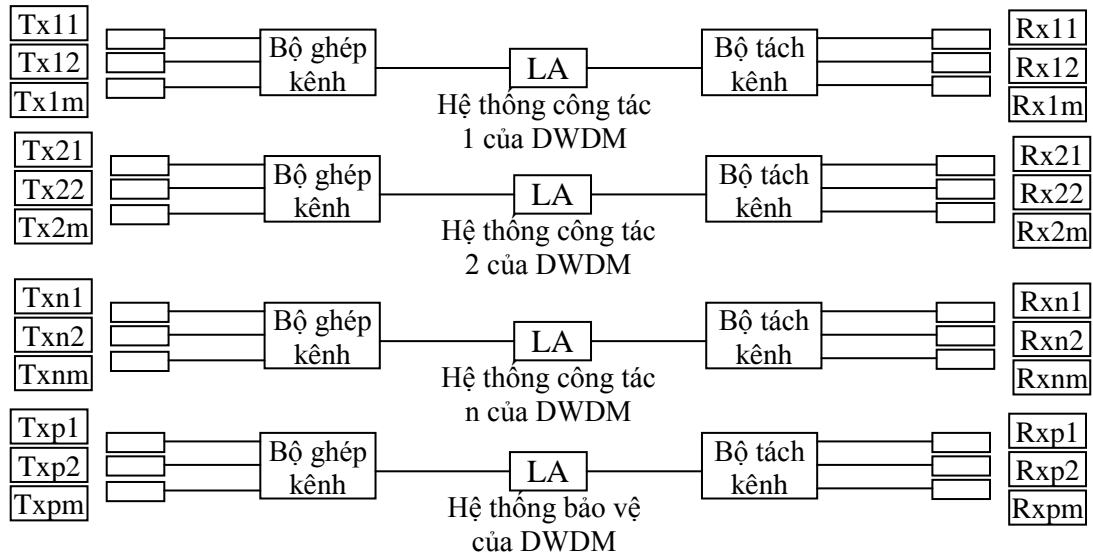


Hình 3.12: Bảo vệ kiểu 1+1 trên lớp SDH

Ở phương thức bảo vệ này, toàn bộ thiết bị của hệ thống như: đầu cuối SDH, bộ tách ghép/kênh, bộ khuếch đại quang, đường dây cáp quang... đều phải có bộ phận dự phòng. Ở đầu phát tín hiệu SDH được nối bắc cầu cố định giữa hệ thống công tác và hệ thống bảo vệ. Ở đầu thu giám sát trạng thái tín hiệu SDH thu được từ hai hệ thống DWDM và chọn ra tín hiệu thích hợp hơn. Phương thức này có tính tin cậy cao nhưng giá thành cũng cao.

Trong một hệ thống DWDM, sự chuyển đổi các kênh SDH không có quan hệ với sự chuyển đổi của các kênh khác, tức là Tx1 trong hệ thống công tác của DWDM có sự cố và chuyển đổi sang hệ thống bảo vệ của DWDM thì Tx2 có thể tiếp tục làm việc trên hệ thống công tác của DWDM. Một khi phát hiện thấy thời gian khởi động việc chuyển giao thì phải hoàn thành chuyển giao bảo vệ trong 50 ms.

3.10.1.2. Bảo vệ kiểu 1:n

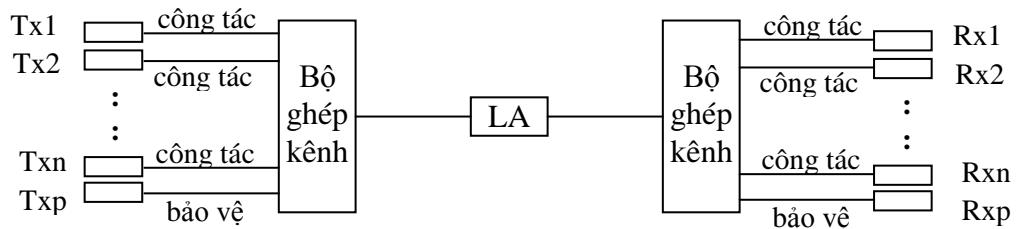


Hình 3.13: Bảo vệ kiểu 1:n trên lớp SDH

Hệ thống DWDM dựa trên một bước sóng, thực thi bảo vệ 1:n trên lớp SDH. Tx11, Tx21,..., Txn1 dùng chung một đoạn bảo vệ, với Tx1 cấu thành quan hệ bảo vệ 1:n. Tiếp tục như vậy, Tx1m, Tx2m,..., Txnm dùng chung một đoạn bảo vệ, với Txpm cấu thành quan hệ bảo vệ 1:n.

Trong một hệ thống DWDM, sự chuyển đổi lẫn nhau của kênh SDH không có quan hệ gì với sự thay đổi của các kênh khác, tức trong hệ thống công tác 1 của DWDM, Tx11 chuyển đổi sang hệ thống bảo vệ của DWDM thì Tx12,..., Tx1m có thể tiếp tục làm việc trên hệ thống 1 của DWDM. Một khi phát hiện thấy thời gian khởi động chuyển giao thì chuyển giao bảo vệ phải hoàn thành trong 50 ms.

3.10.1.3. Bảo vệ kiểu 1:n trong hệ thống DWDM

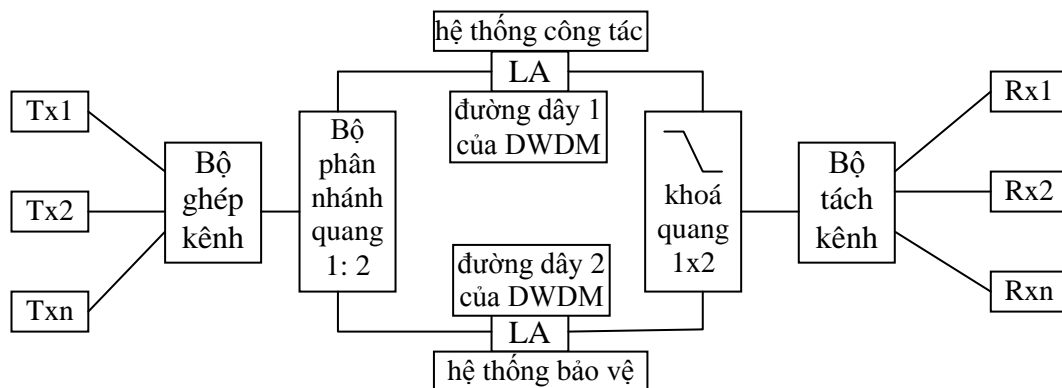


Hình 3.14: Bảo vệ kiểu 1:n trong hệ thống DWDM

Một đường dây DWDM có thể mang nhiều kênh SDH, do đó cũng có thể sử dụng bước sóng rỗi trong cùng một hệ thống DWDM để làm kênh bảo vệ.

Đây là hệ thống ghép kênh bước sóng gồm $n+1$ kênh, trong đó n bước sóng dùng làm bước sóng công tác, 1 bước sóng dùng làm kênh bảo vệ. Nhưng khi xét tới hệ thống thực tế, tính tin cậy của sợi quang và cáp quang kém hơn tính tin cậy của thiết bị, cho nên nếu chỉ bảo vệ hệ thống mà không bảo vệ đường dây thì ý nghĩa không lớn. Một khi phát hiện thấy thời gian khởi động chuyển giao thì chuyển giao bảo vệ phải hoàn thành trong 50 ms.

3.10.2. Bảo vệ đoạn ghép kênh quang (OMSP)



Hình 3.15: Bảo vệ đoạn ghép kênh quang

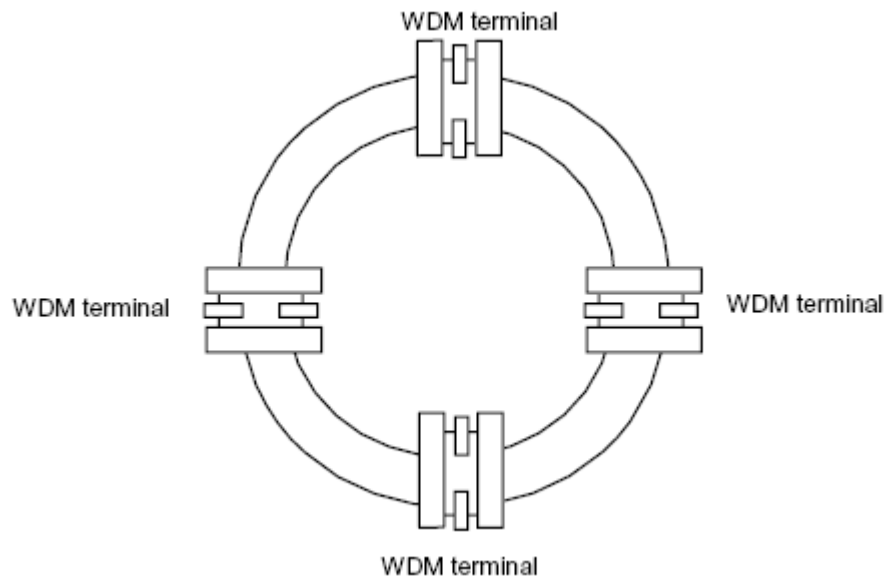
Công nghệ này chỉ bảo vệ 1+1 trên kênh quang mà không bảo vệ đường dây đầu cuối. Tại đầu phát và đầu thu sử dụng bộ phân nhánh quang 1x2 và khóa quang, ở đầu thu chọn đường cho tín hiệu quang. Đặc điểm của khóa quang là tổn hao nhỏ, trong suốt đối với khu vực khuếch đại bước sóng tốc độ nhanh.

Hình 3.15 dùng phương án bảo vệ đoạn ghép kênh quang gồm bộ phân nhánh quang và khóa quang. Trong hệ thống bảo vệ này chỉ có hệ thống đường dây DWDM là có bộ phận dự phòng, đầu cuối SDH của trạm đầu cuối hệ thống DWDM và bộ ghép kênh không có dự phòng. Trong thực tế, người ta dùng $n:2$ bộ phối ghép để thay thế cho bộ ghép kênh và bộ phân nhánh 1:2.

So với bảo vệ 1+1, nó hạ thấp giá thành. Bảo vệ đoạn ghép kênh OMSP chỉ thực thi trong hai sợi cáp quang độc lập mới thực sự có ý nghĩa.

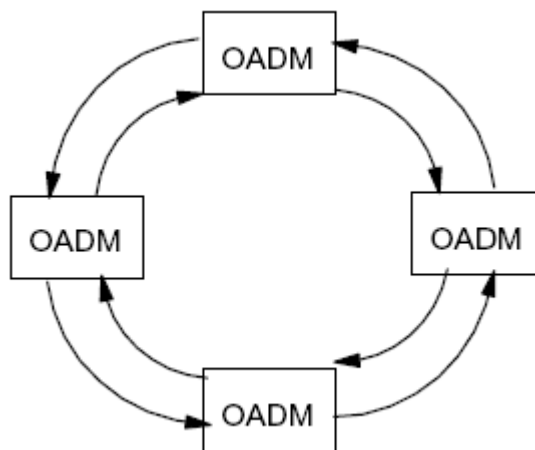
3.11. ỨNG DỤNG TRONG MẠNG RING

Hệ thống DWDM cũng được sử dụng trong mạng ring. Ứng dụng để kết nối hệ thống DWDM điểm - điểm dựa trên bước sóng đơn.



Hình 3.16: Hệ thống DWDM điểm-điểm dạng ring

Đường ring bảo vệ và ring bảo vệ MSP của hệ thống SDH có thể được cài đặt. DWDM chỉ tạo ra sợi quang “ảo”. Mỗi bước sóng bảo vệ trên SDH độc lập với bảo vệ của bước sóng khác. Ring có thể có 2 sợi hay 4 sợi.



Hình 3.17: OADMs dạng ring

Dùng OADMs với xen/rẽ kênh quang dạng ring là ứng dụng khác của công nghệ DWDM. Hiện tại, mạng ring OADMs được phân thành 2 kiểu: thứ nhất là đường bước sóng bảo vệ dựa trên bảo vệ bước sóng đơn, ví dụ bảo vệ kiểu 1 + 1 của bước sóng đơn giống với đường bảo vệ của hệ thống SDH. Thứ hai là đường ring bảo vệ để bảo vệ tín hiệu ghép bước sóng. Khi một sợi quang bị cắt, chức năng “vòng ngược” có thể được lắp đặt ở hai nút gần với điểm cắt. Do vậy, tất cả các dịch vụ đều được bảo vệ.

