

- CHƯƠNG I -

HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG WDM

1.1- NGUYÊN LÝ GHÉP KÊNH PHÂN CHIA THEO BƯỚC SÓNG (WDM)

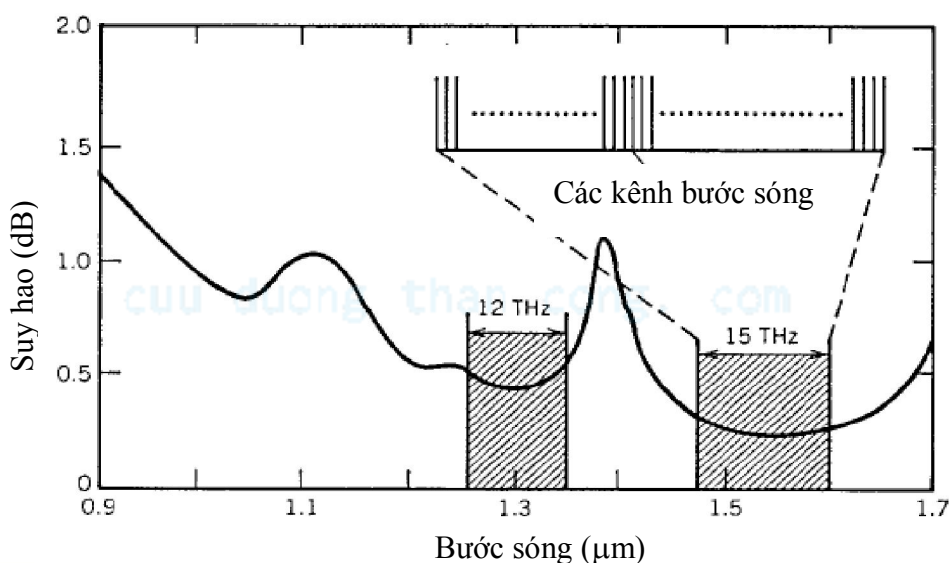
1.1.1- Giới thiệu chung

Một hệ thống truyền dẫn thông tin quang mà ở đó nhiều kênh bước sóng được ghép lại và truyền chung trên một đường truyền quang được gọi là hệ thống thông tin quang ghép kênh theo bước sóng (WDM - Wavelength Division Multiplexing).

Thực chất có thể hiểu hệ thống WDM như một hệ thống ghép kênh theo tần số FDM. Điều khác biệt ở đây chỉ là các tần số hoạt động nằm trong vùng bước sóng ánh sáng.

Ý tưởng về hệ thống truyền dẫn đa kênh bước sóng đã được đề ra từ khá sớm. Nó xuất phát từ hai luận điểm chính sau đây:

- Vùng phổ của một kênh truyền dẫn được giới hạn bởi tốc độ truyền dẫn. Ví dụ, một kênh truyền dẫn 10 Gbit/s sẽ có vùng phổ cỡ khoảng 10 GHz. Giá trị này có thể thay đổi tùy theo dạng mã tín hiệu sử dụng, tuy nhiên cũng không thể vượt xa cách quá một vài lần.
- Băng tần truyền dẫn của sợi quang là rất lớn. Vùng phổ mà ở đó suy hao của sợi quang vẫn cho phép truyền dẫn cự ly xa có thể lên tới vài chục THz. Ví dụ, vùng phổ của băng S, C, L là cỡ 15 THz, vùng phổ của băng O là cỡ 12 THz (hình 1.1).



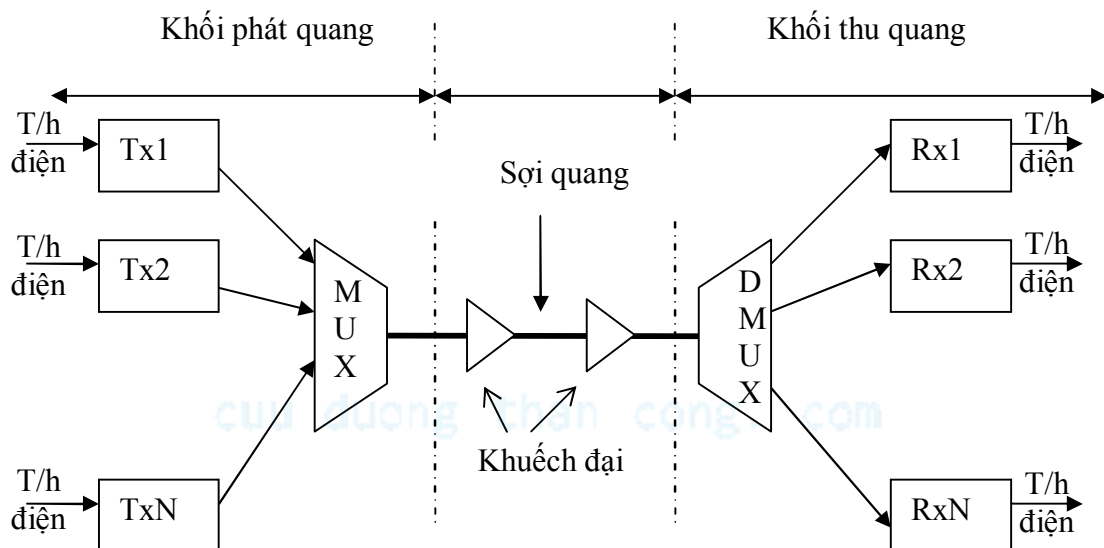
Hình 1.1. Vùng phổ suy hao của sợi quang và vị trí các kênh bước sóng có thể dùng trong WDM

Cụ thể các dải băng tần hoạt động trong WDM bao gồm:

- + Băng O (Original band): Là băng tần quang phủ vùng bước sóng 1310 nm, có giá trị bước sóng từ 1260 nm đến 1360 nm.
- + Băng E (Extended band): Băng E là vùng phủ các bước sóng từ 1360 nm đến 1460 nm. Vùng bước sóng này phủ trùm lên vùng bước sóng 1390 nm – là đỉnh hấp thụ OH trong sợi quang thông thường.
- + Băng S (Short wavelength band): Giá trị bước sóng của băng S từ 1460nm đến 1530 nm.
- + Băng C (Conventional band): Là băng tần quang phủ vùng bước sóng 1550 nm, có giá trị bước sóng từ 1530 nm đến 1565 nm.
- + Băng L (Long wavelength band): Là băng tần quang có các bước sóng dài hơn so với băng C. Giá trị bước sóng của băng L từ 1565 nm đến 1625 nm..
- + Băng U (Ultra-long wavelength band): Là băng tần quang phủ vùng bước sóng từ 1625 nm đến 1675nm.

1.1.2- Sơ đồ khối tổng quát

Hình 1.2 dưới đây mô tả sơ đồ khối tổng quát của một hệ thống WDM cấu hình điểm-điểm, truyền đơn hướng.



Hình 1.2. Sơ đồ khối tổng quát hệ thống WDM

Hệ thống thông tin quang WDM này về cơ bản gồm 3 phần chính: khối phát quang, khối thu quang và phần truyền dẫn quang.

+ Khối phát quang gồm N bộ phát quang tương ứng với N bước sóng $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ và một bộ ghép kênh quang theo bước sóng. Đầu ra của khối phát quang là N bước sóng đã được ghép lại để có thể ghép lên đường truyền quang.

+ Phần truyền dẫn quang gồm các đoạn sợi quang và các bộ khuếch đại đường truyền. Các bộ khuếch đại được đặt dọc theo đường truyền quang tại các khoảng cách hợp lý nhằm đảm bảo bù suy hao cho tín hiệu đến được phía đầu thu. Sợi quang được dùng trong các hệ thống WDM chủ yếu là sợi đơn một tiêu chuẩn đã được lắp đặt cho các hệ thống đơn kênh trước đó. Tuy nhiên, nếu một hệ thống WDM được lắp mới, loại sợi quang được dùng có thể là sợi đơn một dịch tán sắc không bằng không (NZ-DSF – Non Zero Dispersion Shifted Fiber) hoặc sợi có diện tích hiệu dụng lõi sợi lớn (LMA – Large Mode Area).

+ Khối thu quang gồm một bộ tách kênh bước sóng và N bộ thu quang để thu được N kênh bước sóng riêng biệt.