Chương 4

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG HỒI PHỤC MẠNG IP/DWDM

Trong những năm gần đây, lưu lượng qua mạng Internet tăng trưởng đột biến, những nhà cung cấp dịch vụ ICT, đặc biệt là các công ty sở hữu và khai thác cơ sở hạ tầng mạng phải liên tục nâng cấp mạng để đáp ứng nhu cầu về băng thông và dịch vụ. Đã có một sự đột phá về công nghệ nhằm giải quyết vấn đề dung lượng và chất lượng mạng cho xã hội thông tin, công nghệ DWDM xứng đáng là giải pháp hợp lý cho vấn đề hiện nay và cả trong tương lai. Khái niệm IP/DWDM mô tả công nghệ cho phép chuyển gói tin IP thô trên lớp DWDM, mở ra một số định hướng mới cho mạng tốc độ siêu cao Terabit, đồng thời cũng là nền móng vững chắc tiến đến kỷ nguyên mạng toàn quang (All Optical Network).

4.1. IP/DWDM

Hiện công nghệ mạng đang diễn ra xu hướng chuyển dần từ IP/ATM/SDH/DWDM sang IP/Ethernet trên nền DWDM. Hình 4.1 mô tả cấu trúc theo mô hình lớp của xu hướng này, kể cả đề cập đến lớp Ethernet trên nền DWDM.



Hình 4.1: Xu hướng chuyển sang cấu trúc đa lớp mạng IP

Công nghệ IP/DWDM cho phép thực hiện một số tính năng của giao thức IP như định tuyến (routing), tập hợp (aggregation) lưu lượng với khả năng đáp ứng của DWDM. Khái niệm cơ bản của IP/DWDM chính là truyền

những gói tin IP thô (raw IP packet) trên lớp quang (optical layer) hỗ trợ DWDM.

4.1.1. Lớp quang

Lớp quang đã được giới thiệu trong mạng quang, lớp này được gọi là lớp chủ (server layer), cung cấp kênh quang (light path) cho các lớp trạm. Hệ thống DWDM cho phép tốc độ và định dạng gói tin độc lập với nhau và có thể chấp nhận bất kỳ tập hợp của các tốc độ gói khác nhau (đồng bộ, bất đồng bộ, OC-3, OC-12...) trên cùng sợi quang tại cùng thời điểm. Như vậy, lớp quang hỗ trợ tích hợp các kỹ thuật khác nhau vào trong một hạ tầng vật lý, ưu điểm quan trọng của mạng quang này chính là khả năng chuyên chở vận chuyển các loại hàng hóa gói tin khác nhau trên cùng xa lộ - lớp vật lý. Lớp quang bao gồm 2 lớp con: lớp vận chuyển (Transport layer) và lớp dịch vụ (Service layer).

Hai lớp con này thực hiện các tính năng của lớp 4 của SDH/SONET. Chúng làm việc với các tính năng riêng biệt không trùng lặp. Kỹ thuật hay giao thức chuyển mạch đa giao thức theo nhãn MPLS điều phối chức năng thiết kế lưu lượng giữa lớp IP và lớp vận chuyển quang.

4.1.2. Chuyển mạch đa giao thức theo nhãn MPLS

Giao thức MPLS là giao thức chuyển mạch dùng tập hợp các nhãn được cài đặt để chuyển tiếp các gói tin. Các bộ chuyển mạch được thiết kế và làm việc trên cơ sở duy nhất là dò tìm các nhãn và thay thế chúng. Những nhãn hiển thị trong gói tin sẽ quyết định đường tiếp của gói tin và không dùng bất kỳ thông tin nào khác trong suốt quá trình chuyển mạch.

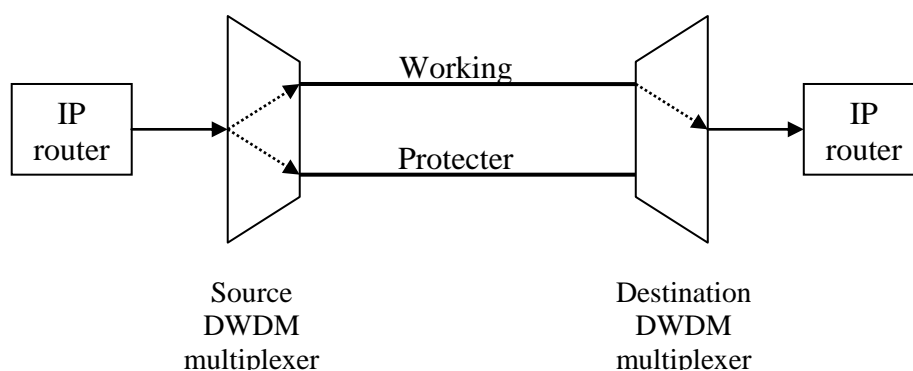
4.1.3. Chuyển mạch đa giao thức theo bước sóng MPLS

Giao thức IP/DWDM tích hội các tính năng của bộ chuyển mạch ATM, bộ ghép kênh SDH/SONET và bộ định tuyến IP vào trong một lớp và mở

rộng thành khái niệm “Chuyển mạch đa giao thức theo bước sóng λ ”. MPLS phát triển từ MPLS và hoạt động ngay trên lớp quang. Mạng các lớp kênh quang hỗ trợ kết nối đầu cuối đến đầu cuối thông qua các điểm truy cập. Một kênh quang liên kết hoàn tất một chuỗi các bước sóng mang các gói tin IP trong khi truyền tải. Chuỗi này cũng giống như bộ nhãn trong giao thức MPLS. MPLS chính là lớp trung gian giữa lớp IP và DWDM.

4.2. KHẢ NĂNG HỒI PHỤC CỦA MẠNG IP/DWDM

Phần này sẽ hệ thống và đưa ra một số cách tiếp cận để nghiên cứu, đánh giá khả năng hồi phục của mạng IP/DWDM. Hình 3.2 trình bày ví dụ cơ bản về năng lực bảo vệ của mạng IP/DWDM, bộ ghép kênh DWDM đích có khả năng chọn bước sóng đang hoạt động để chuyển tiếp đến bộ định tuyến IP đích.



Hình 4.2: Khả năng bảo vệ bằng cách chọn bước sóng hoạt động của mạng IP/DWDM

4.2.1. Khái niệm khả năng phục hồi của mạng

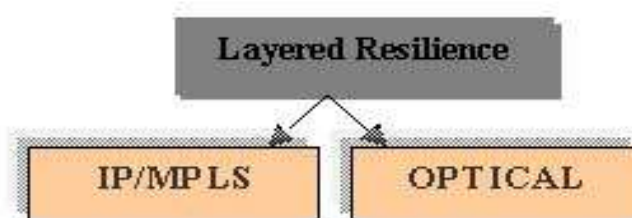
Khả năng hồi phục mạng rất quan trọng khi giải quyết vấn đề cung cấp dịch vụ với các yêu cầu cao về chất lượng dịch vụ liên kết. Khả năng hồi phục mạng được định nghĩa như là năng lực mạng lưới đảm bảo hồi phục các hư hỏng vật lý của mạng (hư hỏng các thành phần thiết bị mạng hoặc xảy ra đứt cáp). Khả năng này giúp mạng tái định tuyến các kết nối vòng tránh phần mạng bị lỗi sang phần mạng dự phòng hoặc thay thế, tránh được các mất mát gây tổn hại đến hàng Gbps, thậm chí Tbps.

4.2.2. Một số cách đặt vấn đề tiếp cận nghiên cứu vấn đề năng lực hồi phục mạng

Cách tiếp cận phổ biến nhất là theo hướng nghiên cứu vấn đề năng lực hồi phục mạng theo 2 thành phần: mạng lõi và mạng truy nhập. Ưu điểm của cách tiếp cận này là phổ biến, phù hợp với các thể hệ mạng, có nhiều cơ sở để thực hiện. Tuy vậy, với các đặc điểm thiết kế, tổ chức và hoạt động của mạng IP, khá nhiều cách tiếp cận khác rất đáng chú ý và sẽ được trình bày tiếp theo sau.

❖ **Cách tiếp cận theo kiểu phân lớp mạng**

Khả năng hồi phục của mạng IP/DWDM được xem như là khả năng phục hồi phân lớp, do khả năng này được xem xét triển khai trên cả 2 lớp: IP/DWDM và lớp mạng quang. Lớp IP hỗ trợ giải pháp hồi phục nhờ các bộ định tuyến IP lưu trữ, tái định tuyến và cập nhật bảng địa chỉ IP theo tình trạng mạng lưới. Khái niệm về cơ chế hồi phục của lớp quang sẽ khác biệt với lớp IP, với động lực chính là thời gian phản ứng và phục hồi mạng sẽ ngắn hơn của lớp IP/MPLS. Ngoài phương pháp phân tích khả năng hồi phục theo lớp, một số cách khác để tiếp cận và đánh giá khả năng này của mạng IP/DWDM sẽ được trình bày.



Hình 4.3: Khả năng hồi phục phân lớp IP/DWDM

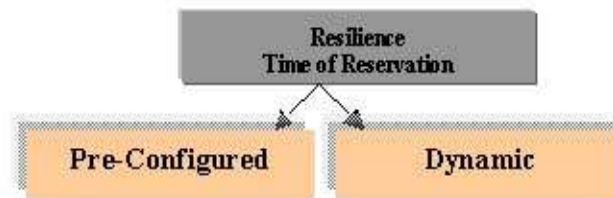
❖ Cách tiếp cận thứ hai để phân tích khả năng hồi phục của mạng là phân nó thành kỹ thuật hồi phục tuyến và hồi phục link. Kỹ thuật hồi phục tuyến sẽ xử lý lỗi mạng ở các node kết cuối tuyến, trong khi phục hồi link lại xử lý lỗi

mạng tại các node của link. Cách tiếp cận này giúp tính toán khả năng hồi phục mạng theo vùng mạng toàn tuyến hoặc theo từng link.



Hình 4.4: Hồi phục mạng theo tuyến và theo link

❖ Cách khác đó là phân thành kỹ thuật hồi phục cấu hình sẵn cố định và cấu hình hồi phục động. Điểm khác nhau của hai cách tiếp cận này là quy trình và chọn thời điểm chọn tuyến và năng lực mạng để phục hồi khi tuyến kết nối ban đầu bị lỗi. Thời gian hồi phục của mạng theo đó cũng sẽ khác biệt.



Hình 4.5: Thời điểm tính toán năng lực phục hồi mạng

❖ Một cách quan trọng là đánh giá khả năng hồi phục thông qua cơ chế bảo vệ và cơ chế khôi phục của mạng lưới.

- ✓ Cơ chế bảo vệ dựa trên khả năng tính toán và thiết kế trước độ dự phòng cho mạng, đó chính các tuyến dự phòng cho từng kết nối lưu lượng. Thiết kế này được thực hiện khi xây dựng hoặc mở rộng mạng để sẵn sàng bảo vệ mạng trước khi có các sự cố xảy ra. Năng lực bảo vệ mạng có thể chính là các đường cáp hoặc thiết bị dự phòng. Khi có sự cố xảy ra, lưu lượng sẽ được chuyển sang tuyến (hoặc thiết bị) dự phòng mà không cần bất kỳ sự xử lý hoặc ra quyết định nào. Cơ chế bảo vệ do khâu thiết kế

quyết định và không liên quan đến việc quản lý và kiểm soát vận hành mạng lưới.

- ✓ Cơ chế khôi phục, khác với cơ chế bảo vệ, dựa hoàn toàn trên khả năng quản lý và vận hành mạng lưới. Cơ chế này giúp tính toán và chọn lựa tuyến thay thế khi xảy ra sự cố kết nối. Với sự tính toán bảo vệ ban đầu, cơ chế khôi phục giúp chọn lựa tối ưu, giảm thiểu rủi ro mất kết nối do không chọn được tuyến và nâng cao hiệu quả dự phòng bảo vệ tính toán từ khâu thiết kế mạng.

❖ Về định lượng, nếu tạm gác qua các thông số tối ưu của khía cạnh kinh tế, về kỹ thuật, vấn đề khôi phục mạng chủ yếu xem xét dựa trên các thông số thời gian.

- ✓ Thời gian phát hiện lỗi (Failure detection time, FDT): thời gian cần thiết để thu thập được thông tin lỗi đối với vị trí xảy ra lỗi.
- ✓ Thời gian khôi phục (Recovery completion time, RCT): thời gian cần thiết để lưu lượng bị ảnh hưởng bởi lỗi được tái định tuyến vào phần tài nguyên (thiết bị/tuyến) dự phòng. RCT thường được phân tích từ ba khoảng thành phần: thời gian tính toán tuyến T_{cal} , thời gian chọn tài nguyên dự phòng T_{sel} và thời gian chuyển lưu lượng qua tài nguyên mới T_{sw} .
- ✓ Độ dự phòng mạng (capacity redundancy, Cr): là độ bảo an, kết quả của một hàm số phụ thuộc chủ yếu vào: hệ số bảo vệ $1 : x$ của tuyến hoặc link (ví dụ $1 : N$ hoặc $1 : 1$), FDT và RCT.

Chương 5

TÌM HIỂU THIẾT BỊ OPTIX METRO 6100 CỦA HUAWEI

5.1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ THIẾT BỊ

Với sự phát triển về các dịch vụ voice và data, nhu cầu băng thông cho các mạng Metropolitan Area Network (MAN) đang được gia tăng rất nhanh. Bằng cách sử dụng các kỹ thuật DWDM, các hệ thống Metro DWDM đang chứng minh là hệ thống với dung lượng lớn có thể đáp ứng được tất cả các dịch vụ hiện tại có trên mạng và các dịch vụ cho tương lai. Hơn nữa, với một hệ thống Metro DWDM ta có thể tích hợp, truy nhập, truyền tải hầu hết các dịch vụ với mọi tốc độ (Multi rate) mọi giao thức truyền tải (Multi-protocol transparently) bởi thế nó có thể giảm được đầu tư cho người khai thác mạng và chi phí ít hơn cho phần OAM (Operation Administration and Maintenance). Ngày nay, Metro DWDM đang là sự lựa chọn cho công nghệ tương lai đối với mạng truyền dẫn.

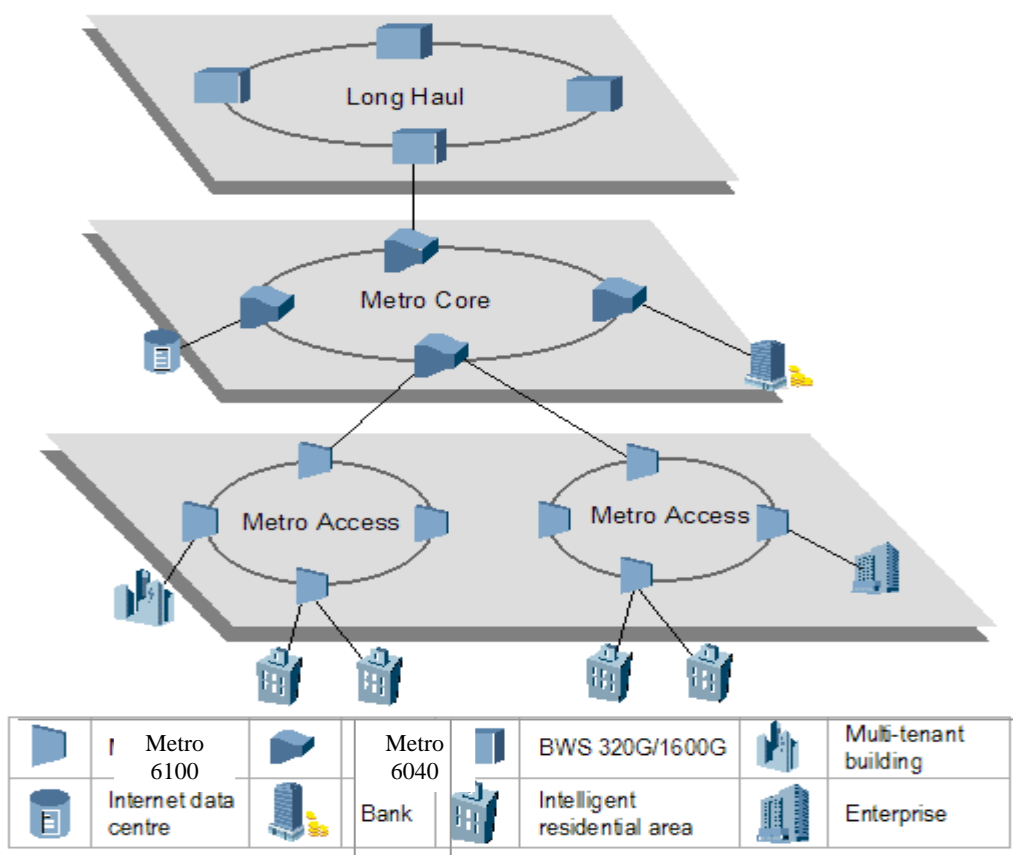
❖ Một số thông tin của thiết bị Optix Metro 6100

- Thiết bị chuẩn theo Metro DWDM thiết kế dùng cho mạng lõi.
- Nền tảng công nghệ là DWDM/CWDM.
- Một site có thể hỗ trợ Add/Drop 40-channel C-band.
- Hỗ trợ các dịch vụ có tốc độ 34 Mbps ~ 2.5 Gbps hoặc 10 Gbps trên một bước sóng.



Hình 5.1: Optix Metro 6100

5.1.1. Vị trí trong mạng truyền dẫn



Hình 5.2: Vị trí của Optix Metro 6100 trong kiến trúc mạng

5.1.2. Công nghệ

Optix Metro 6100 sử dụng công nghệ ghép bước sóng mật độ cao (DWDM), với khoảng cách kênh là 0.8 nm (100 GHz), tốc độ tối đa truy nhập là 10 Gbps.

5.1.3. Dung lượng truyền dẫn

Hệ thống Optix Metro 6100 DWDM có thể hỗ trợ truy nhập tối đa 40 bước sóng, mỗi bước sóng hỗ trợ tốc độ tối đa là 10 Gbps.

5.1.4. Khoảng cách truyền dẫn

Optix Metro 6100 hỗ trợ một khoảng cách truyền tới 80 km mà không cần sử dụng bộ khuếch đại và có thể đạt được 360 km nếu có sử dụng bộ khuếch đại quang.

5.1.5. Topo mạng

Optix Metro 6100 hỗ trợ các topo như poin-to-poin, chain và mạng ring. Nó cũng có thể kết hợp với Optix Metro 6040 để tạo ra một giải pháp Metro DWDM đầy đủ.

5.2. MỘT SỐ TÍNH NĂNG CỦA THIẾT BỊ

5.2.1. Các tính năng về dịch vụ

5.2.1.1. Khả năng truy nhập các dịch vụ

Optix Metro 6100 rất thuận tiện cho các hệ thống đa truy nhập dịch vụ. Nó có thể cung cấp hầu hết các tốc độ dịch vụ từ 34 Mbps – 10 Gbps, bao gồm:

- ✓ SDH: theo khuyến nghị của ITU-T G.691 và ITU-T G.957 với các tốc độ STM-64/STM-16/STM-4/STM-1.
- ✓ ATM: móc nối vào SDH như các VC-4-4c/VC-4-16c/VC-4-64c.
- ✓ Mạng quang đồng bộ (SONET) và nối SONET: OC-3/OC-48/OC-192, STS-3c/STS-12c/STS-48c/STS-192c.
- ✓ Dịch vụ Ethernet: Fast Ethernet (FE), Gigabit Ethernet (GE), 10 GE.

5.2.1.2. Khả năng hội tụ các dịch vụ

- Hội tụ 2 tín hiệu GE thành một tín hiệu STM-16.
- Hội tụ 4 tín hiệu GE thành một tín hiệu 5 Gbps.
- Hội tụ 4 tín hiệu dịch vụ STM-16 của SDH hoặc SONET thành một tín hiệu OTU2.
- Hội tụ 8 tín hiệu SDH tốc độ thấp với tổng tốc độ ít hơn 2.5 Gbps thành một tín hiệu STM-16.
- Hội tụ 8 tín hiệu 200 Mbps ESCON thành một tín hiệu STM-16.
- Hội tụ 4 tín hiệu với tốc độ khoảng 200 Mbps – 1.20 Gbps thành một tín hiệu STM-16.
- Hội tụ 8 tín hiệu với tốc độ khoảng 200 Mbps – 1.20 Gbps thành một tín hiệu STM-16.

5.2.2. Các tính năng về kỹ thuật

5.2.2.1. Khả năng update và mở rộng

Optix Metro 6100 có thể thêm và tách các tín hiệu dịch vụ thông qua OTM hoặc OADM. Dung lượng mở rộng là rất mềm dẻo và thuận tiện.

Nếu Optix Metro 6100 dùng board M40/D40, dung lượng có thể được mở rộng sẽ không làm ngắt các dịch vụ đang tồn tại và tại tất cả 40 kênh ghép và tách đều hỗ trợ.

5.2.2.2. Khả năng giám sát kênh và kênh đồng bộ

Giám sát kênh của Optix Metro 6100 có thể được giám sát bằng các kênh quang (OSC) hoặc bằng các kênh điện (ESC).

- ✓ OSC đòi hỏi cấu hình của các khối giám sát kênh quang (SC1/SC2/TC1/TC2) mà hoạt động tại bước sóng 1510 nm. Board SC1/SC2 cung cấp 2Mbps thông tin giám sát, board TC1/TC2 cung cấp 8Mbps.

- ✓ ESC không yêu cầu cấu hình các khối giám sát kênh quang. Các khối phát đáp quang sẽ ghép các thông tin quản lý giám sát vào các kênh dịch vụ (hiện nay, Viettel đang sử dụng theo cách này).

5.2.2.3. Khả năng hỗ trợ truyền 2 hướng

Hệ thống Optix Metro 6100 CWDM hỗ trợ truyền 2 hướng trên một sợi quang (single-fiber bi-directional).

5.2.2.4. Khả năng sửa lỗi

Các OUT của Optix Metro 6100 có chức năng FEC. Với chức năng FEC giúp giảm tỷ lệ lỗi bit trong suốt quá trình truyền và cải thiện chất lượng của mạng DWDM.

5.2.2.5. Khả năng bảo vệ mạng

Optix Metro 6100 đưa ra 2 cách để bảo vệ mạng bao gồm: bảo vệ kênh quang và bảo vệ đường quang. Có 3 cấu trúc bảo vệ kênh quang như: inter-OTU 1+1 protection, intra-OTU 1+1 protection và client-side protection.

5.3. CẤU TRÚC PHẦN CỨNG CỦA THIẾT BỊ

5.3.1. Tủ (Cabinet)

Trong cấu hình bình thường, Optix Metro 6100 được lắp đặt trong một tủ ETSI 300 nm. Tủ có một cửa phía trước, một panel phía sau được cố định bằng ốc, hai bên là hai panel.

Trong một tủ, bộ phân phối nguồn ở phía trên cùng, subrack và OADM được lắp ở giữa, khối DCM được thiết kế lắp cuối cùng. Một tủ có thể hỗ trợ lắp được 3 subrack Optix Metro 6100.

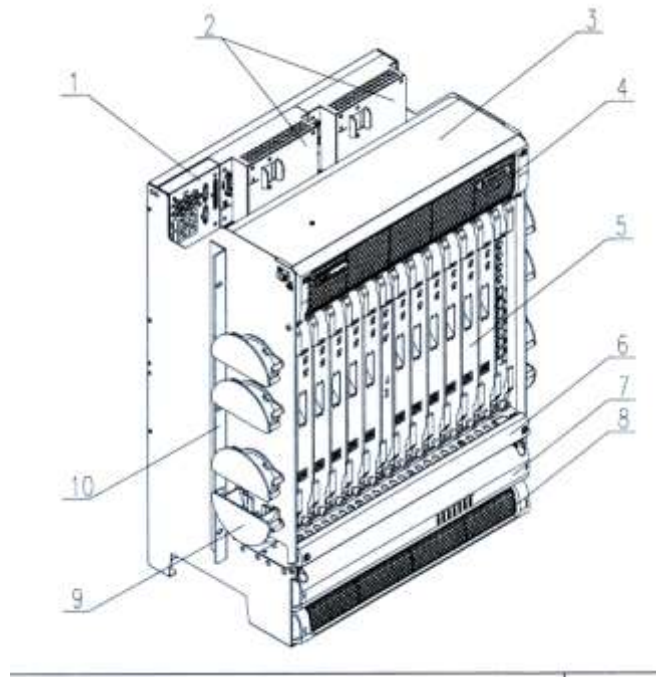
Tủ 300 nm ETSI có thể chia làm 2 loại với chiều cao khác nhau. Hình dưới đưa ra một số thông số kỹ thuật về 2 kiểu tủ 2.2 m và 2.6 m.