Một hệ thống WDM song hướng sẽ bao gồm hai hệ thống WDM đơn hướng đặt ngược chiều nhau. Như vậy, tại mỗi điểm truyền thông, sẽ có cả khối phát và khối thu quang. Các bước sóng của các kênh quang truyền ngược chiều nhau có thể sử dụng chung trên một sợi quang hoặc trên hai sợi riêng biệt.

cuuduongthancong.com

1.1.3- Các tham số của hệ thống WDM

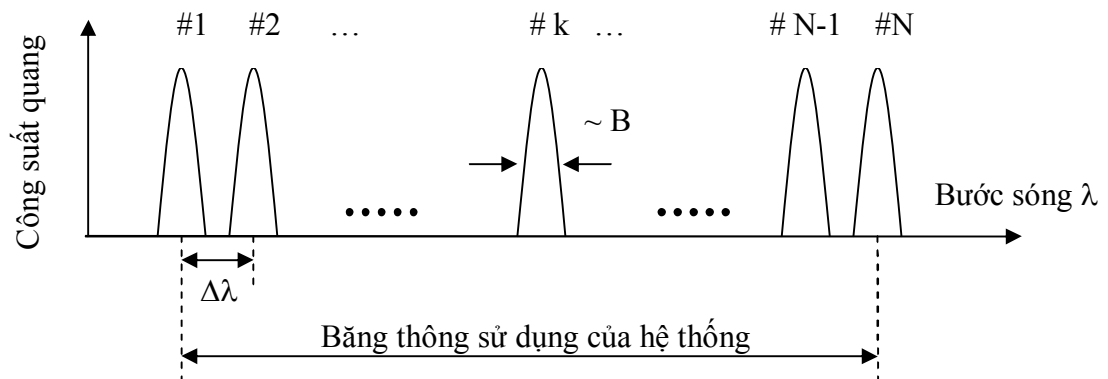
Để đánh giá, so sánh các hệ thống WDM, người ta đưa ra các tham số hệ thống như dưới đây:

- Số lượng kênh bước sóng N
- Khoảng cách giữa các kênh bước sóng $\Delta\lambda$
- Băng thông sử dụng của hệ thống $N \times \Delta\lambda$
- Tốc độ truyền tin trên mỗi kênh bước sóng B
- Dung lượng của hệ thống $N \times B$
- Dung lượng truyền dẫn của hệ thống $N \times B \times L$
- Hiệu suất sử dụng kênh bước sóng $B/\Delta\lambda$

Hình 1.3 mô tả một số tham số trên một cách trực quan hơn.

Ví dụ, một hệ thống WDM hoạt động ở băng C, gồm 32 kênh, với khoảng cách kênh 100 GHz, tốc độ truyền dẫn mỗi kênh 10 Gbit/s, khoảng cách truyền dẫn 500 km sẽ có các tham số sau: Số lượng kênh $N = 32$, khoảng cách kênh $\Delta\lambda = 100 \text{ GHz} = 0.8 \text{ nm}$, băng thông sử dụng $= 3200 \text{ GHz} = 25.6 \text{ nm}$, tốc độ truyền tin trên

mỗi kênh $B = 10 \text{ Gbit/s}$, dung lượng của hệ thống $= 320 \text{ Gbit/s}$, dung lượng truyền dẫn của hệ thống $= 160 \text{ Tbit/s-km}$ và hiệu suất sử dụng kênh bước sóng 10%.



Hình 1.3. Mô tả trực quan các tham số của hệ thống WDM

Thông thường, các tham số chính được quan tâm chủ yếu là số lượng kênh, tốc độ kênh, khoảng cách truyền dẫn và dung lượng truyền dẫn của hệ thống.

Bảng 1.1 dưới đây liệt kê các tham số chính của một số hệ thống WDM trong các phòng thí nghiệm.

Bảng 1.1- Các tham số chính của một số hệ thống WDM trong các phòng thí nghiệm.

Số kênh bước sóng N	Tốc độ kênh B (Gbit/s)	Khoảng cách truyền dẫn L (km)	Dung lượng truyền dẫn (Tb/s-km)	Trích dẫn
10	2	68	1.3	N.A.Olsson et al., EL., 1985
17	20	150	51.0	A.R. Chraplyvy et al., PTL, 1995
273	40	117	1277.6	K.Kufuchi et al., OFC, 2001
26	100	410	1066.0	D. Mongardien et al., ECOC, 2009
5	320	525	840.0	P. Guan et al., ECOC, 2009

Bảng 1.2 dưới đây liệt kê các tham số chính của một số hệ thống WDM hiện đang được khai thác trên thế giới.

Bảng 1.2- Các tham số chính của một số hệ thống WDM hiện đang được khai thác trên thế giới.

Số kênh bước sóng N	Tốc độ kênh B (Gbit/s)	Khoảng cách truyền dẫn DI	Dung lượng truyền dẫn (Pb/s-km)	Hệ thống
8 + 4	10 + 40	1 700	0.4	Mạng đường trục DWDM backbone VNPT (2010)
48	10	39 000	18.7	Mạng liên lục địa SEAMEWE3 (2007)
64	10	18 800	12	Mạng liên lục địa SEAMEWE4 (2008)

1.1.4- Phân loại và các chuẩn của hệ thống WDM

Có rất nhiều cách phân loại các hệ thống WDM. Tuy nhiên, phổ biến nhất là phân loại theo khoảng cách các kênh bước sóng sử dụng trong hệ thống.

1.1.3.1. Hệ thống WDM băng tần rộng (BWDM – Broad passband WDM)

Đây là hệ thống WDM ra đời sớm nhất trong lịch sử phát triển của WDM. Nó thực hiện truyền dẫn 2 kênh bước sóng trong đó mỗi kênh bước sóng thuộc một cửa sổ truyền dẫn (vùng 850 nm, 1310 nm hoặc vùng 1550 nm). Như vậy, khoảng cách giữa các kênh trong hệ thống này cỡ vài trăm nm.

Đặc điểm của hệ thống này là chi phí hệ thống thấp, tuy nhiên dung lượng và khoảng cách truyền dẫn bị giới hạn.

1.1.3.2. Hệ thống WDM ghép mật độ thấp (CWDM – Coarse WDM)

Đây là hệ thống WDM ra đời từ đầu những năm 1990 cho phép ghép nhiều hơn 2 bước sóng trên hệ thống. Khoảng cách giữa các bước sóng khá lớn (cỡ 20 nm).

ITU-T đã đưa ra chuẩn G.694.2 quy định về khoảng cách các kênh, bước sóng trung tâm của hệ thống này như sau:

- Khoảng cách các kênh: 2000 GHz
- Bước sóng trung tâm: 1552.52 nm
- Dải bước sóng hoạt động từ 1270 nm đến 1610 nm

1.1.3.3. Hệ thống WDM ghép mật độ cao (DWDM – Dense WDM)

Đây là hệ thống WDM ra đời từ giữa những năm 1990 và cũng chính là các hệ thống WDM hiện tại đang khai thác trên thế giới. Hệ thống này cho phép ghép rất nhiều các bước sóng trên hệ thống. Khoảng cách giữa các bước sóng chỉ cỡ 200 GHz, 100 GHz, 50 GHz và thậm chí là 25 GHz.

ITU- T đã đưa ra chuẩn G.692 quy định về khoảng cách các kênh, bước sóng trung tâm của hệ thống DWDM như sau:

- Khoảng cách các kênh: 100 GHz
- Bước sóng trung tâm: 1552.52 nm
- Vùng bước sóng hoạt động: Băng S, C, L, U.

1.2- CÁC PHẦN TỬ CƠ BẢN TRONG HỆ THỐNG WDM

1.2.1- Nguồn quang và thu quang

1.2.1.1. Nguồn quang

Nguồn quang sử dụng cho WDM có thể là các laser đơn một hoặc một laser đa một hoặc nguồn siêu băng rộng (supercontinuum) kết hợp với bộ lọc dạng răng lược. Dưới đây chúng ta sẽ lần lượt xét các nguồn quang trên.

a. Laser đơn một cho WDM

Thông thường, một laser đơn một sử dụng cho hệ thống WDM cũng không quá khác biệt so với một laser đơn một sử dụng cho hệ thống đơn kênh. Tuy nhiên, có một số yêu cầu ngặt nghèo đối với laser trong WDM, đó là:

- Sử dụng điều chế ngoài: Điều chế ngoài cho laser cho phép tạo ra các định dạng mã tín hiệu khác nhau như NRZ, RZ, CS-RZ hay DPSK. Các dạng mã điều chế này không những cho phép giảm phổ kênh tín hiệu điều chế mà còn có khả năng chịu đựng các ảnh hưởng khác tốt hơn như tán sắc màu, tán sắc một phân cực. Ngoài ra điều chế ngoài còn cho phép tốc độ điều chế cao, không bị chirp tần số.

Hiện tượng chirp tần số trong điều chế trực tiếp laser là sự thay đổi tần số ở sườn lên của xung tín hiệu (bit 1). Hiện tượng này liên quan đến quá trình thay đổi mật độ hạt tải đột ngột trong vùng nghèo của tiếp giáp p-n. Sự thay đổi mật độ hạt tải đột ngột sẽ khiến cho chiết suất vùng tích cực thay đổi khiến tần số chọn lọc từ khoang cộng hưởng cũng thay đổi theo.

- Độ rộng phổ hẹp: thông thường, laser DFB hoặc DBR là những lựa chọn thích hợp cho yêu cầu này. Tuy nhiên, một nguồn quang có độ rộng phổ quá hẹp lại không hoàn toàn thích hợp với hệ thống WDM bởi ngưỡng công suất của hiệu ứng tán xạ

kích thích Brillouin, một hiệu ứng phi tuyến làm suy giảm chất lượng hệ thống, tỉ lệ thuận với độ rộng phổ nguồn quang.