Đồ án tốt nghiệp

Item	2.2 m cabinet	2.6 m cabinet
Kích thước	2200 mm (H) x 600 mm (W) x 300 mm (D)	2600 mm (H) x 600 mm (W) x 300 mm (D)
Trọng lượng	69 kg	80 kg
Công suất tiêu thụ tối đa	2000 W	2000 W
Điện áp hoạt động bình thường	-48 V DC or -60 V DC	-48 V DC or -60 V DC
Dải điện áp làm việc	-38.4 V to -72 V DC	-38.4 V to -72 V DC

5.3.2. Subrack

5.3.2.1. Cấu trúc



1.Interface area	2.DC power filter board (DPFU)	3.Air baffle	
5.Board area	6.Cover of optical attenuator area	7.Fan tray assembly	
4.Cover of air exhaust vent	8.Air filter	9.Fiber spool	10.Rack-mounting ear

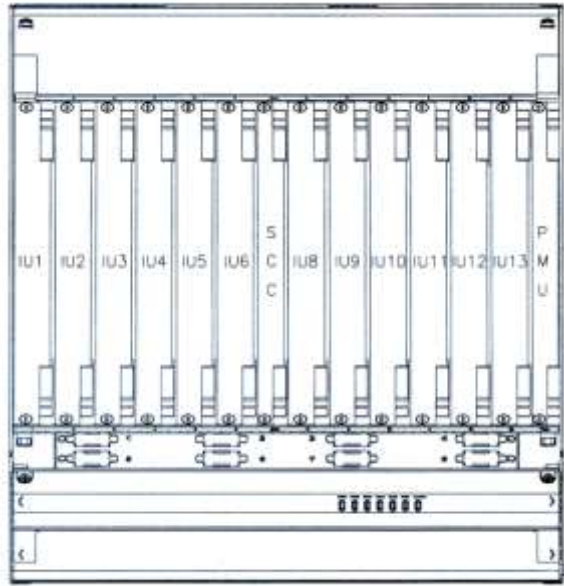
Hình 5.3: Cấu trúc Subrack

5.3.2.2. Mô tả chức năng các khối

- ❖ Vùng giao diện (Interface area): nằm ở phía sau khối màn chắn bụi, đây là phần giao diện chứa tất cả các giao diện của Subrack.
- ❖ Bo mạch lọc nguồn (DC power filter board: DPFU): cung cấp giao diện đầu nguồn -48V DC và một công tắc cho nguồn của Subrack. Mỗi Optix Metro 6100 được cung cấp với 2 board DPFU để cung cấp nguồn. Do vậy, chúng có thể dự phòng cho nhau.
- ❖ Màn chắn không khí (Air baffle): Hướng các dòng khí ra ngoài. Các dòng khí này được tạo ra bởi hệ thống quạt và không khí bên ngoài thổi vào.
- ❖ Khu vực cắm các board (Board area): cung cấp 14 khe cắm các board dịch vụ.
- ❖ Khay quạt (Fan tray assembly): cung cấp 6 quạt để giảm sức nóng cho thiết bị. Phía trước panel có 6 đèn chỉ thị màu xanh với đèn đang hoạt động bình thường và màu đỏ ứng với trường hợp có báo cảnh.
- ❖ Bộ lọc khí (Air filter): ngăn chặn bụi vào trong Subrack.
- ❖ Ống đi dây quang (Fiber spool): các vòng để quấn các sợi dây quang dư thừa.
- ❖ Tai gắn vào rack (Rack-mounting eare): Cố định Subrack vào tủ.

5.3.2.3. Vị trí của các khe cắm

Subrack có 14 khe cắm. được định nghĩa từ IU1 – IU14 từ trái qua phải, được mô tả như hình vẽ. Khe IU7 là khe cố định dành cho board SCC, khe IU14 dành cho khối điều khiển nguồn PMU.

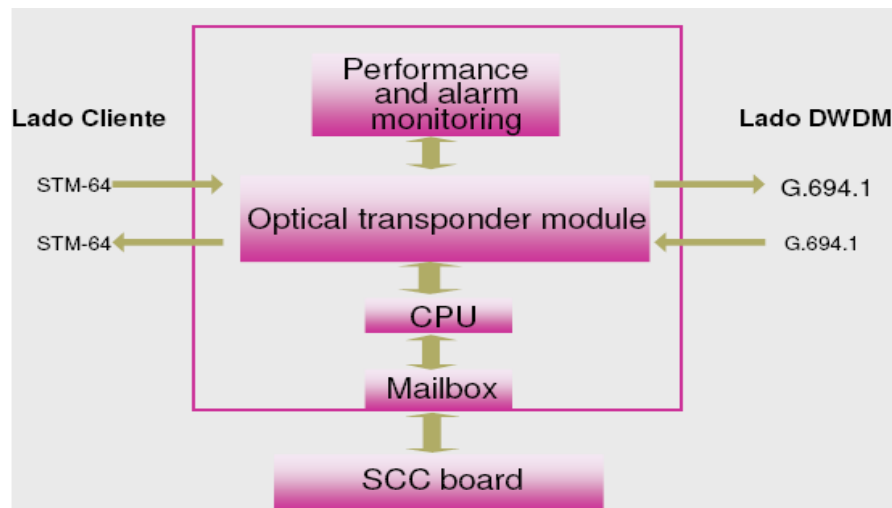


Hình 5.4: Các khe cắm board trên Subrack

5.4. CHỨC NĂNG CÁC CARD

5.4.1. Chức năng và sơ đồ khối của card OTU

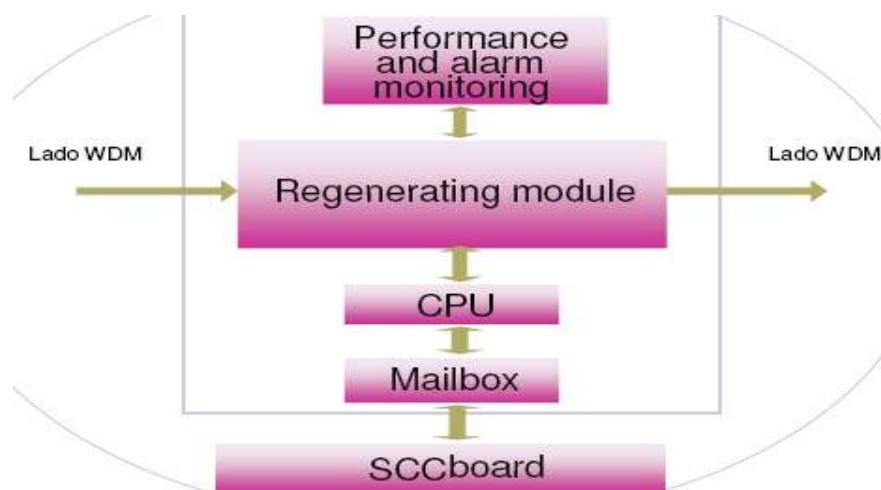
❖ Sơ đồ khối của LWF



Hình 5.5: Sơ đồ khối chức năng của card LWF

Phân tích: Tín hiệu từ phía khách hàng với các tốc độ STM64, tín hiệu được chuyển tới transponder module. Tại đây, tín hiệu sẽ được chuyển thành các bước sóng chuẩn theo ITU G.694.1 tại phía WDM. Board này được kết nối với SCC board để cung cấp các thông tin điều khiển và báo cảnh.

❖ Sơ đồ khối của LRF/TMR/LWXR/LWMR/TRC



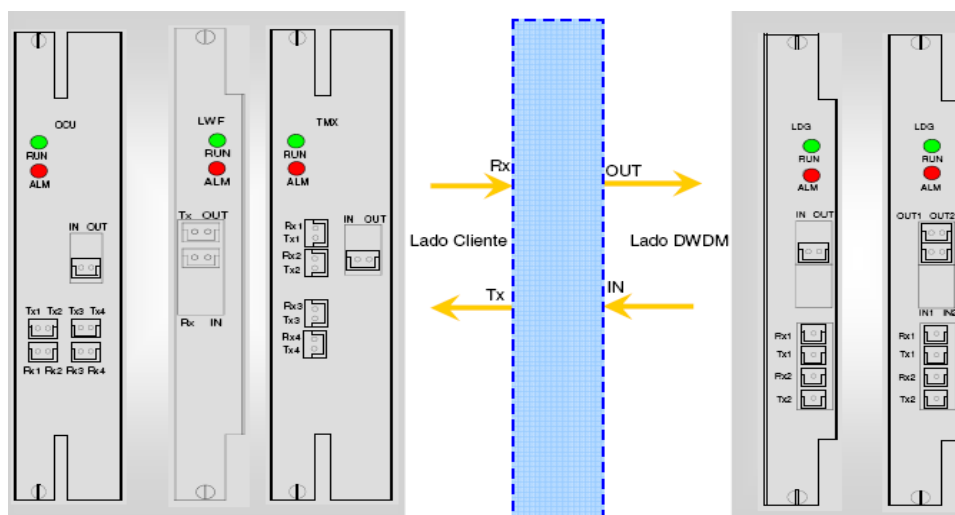
Hình 5.6: Sơ đồ khối của LRF/TMR/LWXR/LWMR/TRC

Phân tích: Đối với các khối này, cả đầu vào và đầu ra của chúng đều là tín hiệu chuẩn của WDM nên sẽ có khối Regenerating module thay vì khối Transponder như đối với card LWF. Quá trình này cũng được giám sát về quá trình hoạt động và báo cảnh.

Chú ý: Với tín hiệu truyền theo 2 hướng, ta sử dụng các card LWXR, LWMR và với tín hiệu truyền theo 1 hướng, ta sử dụng các card LRF, TMR, TRC.

❖ Phân tích và báo cảnh trên đèn chỉ thị

Xét sơ đồ mô tả giao diện trước của một số card OTU:



Hình 5.7: Sơ đồ mặt trước của các board OTU

Ta thấy có 2 đèn cảnh báo trên các card là: RUN và ALM

ALM:

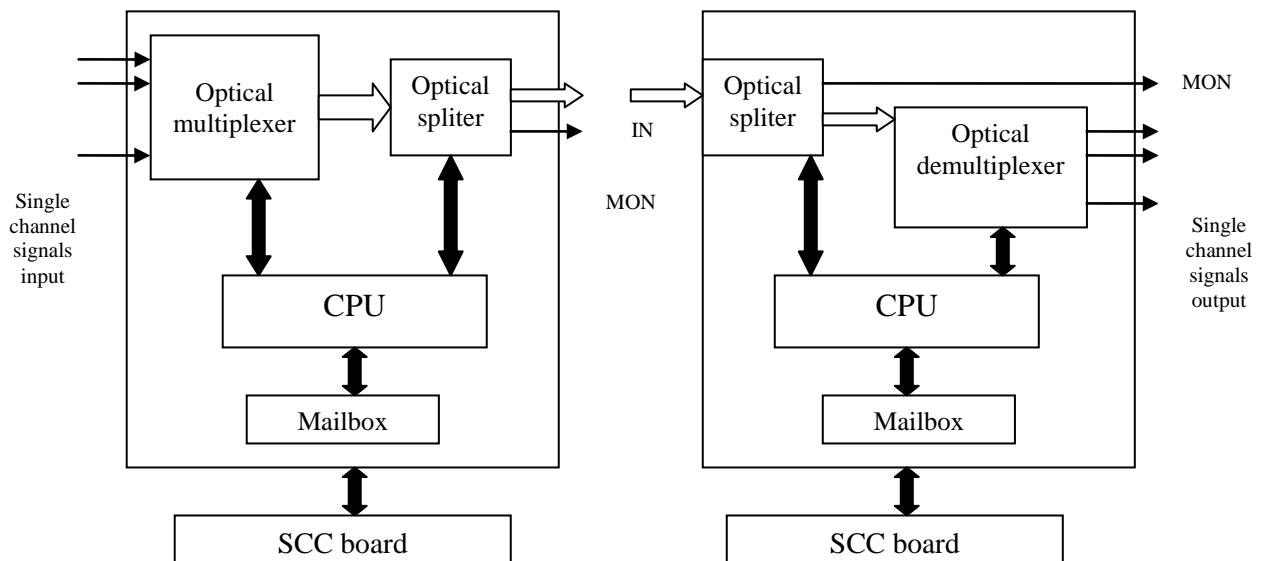
- ✓ Nếu đèn tắt → không có alarm.
- ✓ Nếu đèn nháy 3 lần trong mỗi s khác nhau → báo cảnh rất nguy hiểm.
- ✓ Nếu đèn nháy 2 lần trong mỗi s khác nhau → báo cảnh quan trọng.
- ✓ Nếu đèn nháy 1 lần trong mỗi s khác nhau → báo cảnh bình thường.

RUN:

- ✓ Nháy 5 lần/s → không có dịch vụ.
- ✓ Nháy 1 lần/2s → đang có dịch vụ.
- ✓ Nháy 1 lần/4s → kết nối với các khối SCC bị ngắt và đang ở trạng thái làm việc online.

5.4.2. Chức năng và sơ đồ khối của các card Mux/Demux

❖ Sơ đồ khối của khối Mux/Demux

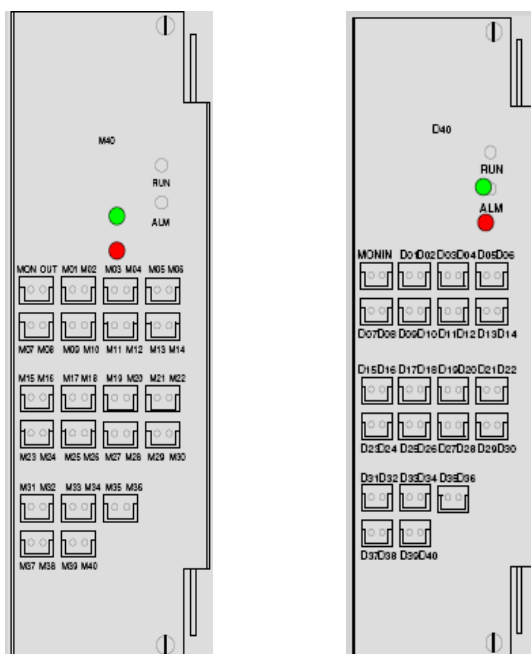


Hình 5.8: Sơ đồ khối của khối Mux và Demux

Phân tích:

- ✓ MUX: Tín hiệu sau khi đi qua các khối OUT sẽ được gửi tới bộ ghép quang (Optical Multiplexer). Tại đây, tín hiệu được tách ra làm 2 phần (90% và 10%), một phần đưa ra quản lý trực tiếp (online) thông qua cổng MON, tín hiệu quang còn lại sẽ được đưa lên đường truyền.
- ✓ DEMUX: Tín hiệu từ đường truyền được đưa tới cổng IN của khối DEMUX. Tín hiệu nhận được sẽ được chia làm 2, một phần đưa ra quản lý trực tiếp (online) thông qua cổng MON, một phần sẽ đưa tới khối tách quang (Optical Demultiplexer) và được đưa tới các khối OUT trước khi truyền tới các thiết bị của client.

Phân tích cảnh báo trên đèn chỉ thị:



Hình 5.9: Mặt trước của board M40 và D40

ALM:

- Nếu đèn tắt → không có alarm

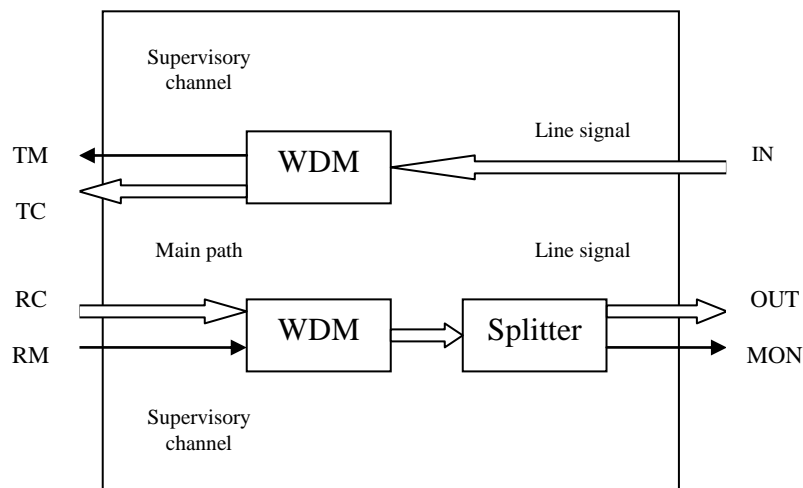
- Nếu đèn nháy 3 lần trong mỗi s khác nhau → báo cảnh rất nguy hiểm.
- Nếu đèn nháy 2 lần trong mỗi s khác nhau → báo cảnh quan trọng.
- Nếu đèn nháy 1 lần trong mỗi s khác nhau → báo cảnh bình thường.

RUN:

- Nháy 5 lần/s → không có dịch vụ.
- Nháy 1 lần/2s → đang có dịch vụ.
- Nháy 1 lần/4s → kết nối với các khối SCC bị ngắt và đang ở trạng thái làm việc online.

* Card FIU (Fiber Interface Unit)

Sơ đồ khối của khối FIU:



Hình 5.10: Sơ đồ khối của khối FIU

Phân tích: Nhiệm vụ của hệ thống là ghép và tách tín hiệu đường chính với tín hiệu giám sát kênh quang. Đối với tín hiệu vào, nó được tách ra làm 2 phần. Phần tín hiệu chính được qua bộ Demux để tách và ra đưa tới các OUT tương ứng. Phần tín hiệu còn lại được đưa ra khối giám sát quang. Đối với tín

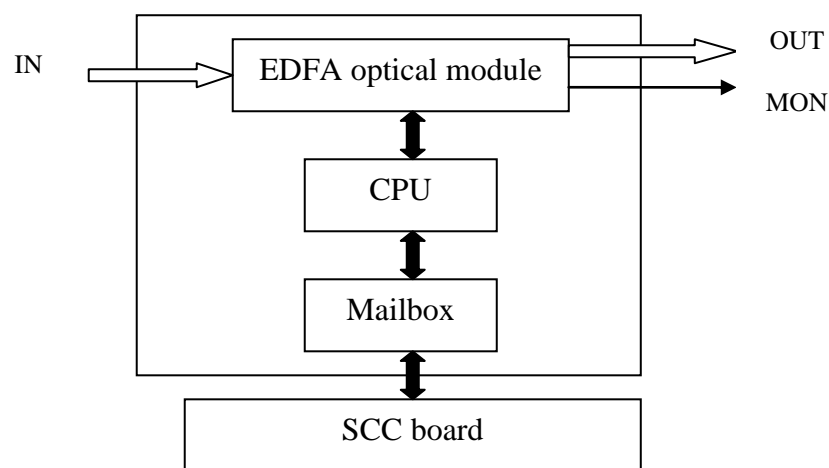
hiệu ra, tín hiệu từ đầu Mux được đưa vào cùng tín hiệu giám sát kênh và ghép lại trước khi đưa ra ngoài theo hướng OUT và cổng quản lý online.

5.4.3. Chức năng và sơ đồ khối của card khuếch đại OA

Gồm 3 loại card:

- + OAU (Optical Amplifier Unit)
- + OBU (Optical Booster Unit)
- + OPU (Optical Pre-Amplifier Unit)

❖ Sơ đồ khối của board OA



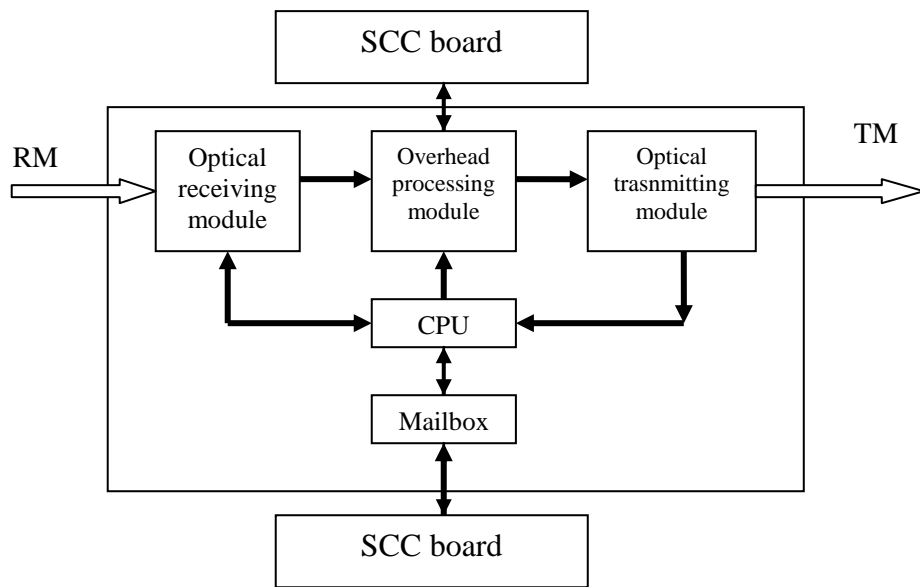
Hình 5.11: Sơ đồ khối của board OA

Phân tích: Tín hiệu truyền trên sợi quang được đưa vào thông qua port IN đưa vào khối khuếch đại. Tín hiệu tại đầu ra chia làm 2 phần, một phần đưa ra quản lý trực tiếp (online) thông qua cổng MON, phần tín hiệu còn lại sẽ được đưa lên đường truyền. Quá trình khuếch đại được điều khiển thông qua khối CPU được kết nối với board để trao đổi các thông tin.

5.4.4. Card giám sát OSC

Để thực hiện chức năng giám sát quang, thiết bị Optix đưa ra một số board cho chức năng này như TC1/2, SC1/2.

❖ Sơ đồ khối:

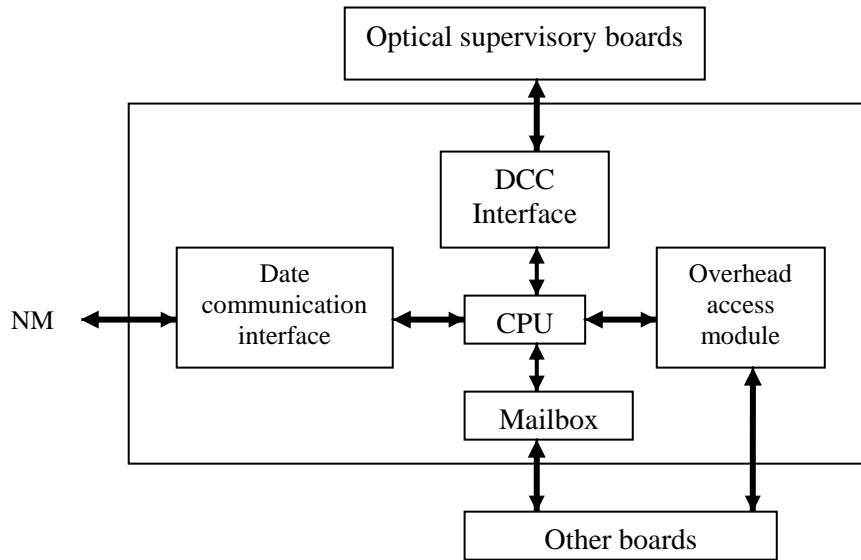


Hình 5.12: Sơ đồ khối của OSC

Phân tích: Tín hiệu quang sau khi đã qua bộ coupler chúng được tách một phần (khoảng 10% tín hiệu) và chuyển sang khối OSC để xử lý. Cụ thể ở đây là tín hiệu sẽ được gửi tới cổng RM và các khối chức năng trong board. Sau khi xử lý tín hiệu các thông tin về đường truyền tín hiệu sẽ được phân tích và gửi đến khối board SCC để đưa ra các điều khiển cần thiết. Phần tín hiệu tiếp tục gửi ra ngoài và qua bộ ghép để ghép cùng với tín hiệu đường truyền. Board SC1/TC1 có thể sử dụng tại các trạm OTM và SC2/TC2 có thể sử dụng trong các trạm OLA hoặc OADM. Các card này được cắm vào các khe IU6, IU8.