- Độ ổn định tần số cao: Đây là yêu cầu thiết yếu đối với một hệ thống WDM bởi khoảng cách của các kênh bước sóng trong hệ thống là rất hẹp (<1 nm) nên chỉ cần một kênh bước sóng trôi khỏi bước sóng định của nó cỡ nm là hệ thống không thể hoạt động bình thường được nữa.

Nguyên nhân của việc trôi tần số có thể do nhiệt độ hoặc sự già hóa vật liệu sử dụng trong laser. Khi nhiệt độ thay đổi tức thời trong khoang cộng hưởng, chiết suất của khoang cộng hưởng ngay lập tức thay đổi theo khiến cho tính chọn lọc bước sóng của khoang cộng hưởng cũng thay đổi. Do đó, bước sóng phát xạ bị thay đổi. Ngoài ra, khi nhiệt độ thay đổi, năng lượng vùng cấm của electron cũng thay đổi khiến bước sóng phát xạ thay đổi theo. Trong trường hợp nhiệt độ trong khoang cộng hưởng thay đổi trong một thời gian đủ dài, chiều dài khoang cộng hưởng cũng sẽ thay đổi theo khiến cho bước sóng phát xạ thay đổi. Kết quả thực nghiệm cho thấy, với laser Fabry – Perot, sự thay đổi 1 độ C trong khoang cộng hưởng sẽ dẫn đến sự dịch tần số khoảng 0.4 nm.

Để đảm bảo ổn định tần số cao, các kỹ thuật làm lạnh cho laser phải được áp dụng triệt để.

b. Laser đa mốt cho WDM

Ý tưởng sử dụng laser đa mốt cho WDM xuất phát từ nhu cầu cần một phần tử phát cùng lúc nhiều bước sóng với khoảng cách đều nhau cho hệ thống WDM. Việc sử dụng chỉ một phần tử phát ra nhiều bước sóng cùng lúc có một ưu điểm rõ ràng về việc ổn định tần số tương đối.

Laser đa mốt thường chỉ được đề xuất sử dụng cho hệ thống WDM có khoảng cách truyền ngắn.

c. Nguồn siêu băng rộng kết hợp với bộ lọc dạng răng lược

Vẫn giữ nguyên ý tưởng tạo ra các nguồn quang rẽ và ổn định về mặt tần số một cách tương đối, người ta đề xuất sử dụng một nguồn quang có phổ siêu rộng được cắt bởi một bộ lọc có đáp ứng hình răng lược để tạo ra các bước sóng có khoảng cách đều nhau phù hợp với chuẩn quy định.

Nguồn siêu băng rộng có thể được tạo ra bằng cách lợi dụng các hiệu ứng phi tuyến mở rộng phổ tín hiệu laser như hiệu ứng tán xạ Raman nội kênh, hiệu ứng tự điều chế pha, hiệu ứng tự dịch tần số soliton.

1.2.1.2. Thu quang

Bộ thu quang sử dụng trong hệ thống WDM cũng giống như sử dụng trong các hệ thống đơn kênh. Đó có thể là photodiode PIN hay APD (chi tiết về các loại photodiode này có thể tìm thấy trong bài giảng môn “Cơ sở kỹ thuật truyền thông sợi quang”).

1.2.2- Ghép và tách kênh bước sóng quang

1.2.2.1. Một số phần tử cơ bản

Trước khi tìm hiểu về các kỹ thuật ghép tách kênh bước sóng quang chúng ta hãy tìm hiểu về các phần tử cơ bản hay được sử dụng để tạo nên các bộ ghép tách kênh quang. Các phần tử này gồm có:

- Coupler công suất
- Coupler lựa chọn bước sóng
- Coupler sao
- Cách tử
- Bộ lọc quang

Dưới đây là chi tiết các phần tử này.

a. Coupler

Khái niệm:

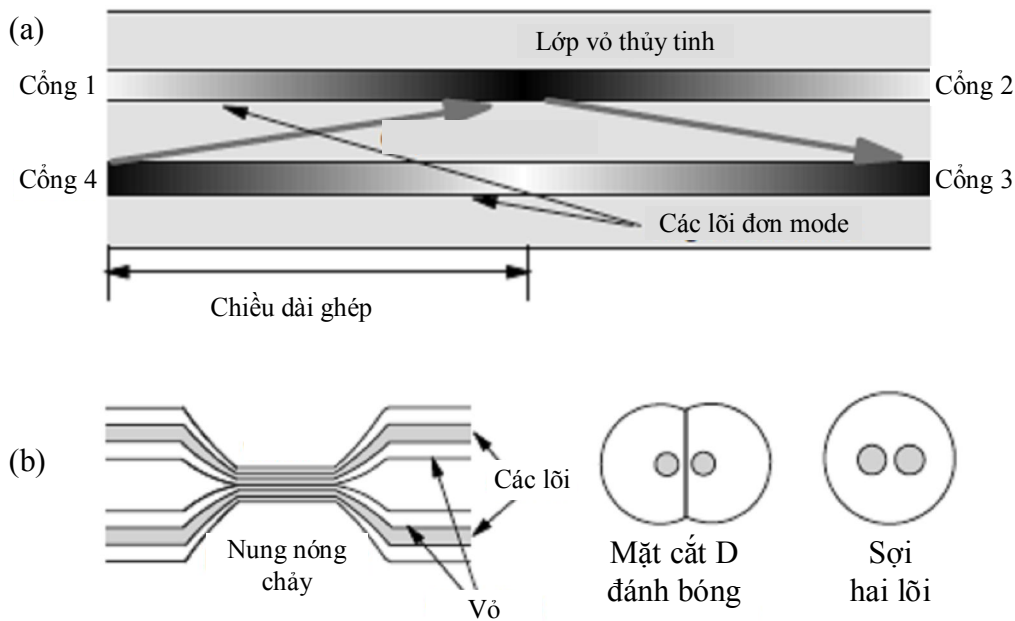
Coupler là một phần tử quang 4 cửa cho phép ghép/tách công suất tín hiệu từ 2 cửa đầu vào đến 2 cửa đầu ra. Coupler 3dB là một trường hợp đặc biệt trong đó công suất ghép/tách là 1/2 công suất tổng.

Cấu trúc:

Cấu trúc cơ bản của một coupler gồm hai ống dẫn sóng (sợi quang) đơn đặt song song cạnh nhau. Khoảng cách của hai ống dẫn sóng hoặc sợi quang này phải đủ gần để có thể xảy ra hiệu ứng cộng hưởng lan truyền từ sợi này sang sợi kia.

Hình 1.4 mô tả hoạt động của hiện tượng ghép/tách công suất qua hiện tượng cộng hưởng. Tín hiệu quang đi vào cửa số 4 và lan truyền trong sợi quang phía dưới. Dọc theo đường truyền quang, do hiệu ứng cộng hưởng, một phần công suất quang được truyền trên sợi thứ 2. Phần công suất này tiếp tục được truyền sang cho đến hết phần công suất trên sợi phía dưới. Hiện tượng này tiếp tục lặp lại nhưng theo chiều ngược lại: Công suất truyền từ sợi phía trên xuống sợi phía dưới. Quá trình này tiếp diễn ra dọc theo sợi quang tạo ra một ‘dao động’ về công suất quang dọc

theo chiều dài hai sợi. Khoảng cách của nửa chu kỳ dao động này được gọi là chiều dài ghép công suất. Chiều dài này tỉ lệ thuận với khoảng cách giữa hai sợi quang.



Hình 1.4. (a) Hiệu ứng cộng hưởng công suất trong hai ống dẫn sóng đặt cạnh nhau và (b) ứng dụng làm coupler ghép/tách công suất

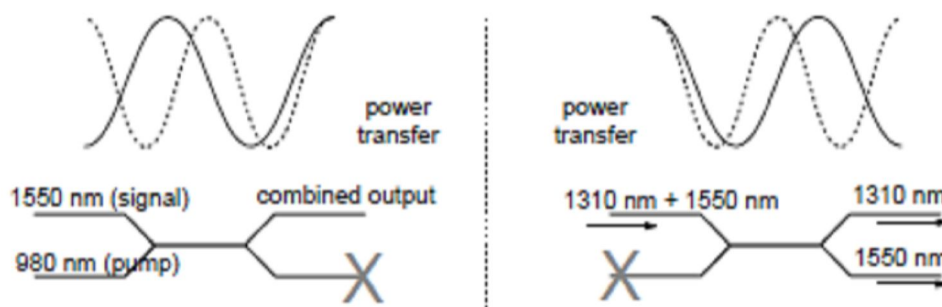
Như vậy, tùy theo tỉ lệ ghép/tách công suất quang đặt ra, cấu trúc của coupler sẽ khác nhau ở chiều dài và khoảng cách giữa hai sợi.