5.4.5. Card điều khiển kết nối SCC

❖ Sơ đồ khối



Hình 5.13: Sơ đồ khối của board SCC

Phân tích: Board SCC được kết nối với các board khác để lấy các thông tin cũng như gửi các thông tin điều khiển từ xa. Mặt khác, nó giao tiếp trực tiếp với hệ thống quản lý mạng (Network Management). Thông qua kênh DCC (Data Common Channel) kết nối với board giám sát kênh quang để lấy cũng như điều khiển các kênh quang.

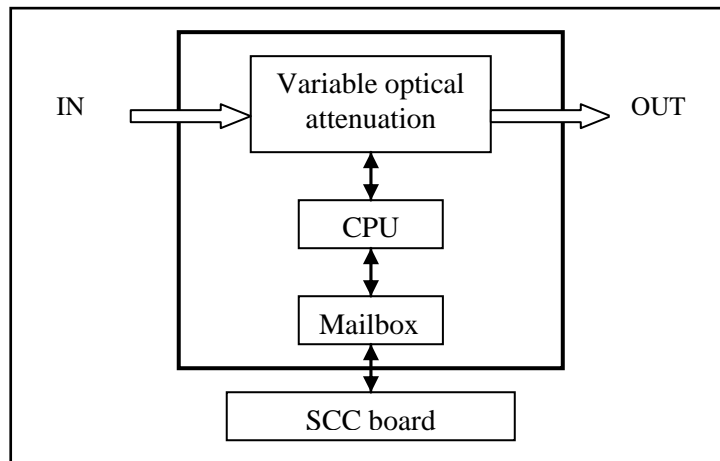
ALC: Công tắc để tắt các cảnh báo âm thanh

RST: Khởi động lại phần cứng

5.4.6. Các card phụ trợ (Card Auxiliary)

5.4.6.1. Card VOA (Variable Optical Attenuation)

❖ Sơ đồ khối:

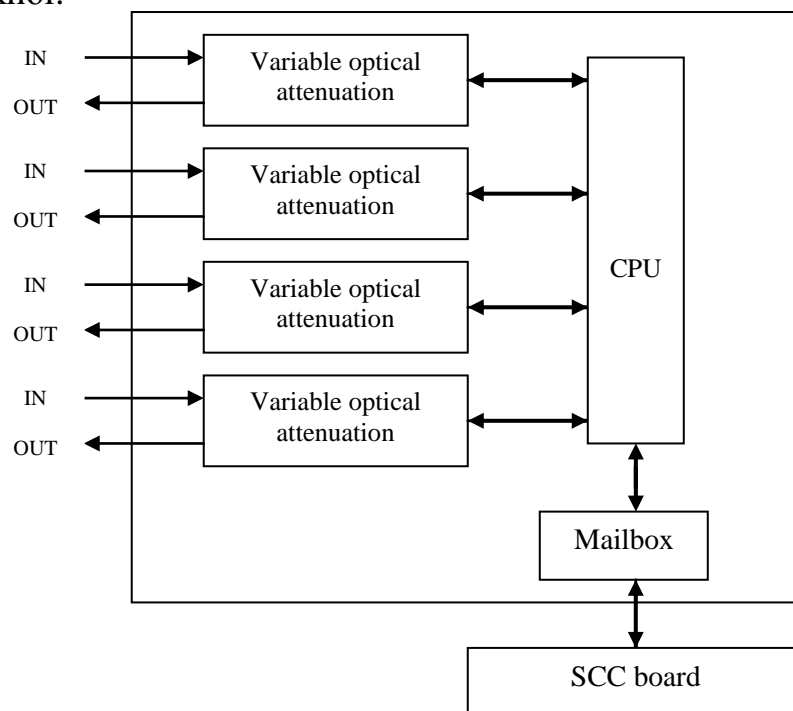


Hình 5.14: Sơ đồ khối của board VOA

Phân tích: Tín hiệu quang cần khuếch đại sẽ được đưa tới bộ khuếch đại quang có thể điều chỉnh được. Tín hiệu điều chỉnh được gửi đến thông qua khối board SCC. Đồng thời, nó cũng thông báo lại các thông tin liên quan tới suy hao và các báo cảnh nếu có.

5.4.6.2. Card VA4-Card suy hao quang biến đổi cho 4 kênh

❖ Sơ đồ khối:



Hình 5.15: Sơ đồ khối của board

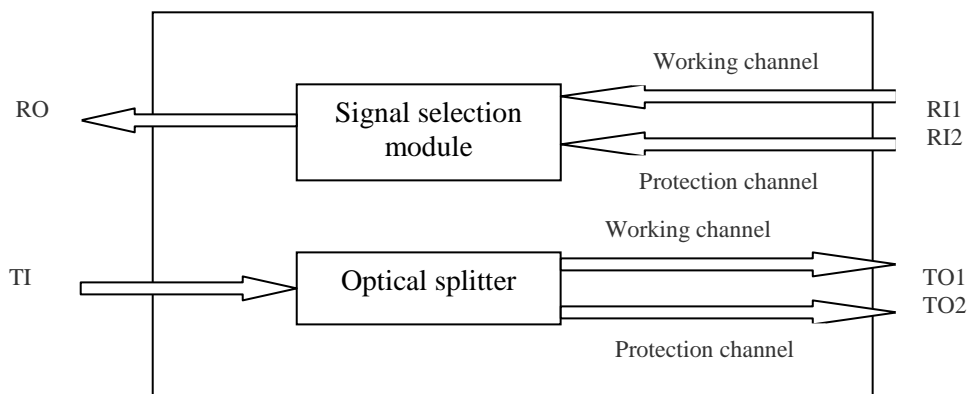
Phân tích: Chức năng giống như board VOA nhưng có thêm 4 kênh đầu vào chứ không phải 1 kênh đầu vào như VOA. Chức năng là điều chỉnh công suất quang của tín hiệu đến dựa theo lệnh điều khiển được gửi tới card SCC. Kiểm tra công suất quang, suy hao quang và đưa ra các báo cảnh. Dải suy hao biến đổi từ 2 – 25 dB và điều chỉnh nhỏ nhất 0.1 dB.

5.4.6.3. Card PMU

- Giám sát điện áp của 2 bộ nguồn của subrack và đưa ra các cảnh báo trong trường hợp điện áp quá cao hoặc điện áp quá thấp và gửi giá trị điện áp tới SCC.
- Giám sát nhiệt độ card, đưa các cảnh báo và thi hành tới card SCC.
- Cung cấp 5V DC cho OADM.
- Cung cấp các cảnh báo audio và các switch kiểm tra cảnh báo.

5.4.6.4. Board OLP

❖ Sơ đồ khối:

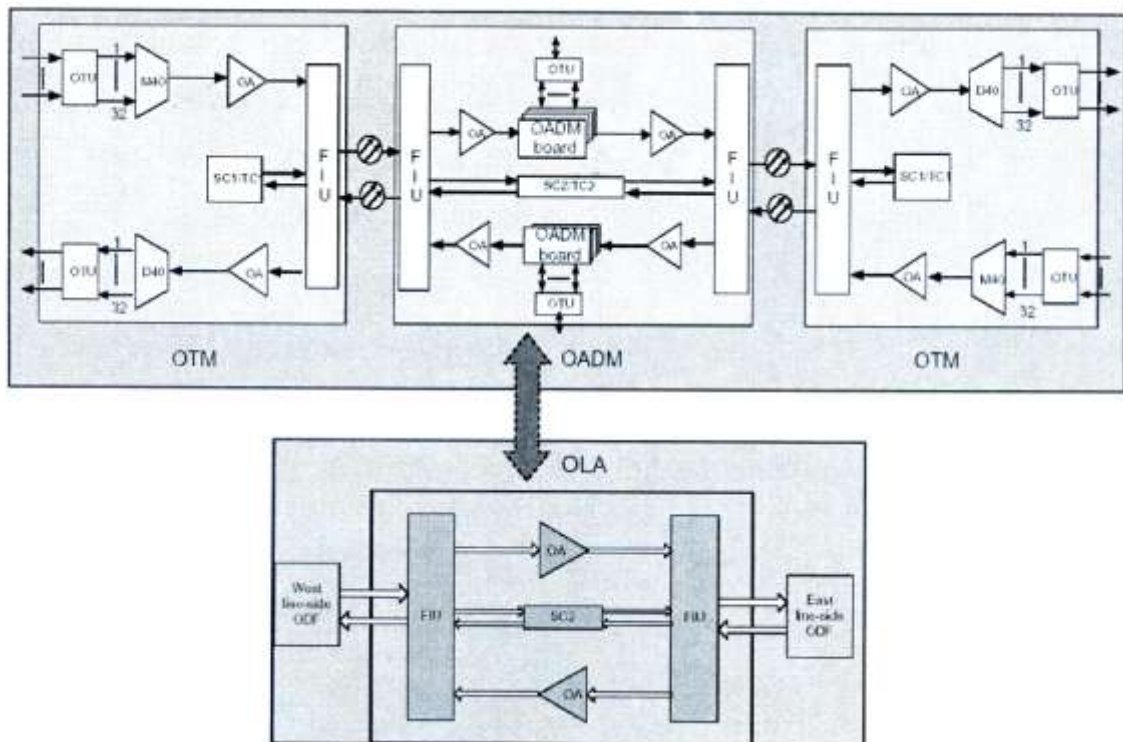


Hình 5.16: Sơ đồ khối bo mạch OLP

Phân tích: Mục đích là tách tín hiệu thành 2 đường. Với tín hiệu đầu vào thì được chia làm 2 phần và đẩy ra ngoài theo 2 hướng: một hướng bảo vệ và một hướng làm việc. Với bên nhận sẽ nhận 2 tín hiệu và qua khối lựa chọn để chọn ra tín hiệu có chất lượng tốt hơn để nhận.

5.5. CÁC KIỂU NÚT MẠNG TRONG HỆ THỐNG DWDM

Ta có sơ đồ tổng quan cho hệ thống DWDM:



Hình 5.17: Các kiểu nút mạng trong hệ thống DWDM

Optix Metro 6100 DWDM có thể cấu hình theo 3 kiểu nút mạng:

- Ghép kênh quang đầu cuối (Optical terminal multiplexer: OTM).
- Ghép/tách quang (Optical add/drop multiplexer: OADM).
- Khuếch đại đường dây quang (Optical line amplifier: OLA).

5.5.1. Nút mạng ghép kênh quang đầu cuối OTM

5.5.1.1. Nguyên lý kỹ thuật

DWDM OTM được sử dụng tại các trạm đầu cuối và chia tín hiệu thành 2 hướng: hướng phát và hướng nhận.

- Trong hướng phát: thông qua các OTU, OTM hội tụ /biến đổi các tín hiệu truy nhập thành các tín hiệu theo khuyến cáo của ITU-T G694.1 thành các bước sóng của DWDM. Sau đó, tín hiệu được ghép lại bởi một bộ ghép quang thành một đường quang chính rồi được khuếch đại

và ghép với tín hiệu giám sát kênh quang. Cuối cùng, tín hiệu được gửi lên đường quang và phát đi.

- Trong hướng nhận: tín hiệu giám sát kênh quang và tín hiệu quang chính được tách ra. Tín hiệu giám sát được gửi tới khối xử lý kênh giám sát quang. Sau đó, tín hiệu quang chính sẽ cho qua khối tách quang thành các tín hiệu có bước sóng khác nhau. Cuối cùng sẽ đưa tới các thiết bị đầu cuối của khách hàng phù hợp sau khi được khối OTU chia ra và định dạng chuẩn tử.