Đặc điểm:

- Ánh sáng đi từ cổng vào tới một cổng ra hết một chiều dài ghép công suất sẽ bị dịch pha 180° .
- Trong coupler 3dB, ánh sáng đi vào một cổng, đi ra trên cổng khác sợi so với cổng vào sẽ bị dịch pha 90° .
- Giá trị chiều dài ghép công suất là khác nhau với các bước sóng khác nhau.
- Nếu hai bước sóng giống nhau, hai sợi quang giống nhau, ta không thể thực hiện được bộ ghép công suất đạt hiệu suất 100 % trên một cổng.

b. Coupler lựa chọn bước sóng

Dựa vào đặc tính các bước sóng khác nhau có chiều dài ghép công suất khác nhau, người ta tạo ra các coupler lựa chọn bước sóng. Coupler này có thể ghép/tách 100 % công suất trên mỗi cổng. Hình 1.5 mô tả hoạt động tách/ghép bước sóng sử dụng loại coupler này.



Hình 1.5. Coupler lựa chọn bước sóng: (a) ghép bước sóng, (b) tách bước sóng

c. Coupler sao

Về cơ bản, một coupler sao là coupler có nhiều cổng đầu vào và nhiều cổng đầu ra.

d. Isolator

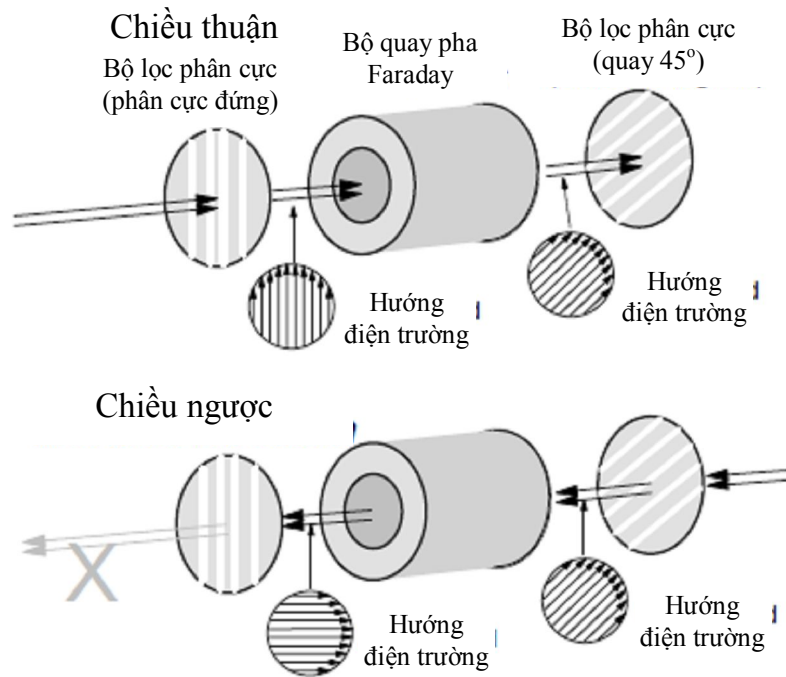
Là một phần tử không đối xứng quang học. Nó cho phép tín hiệu đi theo một chiều và ngăn không cho đi theo chiều ngược lại.

Nguyên lý hoạt động của isolator được mô tả trong hình 1.6. Phần tử cơ bản của bộ isolator là bộ quay pha Faraday có đặc tính quay pha tín hiệu 45° bất kể ánh sáng đi vào theo chiều thuận hay ngược.

- Xét tín hiệu ánh sáng đi vào theo chiều thuận: Ánh sáng đi qua bộ lọc phân cực (phân cực đứng), tiếp đó đi qua bộ quay pha Faraday. Khi này ánh sáng được quay phân cực 45° và đi qua hoàn toàn bộ lọc phân cực đặt cùng hướng 45° phía sau đó.
- Xét tín hiệu ánh sáng đi vào theo chiều ngược. Ánh sáng đi qua bộ lọc phân cực 45° tiếp đó đi qua bộ quay pha Faraday sẽ có trạng thái phân cực là phân cực ngang. Như vậy, tín hiệu ánh sáng này sẽ bị chặn lại bởi bộ lọc phân cực đứng và không thể đi qua bộ isolator.

Để tránh trường hợp tín hiệu đi vào theo chiều thuận có thể sẽ không đi qua được bộ isolator (hoặc mất một phần năng lượng) do không phân cực đúng theo phương đứng, người ta sử dụng trước hết một bộ chia phân cực rồi xử lý trên hai nhánh song song và kết hợp chúng lại với nhau tại đầu ra. Khi đó, bộ isolator sẽ không phụ thuộc vào phân cực nữa.

Bộ chia phân cực được làm từ vật liệu có tính chất lệch phân cực (birefringent). Ánh sáng đi từ vật liệu đó ra ngoài không khí sẽ tách hai thành phần phân cực ra theo hai hướng. Một thành phần sẽ khúc xạ ra khỏi vật liệu (vì chiết suất đối với thành phần này là cố định) và một thành phần sẽ phản xạ trở lại vật liệu và đi ra theo một đường khác (vì chiết suất đối với thành phần này khác so với thành phần kia).



Hình 1.6. Nguyên lý hoạt động của isolator

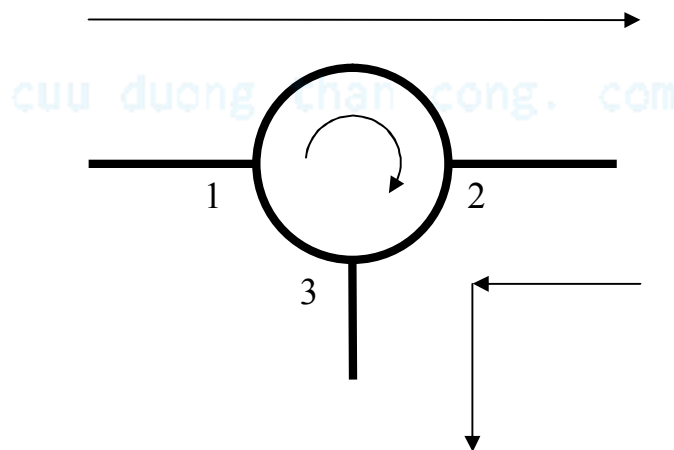
Tham số quan trọng của bộ isolator là suy hao xen (theo chiều thuận) và suy hao chặn (theo chiều ngược). Thông thường, suy hao xen càng thấp càng tốt và suy hao chặn càng lớn càng tốt.

Một bộ isolator thông thường có suy hao xen nhỏ hơn 1 dB và suy hao chặn lớn hơn 50 dB.

đ. Circulator

Là một phần tử không đối xứng quang học. Nó cho phép truyền ánh sáng tín hiệu từ một cửa vào sang cửa lân cận và không cho truyền ngược lại.

Dạng điển hình của một circulator là một phần tử 3 cổng (hình 1.7)

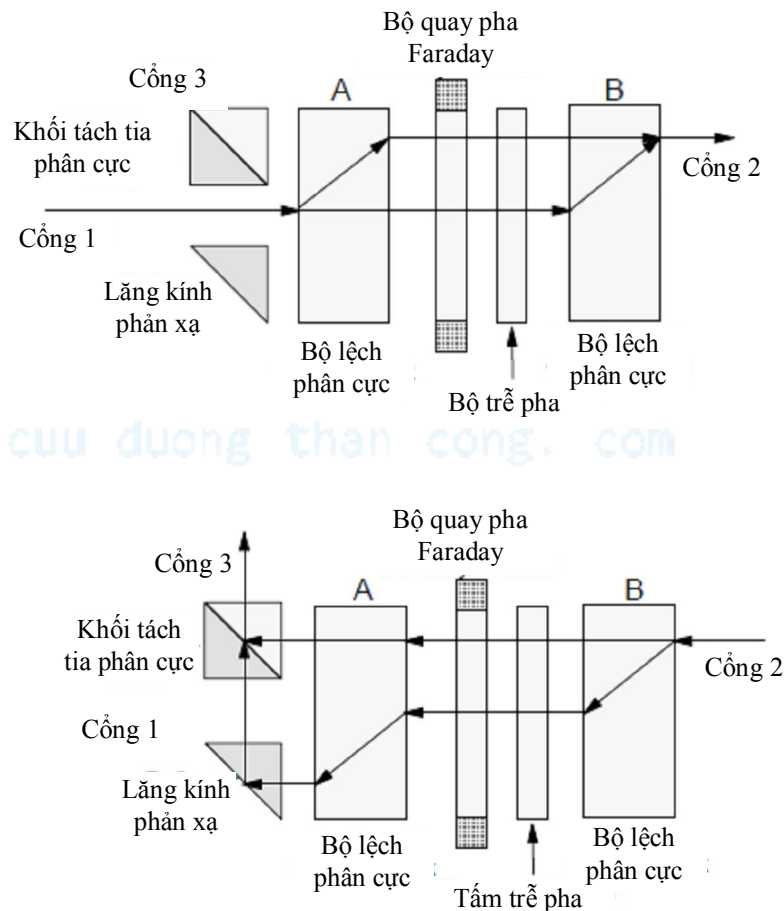


Hình 1.7. Dạng điển hình của một circulator 3 cổng

- Tín hiệu đi vào cổng 1 thì được truyền thông suốt tới cổng 2
- Tín hiệu đi vào cổng 2 thì được truyền thông suốt tới cổng 3

Hình 1.8 dưới đây mô tả nguyên lý hoạt động của một circulator trên thực tế. Bộ circulator này gồm các phần tử :

- Bộ quay pha Faraday 45°
- Bộ trễ pha 45°
- Khối lệch phân cực



Hình 1.8. Nguyên lý hoạt động của circulator: (a) đường ánh sáng từ cổng 1 ra cổng 2, (b) đường ánh sáng từ cổng 2 ra cổng 3.

Ánh sáng đi vào cổng 1 (hình 1.8.a) sẽ không đi qua các gương lăng kính mà đi thẳng đến bộ lệch phân cực A. Bộ này chia ánh sáng thành hai chùm phân cực khác nhau và có hai góc lệch khác nhau (chùm phân cực đứng đi thẳng, chùm phân cực ngang đi lệch xuống dưới). Cả hai chùm phân cực này đi qua bộ quay pha Faraday và quay pha 45° thông thường để có sự quay pha 90° . Khi này, trạng thái

phân cực của hai chùm tia này đảo cho nhau. Chùm phía dưới trở thành phân cực đứng nên đi thẳng qua bộ lệch phân cực B. Chùm phía trên trở thành phân cực ngang nên đi lệch xuống dưới và kết hợp với chùm phân cực đứng để cùng ra cổng 2.

Theo chiều ngược lại (hình 1.8.b), ánh sáng đi vào cổng 2, bộ lệch phân cực làm lệch chùm sáng theo hai đường: chùm ánh sáng phân cực đứng sẽ đi theo đường phía trên (đi thẳng), chùm ánh sáng phân cực ngang sẽ bị lệch xuống đường phía dưới. Cả hai chùm này đi qua bộ quay pha 45° và quay pha Faraday sẽ không ảnh hưởng đến tính phân cực hiện có (do chiều quay pha của bộ quay pha và bộ quay pha Faraday lúc này ngược nhau). Như vậy, khi đến bộ lệch phân cực A, chùm phân cực ngang (phía dưới) tiếp tục bị làm lệch đường đi xuống dưới còn chùm phân cực đứng vẫn tiếp tục đi thẳng. Về mặt không gian, hai chùm tia này đi lệch khỏi đường đi của chùm tia đi vào cửa 1 nên sẽ không hề có ánh sáng đi ra cửa 1. Hai chùm tia này sau đó sẽ được kết hợp với nhau thông qua các gương lăng kính và ra cửa 3.

e. Cách tử phẳng:

- Khái niệm:

Là một phần tử quang, được cấu tạo từ một mặt phẳng chứa nhiều đường nổi (hoặc rãnh) song song và cách nhau những khoảng cố định.

- Nguyên lý:

Khi một chùm sáng chiếu đến mặt cách tử, tại điểm đến của chùm sáng, ánh sáng sẽ bị tán xạ trở lại và giao thoa lẫn nhau tạo thành các góc phản xạ mà ở đó ánh sáng được tăng cường lẫn nhau (hình 1.9.a). Các góc này có giá trị rời rạc và xác định theo công thức:

$$m\lambda = \Lambda(\sin\theta + \sin\phi_m) \quad (1.1)$$

trong đó: m là bậc phản xạ, ϕ_m góc phản xạ tương ứng với bậc m , θ là góc tới, Λ là chu kỳ cách tử và λ là bước sóng tới.

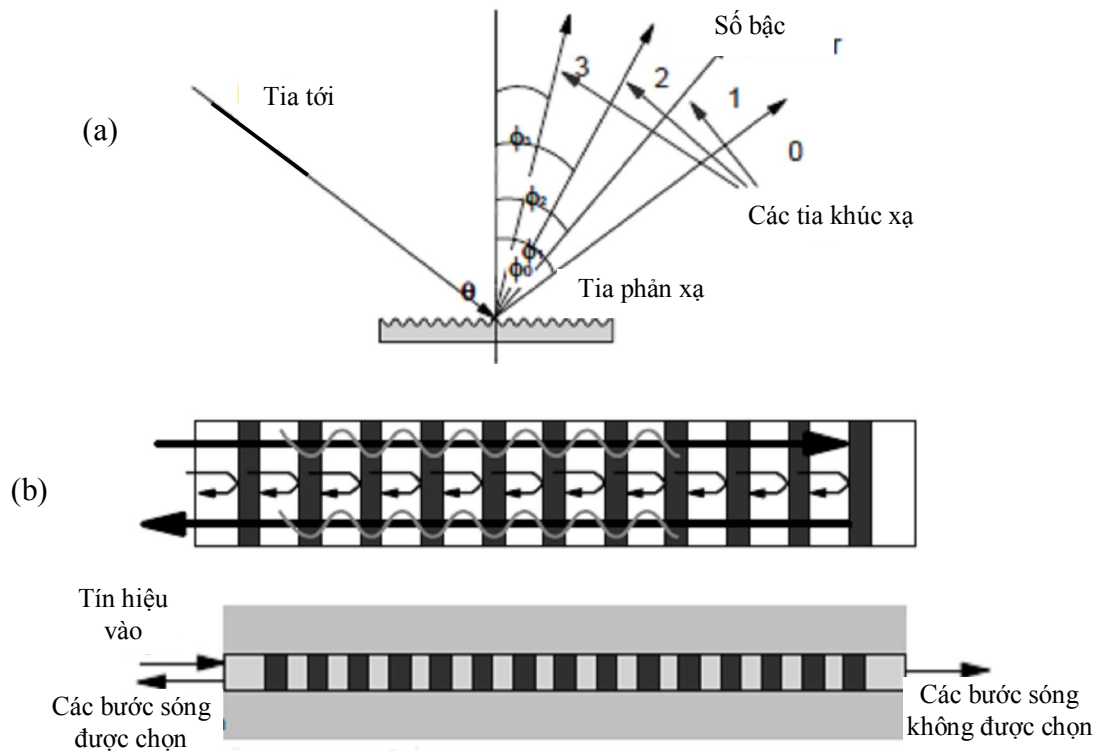
Trường hợp $m = 0$, góc phản xạ bằng góc tới.

- Đặc điểm:

Cách tử có một số đặc điểm như sau

- Hình dạng của các rãnh cách tử có thể khác nhau. Góc phản xạ của các bậc phản xạ không phụ thuộc vào hình dạng của rãnh cách tử nhưng phân năng lượng phân bố trên mỗi bậc lại phụ thuộc. Nhờ đó, người ta có thể thiết kế các cách tử sao cho phần lớn năng lượng tập trung vào một bậc phản xạ nào đó.

- Khi chu kỳ cách tử nhỏ hơn bước sóng, ta có thể tạo ra cách tử chỉ phản xạ hai bậc phản xạ (tương ứng $m = 0$ và $m = 1$).



Hình 1.9. Nguyên lý hoạt động của cách tử thường (a) và cách tử Bragg (b)

a. Cách tử Bragg sợi quang

- Khái niệm:

Là một đoạn sợi quang có chiết suất lõi thay đổi tuần tự. Nó cho phép phản xạ một bước sóng xác định và cho qua các bước sóng còn lại.

- Nguyên lý:

Nguyên lý hoạt động của cách tử Bragg hoàn toàn khác với nguyên lý hoạt động của cách tử phẳng.

Thực chất, bước sóng bị phản xạ sẽ được phản xạ từng phần tại mỗi chu kỳ cách tử được xác định danh giới bởi các lớp chiết suất khác nhau. Các phần phản xạ này sẽ tăng cường lẫn nhau theo chiều phản xạ về (hình 1.9.b).

Bước sóng phản xạ sẽ được xác định theo điều kiện giống như trong hộp cộng hưởng F-P mà ở đó bước sóng phản xạ chính là một dọc đầu tiên..

$$\lambda_B = 2\Lambda n_{\text{eff}} \quad (1.2)$$

f. Bộ lọc quang khả chỉnh

- Khái niệm:

Là một linh kiện quang cho phép một số tần số (bước sóng) ánh sáng truyền qua và chặn những bước sóng còn lại.

Tham số đặc trưng của bộ lọc là hàm truyền đạt mô tả hệ số truyền qua của bộ lọc theo hàm của tần số ánh sáng. Tham số này được thể hiện qua tần số cho qua trung tâm và độ rộng phổ của hàm truyền đạt.

Một bộ lọc có hàm truyền đạt điều chỉnh được gọi là bộ lọc quang khả chỉnh. Như vậy, nếu bộ lọc đó có độ rộng phổ hoặc bước sóng trung tâm thay đổi được sẽ được xếp vào loại bộ lọc khả chỉnh. Tuy nhiên, nghĩa thông thường được hiểu khi nói đến bộ lọc khả chỉnh là khả năng thay đổi bước sóng trung tâm.

Có nhiều kỹ thuật để tạo ra những bộ lọc khả chỉnh. Ở đây, chúng ta chỉ xem xét một số loại điển hình.