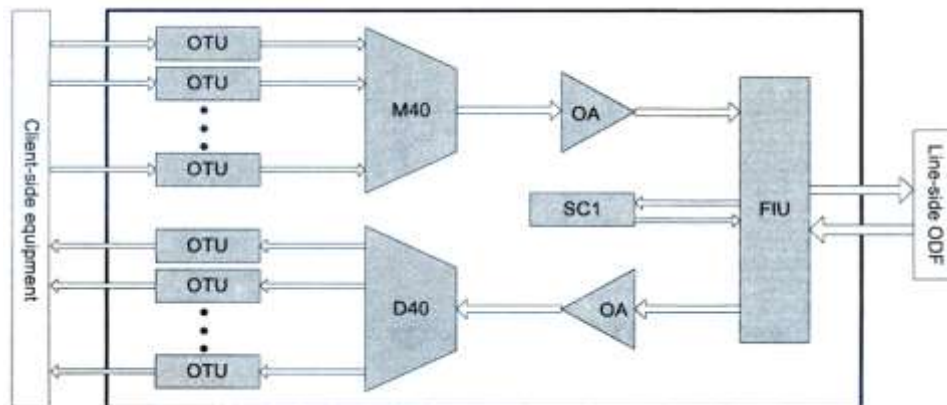
5.5.1.2. Các kiểu nút mạng OTM

Optix Metro 6100 DWDM OTM node có 2 kiểu:

- OTM với board M40/D40.
- OTM với board OADM.

❖ OTM với board M40/D40

Kiểu OTM này sử dụng tại các trạm với nhiều bước sóng được kích hoạt (thường thì nhiều hơn 16 bước sóng). Cấu trúc của khối OTM này được thể hiện trên hình vẽ sau:



Hình 5.18: Cấu trúc của DWDM OTM node sử dụng board M40/D40

OTU: Khối phát đáp quang

SC1: Khối giám sát kênh một hướng

FIU: Khối giao diện sợi quang

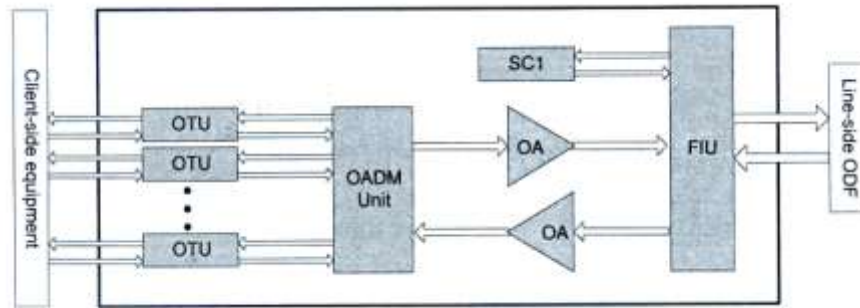
M40: Khối ghép quang

D40: Khối tách quang

OA: Khối khuếch đại

❖ OTM sử dụng các OADM

Kiểu OTM này thường được sử dụng tại các vị trí mà có ít bước sóng đo (thường chỉ ít hơn 16 bước sóng).



Hình 5.19: Cấu trúc của DWDM OTM node sử dụng board OADM

OTU: Khối phát đáp quang

SC1: Khối giám sát kênh quang

FIU: Khối giao diện sợi quang

OA: Khối khuếch đại quang

OADM Unit: Khối đa tách ghép quang

5.5.2. Nút mạng xen/rẽ quang OADM

5.5.2.1. Nguyên lý kỹ thuật

Các nút mạng DWDM OADM phù hợp cho các quang trình truyền tín hiệu theo nhiều hướng. Nó chia tín hiệu giám sát quang từ tín hiệu quang chính và gửi tới khối xử lý của kênh quang giám sát. Khối tín hiệu chính còn lại được khuếch đại và gửi tới khối OADM. Tại đây, bước sóng được tách và đưa tới các khối OTU và kết nối với phía thiết bị kết nối khách hàng. Các bước sóng truyền qua sẽ được ghép với bước sóng thêm vào cùng với kênh giám sát kênh quang, sau đó qua bộ khuếch đại quang và truyền lên đường truyền.

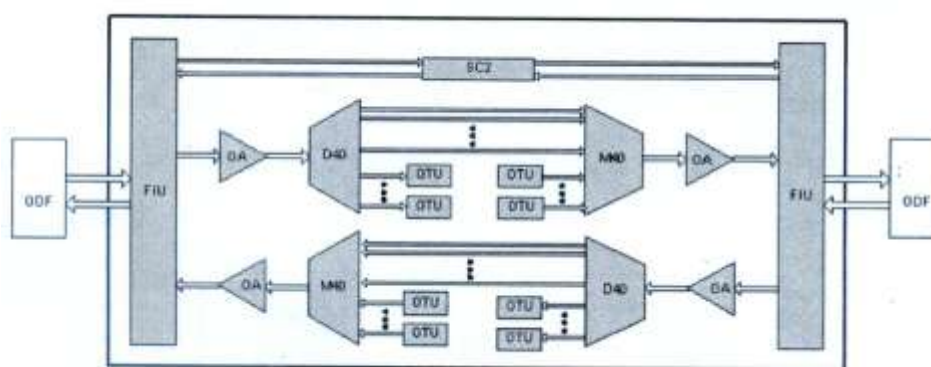
5.5.2.2. Các nút mạng OADM

Khối xen/rẽ quang của Optix Metro 6100 DWDM có 2 loại:

- OADM với board M40/D40
- OADM với board OADM

❖ Nút mạng OADM với board M40/D40

Khối OADM kiểu này được sử dụng ở các vị trí trung tâm. Nó thường bao gồm thêm các OTM back – to – back. Cấu trúc của loại OADM này được thể hiện trên hình vẽ sau:



Hình 5.20: Cấu trúc của khối OADM sử dụng board M40/D40

SC2: Khối giám sát kênh quang một chiều

FIU: Khối giao diện sợi quang

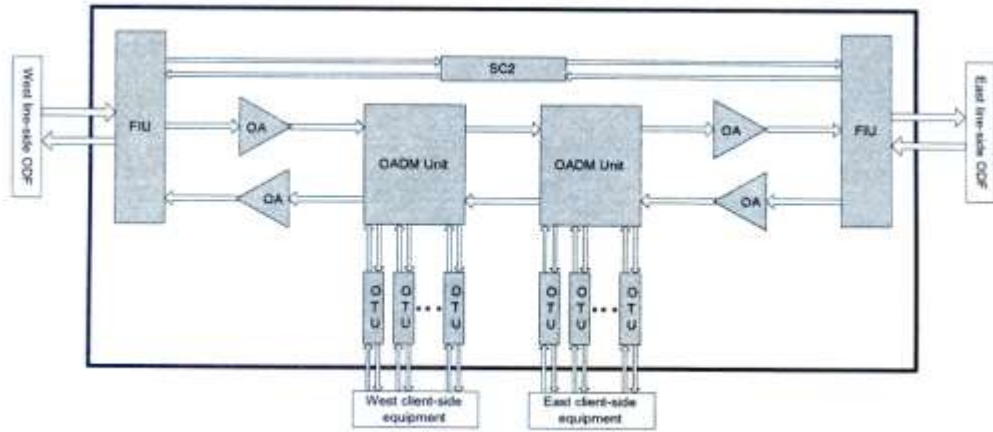
M40: Khối ghép quang

D40: Khối tách kênh quang

OA: Khối khuếch đại quang

❖ Nút mạng xen/rẽ sử dụng board OADM

Nút mạng OADM này được sử dụng tại các vị trí biên. Ưu điểm của kiểu OADM này là suy hao nhỏ và giá trị đầu tư thấp. Cấu trúc của khối OADM này thể hiện trên hình vẽ sau:



Hình 5.21: Cấu trúc của khối OADM sử dụng board OADM

OTU: Khối phát đáp quang

SC2: Khối giám sát kênh quang hai chiều

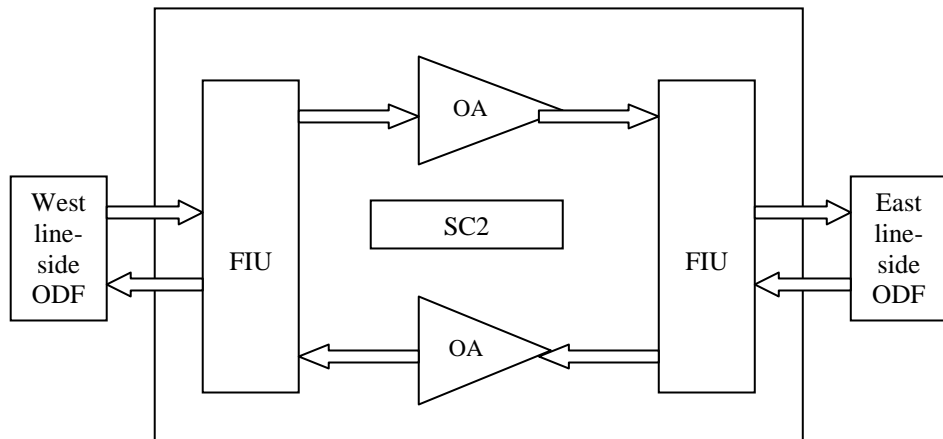
FIU: Khối giao diện sợi quang

OA: Khối khuếch đại quang

OADM Unit: Khối xen/rẽ kênh quang

5.5.3. Nút mạng khuếch đại đường dây OLA

Các nút mạng OLA trong DWDM được sử dụng để khuếch đại tín hiệu quang từ 2 hướng tín hiệu. Nó chia tín hiệu giám sát quang từ tín hiệu đường quang chính và trước tiên, nó gửi tín hiệu giám sát kênh quang tới khối xử lý giám sát kênh quang, các tín hiệu quang chính sẽ được khuếch đại sau đó lại ghép với tín hiệu giám sát kênh quang mà đã được xử lý và gửi lên đường quang để truyền đi.

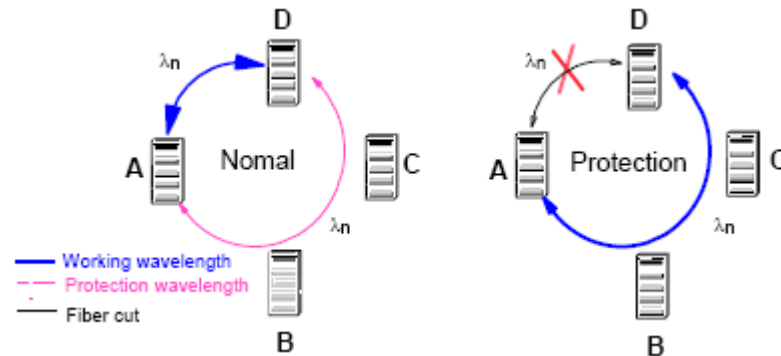


Hình 5.22: Cấu trúc của DWDM node OLA

5.6. BẢO VỆ MẠNG

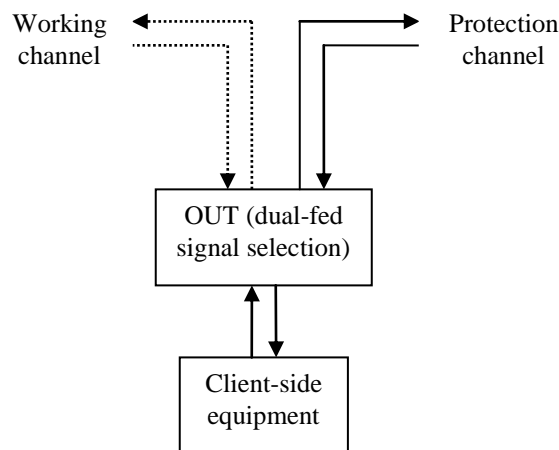
5.6.1. Bảo vệ kênh quang

5.6.1.1. Bảo vệ kênh quang kiểu 1+1



Hình 5.23: Sơ đồ ring sử dụng bảo vệ kênh quang

- ❖ Intra - OTU 1+1 bảo vệ kênh quang: Một số card OUT như LWM, LWX, LDG, LQS, LGS, AP4 và EC8 có một số chức năng được gọi là: “lựa chọn tín hiệu từ hai đầu vào” mà có thể nhận ra kênh quang bảo vệ.