- Bộ lọc Fabry – Perot

Bộ lọc Fabry – Perot sử dụng tính chọn lọc bước sóng của khoang cộng hưởng Fabry Perot làm nguyên lý hoạt động. Những bước sóng nào thỏa mãn điều kiện cộng hưởng sẽ được cho qua. Điều kiện cộng hưởng là một chu trình quang trong khoang cộng hưởng phải là số nguyên lần của bước sóng. Tần số ánh sáng đi qua bộ lọc Fabry – Perot tuân theo biểu thức (1.3).

$$f = m.c/(2Ln) \quad (1.3)$$

Với m là một số nguyên, c là vận tốc ánh sáng, L là chiều dài hốc cộng hưởng và n là chiết suất.

Từ biểu thức trên, ta thấy, nếu chiều dài L hoặc chiết suất n của khoang cộng hưởng thay đổi, tính chọn lọc tần số của bộ lọc cũng thay đổi.

Hình 1.10.a mô tả cấu tạo một bộ lọc FP khả chỉnh sử dụng khoang cộng hưởng là khoảng cách giữa hai đầu sợi quang. Khoảng cách này có thể điều chỉnh được nhờ vào hệ vi điều chỉnh cơ điện (piezo)

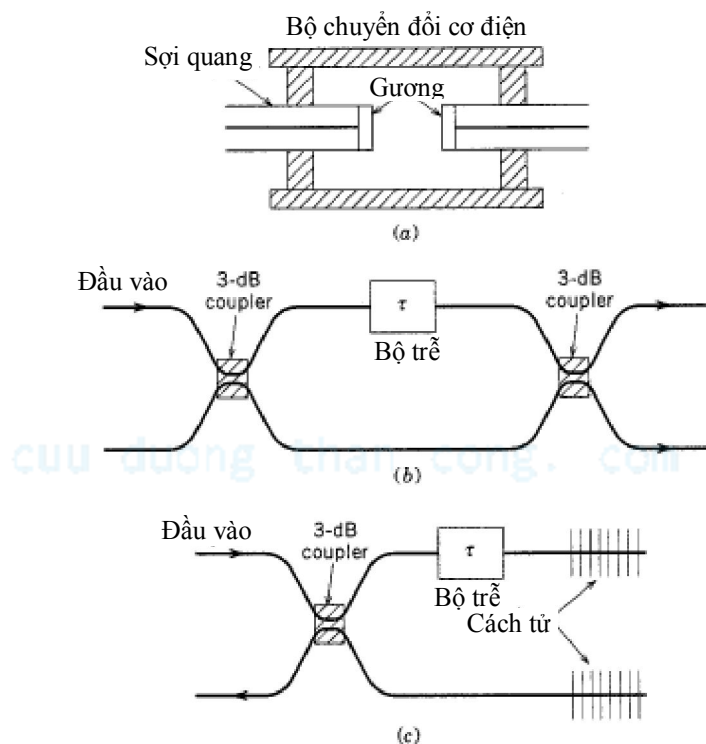
- Bộ lọc Mach-Zehnder

Bộ lọc MZ sử dụng tính giao thoa của giao thoa kế MZ làm nguyên lý hoạt động. Một bước sóng di chuyển trên hai nhánh (hai môi trường khác nhau) sẽ có độ dịch pha khác nhau tại đầu ra. Nếu độ dịch pha là số nguyên lần của 2π , bước sóng đó sẽ giao thoa và xuất hiện tại đầu ra, với những bước sóng khác hệ số truyền đạt sẽ nhỏ hơn 1. Trong trường hợp có thể thay đổi được độ trễ pha trên một nhánh giao thoa kế, tính chọn lọc tần số ra sẽ thay đổi theo. Như vậy, ta có thể điều chỉnh được tần số trung tâm bộ lọc.

Hình 1.10.b mô tả cấu tạo một bộ lọc MZ khả chỉnh sử dụng bộ trễ quang chỉ trên một nhánh của giao thoa kế.

- Bộ lọc Michelson sử dụng cách tử sợi quang

Nguyên lý hoạt động của bộ lọc khả chỉnh Michelson giống như bộ lọc MZ. Điểm khác biệt duy nhất giữa hai bộ lọc này là cách thức tạo ra hai quang trình đường đi của ánh sáng trên hai nhánh. Với giao thoa kế Michelson, đường đi của nhánh chịu sự tác động của bộ trễ sẽ đi qua bộ trễ 2 lần (nhờ cách tử phản xạ Bragg) và coupler 3dB được sử dụng chung cho cả đường vào và đường ra (hình 1.10.c).



Hình 1.10. Một số bộ lọc khả chỉnh: (a) bộ lọc Fabry – Perot, (b) bộ lọc Mach-Zehnder, (c) bộ lọc Michelson.

1.2.2.2. Ghép kênh bước sóng

- Khái niệm:

Là linh kiện quang cho phép ghép về mặt không gian nhiều bước sóng từ nhiều cổng vào tới một cổng đầu ra.

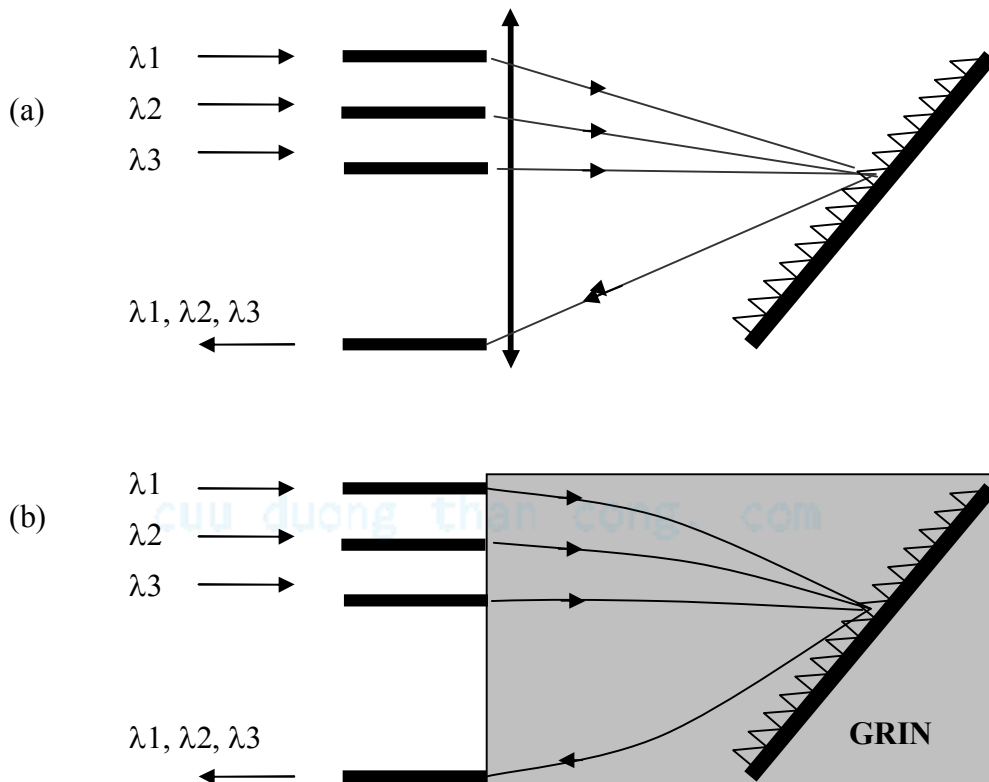
- Nguyên lý: Có rất nhiều nguyên lý hoạt động cho các bộ ghép kênh bước sóng tùy theo cấu trúc và công nghệ sử dụng. Tuy nhiên, ta có thể chia ra thành hai nguyên lý điển hình là tán xạ và giao thoa.

Dưới đây chúng ta xem xét một số cấu trúc dựa trên hai nguyên lý này

a. Ghép kênh sử dụng các phần tử tán xạ góc

Hiện tượng tán xạ ánh sáng được hiểu là các ánh sáng có tần số khác nhau sau khi va đập vào phần tử tán xạ sẽ thay đổi hướng truyền khác nhau. Lợi dụng tính chất này, các phần tử tán xạ góc được ứng dụng để ghép nhiều luồng ánh sáng với các tần số khác nhau dưới các góc tới khác nhau để hướng chúng ra chung một đầu ra.

Hình 1.11 mô tả cấu trúc, hoạt động của bộ ghép sử dụng cách tử phẳng làm phần tử tán xạ góc.



Hình 1.11. Nguyên lý bộ ghép sử dụng tán xạ cách tử phẳng kết hợp thấu kính (a) và kết hợp môi trường chiết suất biến đổi đều

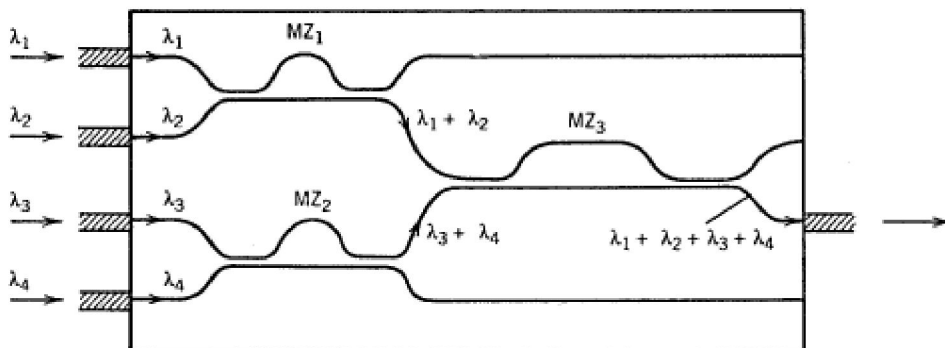
b. Ghép kênh sử dụng các phần tử giao thoa

Với một bước sóng riêng lẻ, sau ánh sáng khi đi qua một coupler sẽ tách thành nhiều đường đi. Trên mỗi đường đi, quang trình của chúng không giống nhau, vì vậy, tại vùng giao thoa của coupler đầu ra, sẽ chỉ có một cổng ra mà ở đó ánh sáng sẽ tăng cường lẫn nhau.

Như vậy, với hai bước sóng khác nhau, hoàn toàn có thể lựa chọn thiết kế các nhánh quang trình sau coupler sao cho các bước sóng khác nhau đi vào từ các cổng khác nhau sẽ đi ra chung một cổng.

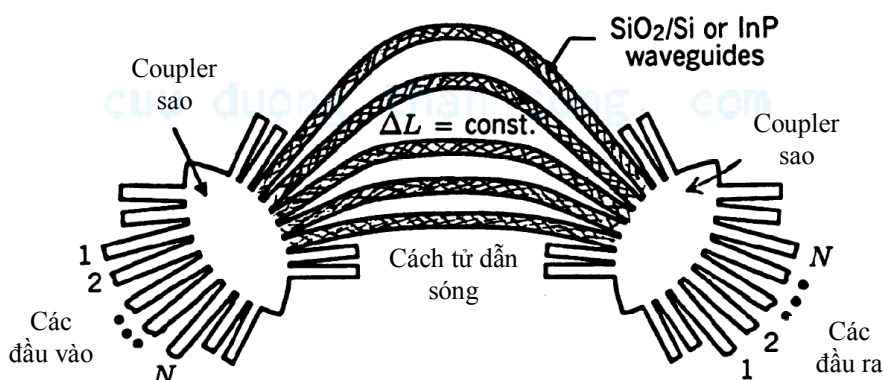
Dưới đây là cấu trúc một số bộ ghép kênh sử dụng các cấu trúc giao thoa khác nhau.

- Sử dụng các giao thoa kế MZ



Hình 1.12. Bộ ghép kênh sử dụng các giao thoa kế MZ

- Sử dụng mảng cách tử dẫn sóng

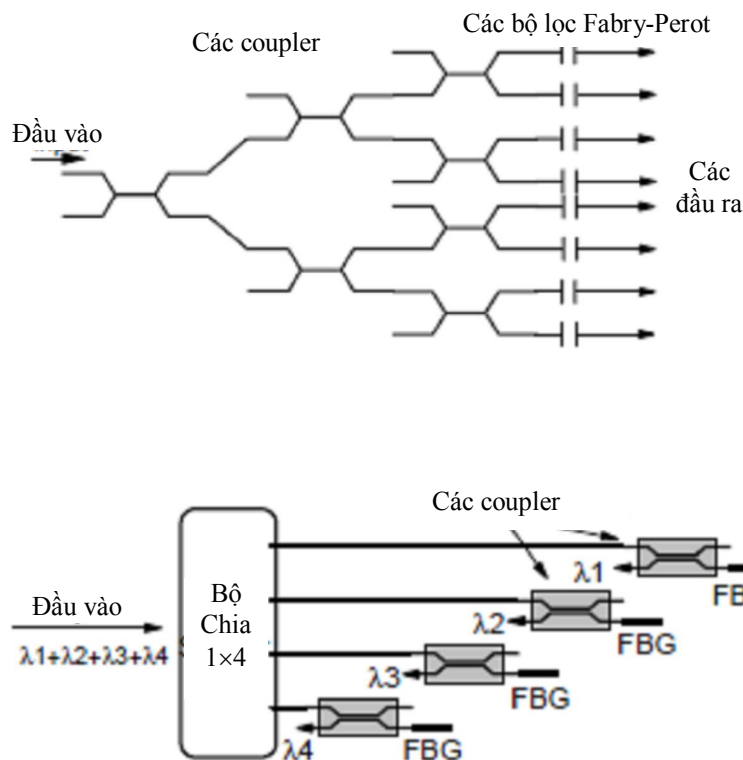


Hình 1.13. Bộ ghép kênh quang sử dụng mảng cách tử dẫn sóng - AWG

1.2.2.3. Tách kênh bước sóng

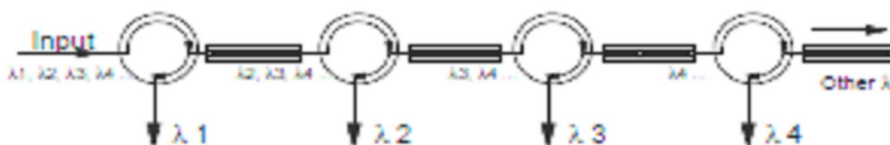
Nói chung, có 3 phương án để thực hiện tách kênh bước sóng trong WDM.

- Phương án 1: Sử dụng bộ chia công suất và các bộ lọc. Nhóm kênh N bước sóng được chia công suất trên N cổng của một bộ chia rồi tiếp đó sử dụng bộ lọc trên mỗi cổng ra tương ứng với các bước sóng. Hình 1.14.a dưới đây mô tả một ví dụ dùng các bộ chia 3 dB nối tiếp nhau kết hợp với các bộ lọc Fabry-Perot. Hình 1.14.b mô tả một ví dụ dùng bộ chia công suất kết hợp với các bộ lọc cách tử Bragg sợi quang. Nhược điểm của phương án này là suy hao công suất ở cổng đầu ra và giá thành sẽ tỉ lệ thuận với số lượng kênh bước sóng (số lượng cổng đầu ra).



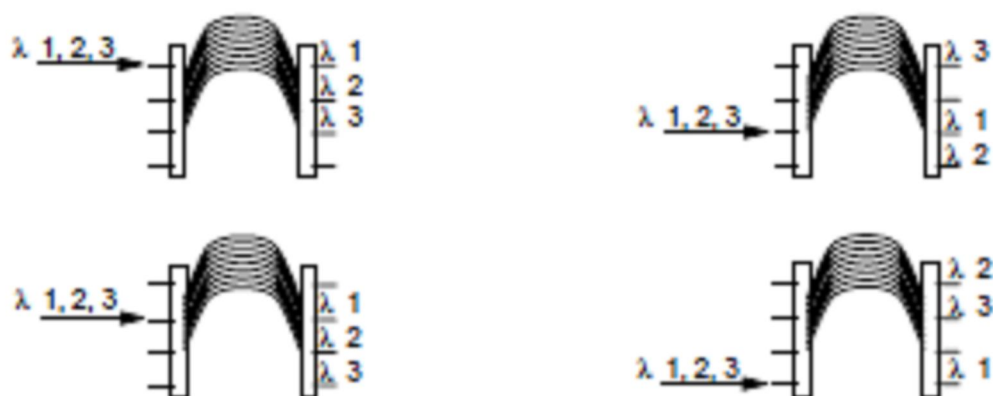
Hình 1.14. Tách kênh bước sóng sử dụng bộ chia công suất và các bộ lọc

- Phương án 2: Sử dụng các bộ tách đơn kênh nối tiếp. Nhóm kênh N bước sóng sẽ được tách dần từng bước sóng. Các bộ tách bước sóng đơn sẽ đặt nối tiếp nhau. Một ví dụ sử dụng phương án này là dùng các bộ quay vòng 1 chiều (circulator) kết hợp với cách tử Bragg sợi quang (hình 1.18). Mỗi một cách tử Bragg sợi quang sẽ chỉ phản xạ toàn phần một bước sóng quang thỏa mãn điều kiện phản xạ Bragg.



Hình 1.15. Tách kênh bước sóng sử dụng các bộ tách đơn kênh nối tiếp.

- Phương án 3: Sử dụng một bộ tách kênh bước sóng song song. Ví dụ điển hình dùng phương án này là mảng các ống dẫn sóng (hình 1.16)



Hình 1.16. Tách kênh sử dụng mảng cách tử ống dẫn sóng

1.2.3- Sợi quang

Sợi quang sử dụng trong hệ thống WDM là sợi quang đơn mode. Các hệ thống thông tin quang đơn kênh trên thế giới hầu hết đã được xây dựng từ đầu những năm 80, sử dụng sợi đơn mode chuẩn SMF. Khi công nghệ WDM ra đời, các hệ thống truyền dẫn đơn kênh được nâng cấp. Vì vậy, hầu hết các hệ thống WDM hiện đang hoạt động sử dụng loại sợi quang đơn mode chuẩn SMF.

Tuy nhiên, một nhược điểm của hệ thống sử dụng sợi SMF là hệ số tán sắc cao ở vùng bước sóng băng C, chính vì vậy, người ta đã khuyến nghị nên sử dụng sợi quang có tán sắc thấp cho các hệ thống thông tin quang.