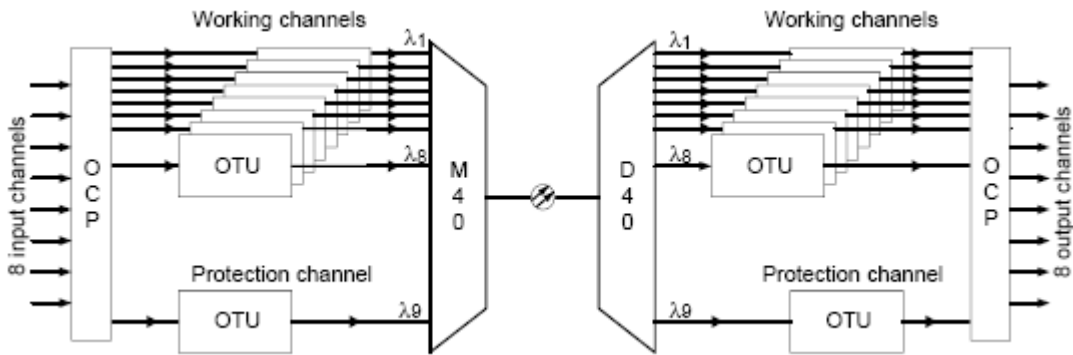
Hình 5.24: Bảo vệ kênh quang kiểu Intra-OUT 1+1

Tại phía khách hàng (client), tín hiệu được truy nhập thông qua card OTU sau đó, các tín hiệu quang này sẽ được thực hiện chế độ 3R - định dạng, lập, căn chỉnh (Reshaped, Regenerated, Retimed) và được gửi tới cả kênh working và kênh protection nhờ bộ chia (splitter). Tại phía nhận, bộ OTU sẽ

nhận dạng tín hiệu quang từ 2 hướng working và protection, tín hiệu nào tốt hơn sẽ được chọn và gửi tới khách hàng.

5.6.1.2. Bảo vệ 1:N (N<=8) OTU

Các dịch vụ quan trọng có thể bảo vệ bằng cách dự phòng (backup) một card OTU như hình vẽ:

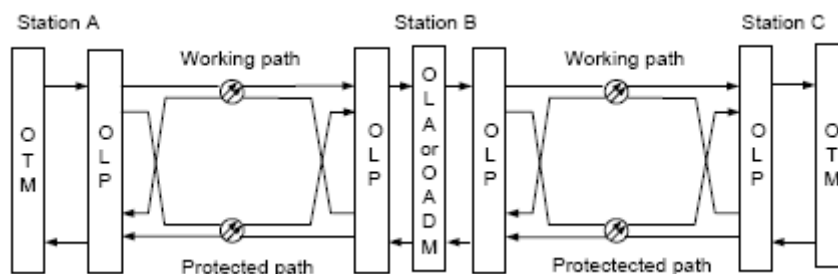


Hình 5.25: Bảo vệ kênh quang kiểu 1:N

Theo hình vẽ thì các bước sóng từ 1 - 8 được sử dụng như các kênh làm việc, kênh 9 được dùng cho kênh bảo vệ. Trong trường hợp bình thường thì không có dịch vụ trên kênh bảo vệ. Khi 1 trong 8 bước sóng có 1 kênh bị lỗi, OTU đó sẽ chuyển sang chế độ Standby và tất nhiên, dịch vụ này sẽ được chuyển qua cho bước sóng số 9. Trong trường hợp có nhiều kênh bị lỗi thì quá trình chuyển mạch sẽ chuyển sang kênh nào có mức ưu tiên cao hơn.

5.6.2. Bảo vệ đường quang

Optix Metro 6100 cung cấp bảo vệ cho đường dây tại lớp quang thông qua chức năng lựa chọn đường quang của card OLP. Sơ đồ bảo vệ được mô tả như hình vẽ:



Hình 5.26: Bảo vệ đường quang

Hai sợi quang trong một cáp quang được sử dụng như một đường làm việc 2 chiều và hai sợi quang khác từ sợi cáp thứ hai được sử dụng như một đường bảo vệ. Thông thường, đường working mang các thông tin về lưu lượng. Trong trường hợp có sự cố với đường working, ví dụ đường working đang bị đứt, tín hiệu sẽ tự động chuyển mạch sang hướng bảo vệ thông qua OLP. Bảo vệ đường là bảo vệ thời gian thực, thiết bị có thể phát hiện ra lỗi và tự động chuyển đổi ngay lập tức.

KẾT LUẬN

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. Đã có hàng loạt tuyến truyền dẫn đang vận hành và khai thác theo công nghệ mới này, nhất là khi mà nhu cầu dung lượng ngày càng cao như hiện nay.

Công nghệ DWDM có thể ghép nhiều bước sóng trong dải 1550 nm, tận dụng được băng thông rất rộng và khả năng dẫn sóng của sợi quang, từ đó nâng cao được dung lượng truyền dẫn trên sợi quang, đáp ứng được những yêu cầu về truyền dẫn tốc độ cao. Hiện nay, công nghệ DWDM đang được nghiên cứu và tiếp tục phát triển theo hướng: nâng cao tốc độ kênh, tăng số bước sóng ghép, truyền dẫn quang ở khoảng cách rất xa, phát triển từ mạng toàn quang điểm - điểm thành mạng toàn quang trong tương lai.

Với thời gian nghiên cứu và tìm hiểu thực tế mạng lưới, cũng như tìm hiểu công nghệ mới DWDM còn hạn chế, những gì được đề cập trong đồ án này thật sự nhỏ bé nên không thể tránh khỏi những thiếu sót. Em kính mong các thầy giáo và các bạn đóng góp ý kiến để đồ án của em hoàn thiện hơn. Một lần nữa em xin cảm ơn thầy giáo Th.S Đoàn Hữu Chúc đã nhiệt tình giúp đỡ em hoàn thành đồ án này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt:

1. Trần Đức Hân, Nguyễn Minh Hiền (2001), *Cơ sở kỹ thuật Laser*, Nhà xuất bản Giáo Dục .
2. Vũ Văn San (2007), *Kỹ thuật thông tin quang*, Nhà xuất bản Khoa học - Kỹ thuật .
3. Vũ Văn San (2003), *Hệ thống thông tin quang*, Nhà xuất bản Bưu điện.
4. Dương Đức Tuệ (2001), *Hệ thống ghép kênh theo bước sóng*, Nhà xuất bản Bưu điện .

Tiếng Anh:

1. By Ashwin Gumaste, Tony Antony (2003), *DWDM Network Designs and Engineering Solution*, Indianapolis, In 46290 USA.
2. Green (1992), *P.Fiber Optics Network*, Prentice Hall.
3. Agarwal (1995), *G.Nonlinear Fiber Optics*, Second Editon, Academic Press.

PHỤ LỤC**1. BẢNG TRA VỊ TRÍ CỦA TỪNG BOARD**

Loại board	Tên board	Chức năng	Độ rộng board (nm)	Khe có thể cắm
Khối phát đáp quang	LWF	Board chuyển đổi bước sóng phát-nhận giao diện STM-64 với chức năng FEC	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	LRF	Board chuyển đổi tái tạo bước sóng với giao diện STM-64 với chức năng FEC	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	LBE	Board chuyển đổi bước sóng với giao diện 10GE với chức năng FEC	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	TMX	Board chuyển đổi bước sóng 4 kênh STM-16 cận đồng bộ MUX OUT-2	64	IU1-IU5, IU8-IU12
	TMR	Board chuyển đổi bước sóng đoạn lặp với đường 10.71G với AFEC và G.709	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	LWC	Khối chuyển đổi bước sóng phát và thu giao diện STM-16	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	TRC	Board lặp phát với tín hiệu quang STM-16	32	IU1-IU6, IU8-IU13

Đồ án tốt nghiệp

	LWM	Board chuyển đổi nhiều tốc độ bước sóng quang	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	LWMR	Board tái tạo nhiều tốc độ bước sóng quang	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	LWX	Board phục hồi bước sóng bất kỳ	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	LWXR	Board phục hồi tốc độ bit bất kỳ	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	LQG	Board hội tụ ghép 8 x GE quang	32	IU1-IU5, IU9-IU13
	LDG	Khối 2 x Gigabit Ethernet	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	LQS	Board hội tụ ghép 4 x STM-1/4	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	EC8	Board hội tụ 8 x ESCON	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	AP4	Board hội tụ 4 kênh giao thức độc lập về dịch vụ	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	AP8	Board hội tụ 8 kênh giao thức độc lập về dịch vụ	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	AS8	Board hội tụ 8 kênh SDH bất kỳ	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	M40	Board ghép 40 kênh quang	64	IU2-IU6, IU9-IU13

Đồ án tốt nghiệp

Khối ghép/tá ch tín hiệu quang	V40	Board ghép 40 kênh quang với VOA	64	IU2-IU6, IU9-IU13
	D40	Board tách 4 kênh quang	64	IU2-IU6, IU9-IU13
	FIU	Khối giao diện cáp quang	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	EFIU	Board mở rộng giao diện đường quang	24	OADM frame: IU15-IU22
	ACS	Board truy nhập của OADM	24	OADM frame: IU15-IU22
Khối xen/rẽ quang	MB4	Board xen/rẽ 4 kênh quang	24	OADM frame: IU15-IU22
	MB2	Board xen/rẽ 2 kênh quang	24	OADM frame: IU15-IU22
	MR2	Khối xen/rẽ 2 kênh quang	24	OADM frame: IU15-IU22
	SBM2	Board xen/rẽ 2 kênh quang 2 hướng trên một sợi quang	24	OADM frame: IU15-IU22
	SBM1	Board xen/rẽ 2 kênh quang 2	24	OADM

Đồ án tốt nghiệp

		hướng trên một sợi quang		frame: IU15-IU22
Khối khuếch đại quang	OAU	Khối khuếch đại quang: OAU-C01, OAU-C02, OAU-C03	64	IU1-IU5, IU8-IU12
	OBU	Board khuếch đại khởi động:		IU1-IU6, IU8-IU13
		OBU-C01 OBU-C03	32 64	IU1-IU5, IU8-IU12
OPU	Board tiền khuếch đại quang: OPU-C01, OPU-C02	32	IU1-IU6, IU8-IU13	
Khối giám sát kênh quang	SC1	Khối giám sát kênh quang theo 1 hướng	32	IU6, IU8
	SC2	Khối giám sát kênh quang theo 2 hướng	32	IU6, IU8
	TC1	Khối giám sát kênh quang và truyền đồng bộ theo 1 hướng	32	IU6, IU8
	TC2	Khối giám sát kênh quang và truyền đồng bộ theo 2 hướng	32	IU6, IU8
Khối điều khiển và kết nối	SCC	Board điều khiển và kết nối hệ thống	24	IU7
Khối bảo vệ	SCS	Khối chia đồng bộ kênh quang	32	IU1-IU6, IU8-IU13

quang	OLP	Board bảo vệ đường quang	32	IU1-IU6, IU8-IU13
Khối phụ trợ	VOA	Khối suy hao quang biến đổi	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	VA4	Board suy hao quang biến đổi cho 4 kênh	32	IU1-IU6, IU8-IU13
	MCA	Khối phân tích phổ đa kênh	64	IU2-IU6, IU9-IU13
	PMU	Khối giám sát nguồn	32	IU14

2. BẢNG TẦN SỐ VÀ BƯỚC SÓNG TRUNG TÂM CỦA HỆ THỐNG OPTIX METRO 6100

STT	Tần số (THz)	Bước sóng (nm)	STT	Tần số (THz)	Bước sóng (nm)
1	192.1	1560.61	21	194.1	1544.53
2	192.2	1559.79	22	194.2	1543.73
3	192.3	1558.98	23	194.3	1542.94
4	192.4	1558.17	24	194.4	1542.14
5	192.5	1557.36	25	194.5	1541.35
6	192.6	1556.56	26	194.6	1540.56
7	192.7	1555.75	27	194.7	1539.77
8	192.8	1554.94	28	194.8	1538.98
9	192.9	1554.13	29	194.9	1538.19
10	193.0	1553.33	30	195.0	1537.40
11	193.1	1552.52	31	195.1	1536.61
12	193.2	1551.72	32	195.2	1535.82
13	193.3	1550.92	33	195.3	1535.04
14	193.4	1550.12	34	195.4	1534.25
15	193.5	1549.32	35	195.5	1533.47
16	193.6	1548.51	36	195.6	1532.68
17	193.7	1547.72	37	195.7	1531.90
18	193.8	1546.92	38	195.8	1531.12
19	193.9	1546.12	39	195.9	1530.33
20	194.0	1545.32	40	196.0	1529.55