Bằng cách thay đổi phân bố chiết suất trong lõi và vỏ sợi quang, người ta có thể tạo ra nhiều loại sợi quang với giá trị tán sắc rất thấp ở vùng băng C:

- Sợi DSF có giá trị tán sắc bằng 0 tại lân cận bước sóng 1550 nm và giá trị tán sắc rất nhỏ ở các bước sóng trên băng C (giá trị giới hạn trong khoảng – 1ps/nm/km và 1 ps/nm/km).
- Sợi NZ-DSF có giá trị tán sắc không bằng 0 tại lân cận bước sóng 1550 nm. Giá trị tán sắc của nó có thể âm hoặc dương nhưng giá trị tuyệt đối sẽ nằm ở khoảng từ 2 ps/nm/km tới 8 ps/nm/km ở trong vùng băng C.

Trong hai loại sợi nói trên, sợi DSF không được khuyến nghị dùng cho hệ thống WDM bởi nó sẽ là môi trường lý tưởng để tạo ra hiệu ứng trộn bốn sóng - một hiệu ứng dễ gây xuyên kênh tín hiệu trong hệ thống sẽ được trình bày chi tiết trong phần sau. Thay vào đó, sợi quang NZ-DSF sẽ là giải pháp dung hòa giữa hiệu ứng tán sắc và hiệu ứng trộn bốn sóng.

Dưới đây là một số loại sợi quang NZDSF điển hình.

TT	Tán sắc : D (ps/km/nm)	Độ dốc tán sắc (ps/km/nm ²)	Đường kính trường mode (μ m) tại 1550nm	Sản phẩm
1	2.6 ~ 6.0 1530 ~ 1565 nm	<0.05	8.4 ± 0.6	TrueWave RS
2	-1.4 ~ -4.6 1550 nm	<0.112	9.5 ± 0.6	TrueWave XL
3	-1.4 ~ -4.8 1550 nm	<0.05	8.4 ± 0.6	TrueWave SRS
4	-10.0 ~ -1.0 1530 ~ 1605 nm	—	7.6 ~ 8.6	MetroCor
5	2.0 ~ 6.0 1530 ~ 1565 nm	<0.12	9.2 ~ 10	LEAF
6	5.5 ~ 10.0 1530 ~ 1565 nm	<0.058	9.2 ± 0.5	TeraLight

Hình 1.17. Một số loại sợi quang NZ-DSF điển hình.

1.2.4- Khuếch đại quang đa kênh

- **Khái niệm:** Là thiết bị tăng cường công suất tín hiệu sau khi nó bị suy giảm bởi các mất mát công suất trong quá trình truyền dẫn nhằm đảm bảo tín hiệu có đủ năng lượng tiếp tục truyền dẫn đi xa.

Khuếch đại tín hiệu có thể được thực hiện trong miền điện hoặc trong miền quang. Nếu thực hiện trong miền điện, tín hiệu quang buộc phải chuyển đổi về dạng tín hiệu điện thông qua bộ chuyển đổi quang điện, sau đó tín hiệu điện được khuếch đại bởi các mạch khuếch đại trong miền điện và chuyển ngược lại thành tín hiệu quang nhờ bộ chuyển đổi điện quang.

Khuếch đại trong hệ thống WDM yêu cầu phải thực hiện trong miền quang bởi nếu thực hiện khuếch đại đa kênh trong miền điện, ta phải dùng thêm các bộ tách/ghép kênh quang và N bộ chuyển đổi quang điện (điện quang) cũng như N bộ khuếch đại điện. Chính vì lý do đó mà lịch sử phát triển kỹ thuật WDM được gắn liền với lịch sử phát triển của kỹ thuật khuếch đại quang mà điển hình là gắn liền với sự phát triển của kỹ thuật khuếch đại quang sợi EDFA.

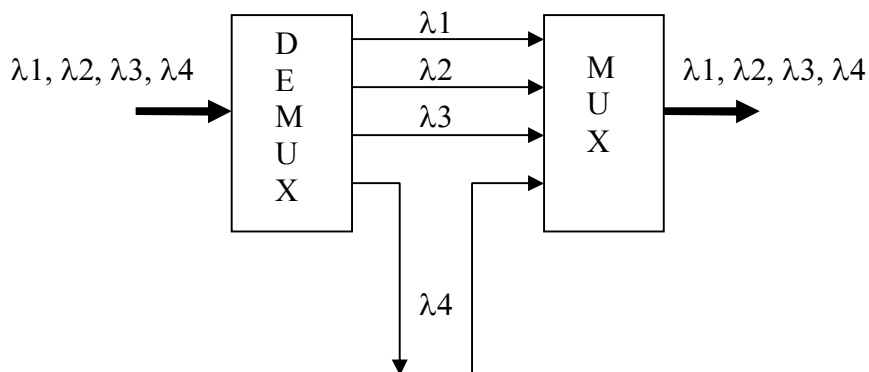
Chi tiết về các kỹ thuật khuếch đại quang đa kênh sẽ được trình bày trong chương 2.

1.2.5 – Một số phần tử khác

1.2.5.1. Bộ xen/rẽ quang OADM

Khái niệm: Là thiết bị quang có giao tiếp 3 hướng, cho phép tách xuống hoặc ghép lên một (vài) bước sóng từ hướng 1, 2 ra hướng 3 đồng thời cho chuyển tiếp các bước sóng khác giữa hai hướng 1 và 2.

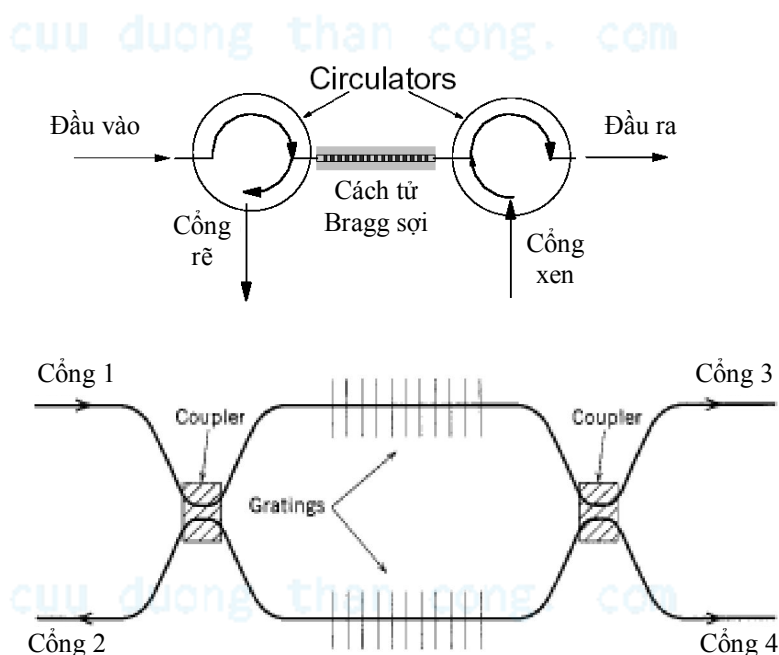
a. Sử dụng các bộ tách/ghép kênh quang



Hình 1.18. Bộ xen rẽ quang sử dụng các bộ tách ghép kênh quang

Trong cấu hình này, bộ tách kênh quang làm nhiệm vụ tách ra các kênh bước sóng từ bên trái đến. Kênh bước sóng nào cần rẽ lưu lượng xuống (drop) sẽ được tách riêng ra. Theo hướng ghép lên, bước sóng nào cần xen lưu lượng vào (add) sẽ được bổ xung vào trên cổng vào của bộ ghép.

b. Sử dụng cách tử Bragg sợi quang



Hình 1.19. Bộ xen rẽ quang sử dụng cách tử Bragg sợi quang kết hợp với circulator (a) và kết hợp với giao thoa kế MZ (b)

Trong cấu hình 1.19a, bước sóng cần rẽ lưu lượng (drop) sẽ chính là bước sóng phản xạ tại cách tử Bragg sợi rồi theo circulator rẽ xuống. Cũng chính bước

sóng này được ghép vào theo cổng xen, tới cách tử Bragg và phản xạ lại theo circulator để đi ra cùng đầu ra với các bước sóng khác đi từ bên trái qua.

Trong cấu hình 1.19b, một bước sóng phù hợp với điều kiện phản xạ Bragg sợi quang đặt trên hai nhánh của giao thoa kế MZ sẽ đi vào từ cổng 1 và truyền hoàn toàn ra cổng 2 (do ánh sáng xuất hiện ở cổng 1 đi qua coupler 3dB rồi phản xạ ngược lại sẽ chia thành hai nhánh ngược pha nhau trên đường về cổng 1 và triệt tiêu nhau, do đó toàn bộ ánh sáng phản xạ lại đều xuất hiện trên cổng 2). Tương tự như vậy, bước sóng phản xạ Bragg sẽ được đưa vào từ cổng 4 và ghép chung ra trên cổng 3 với các bước sóng khác đưa vào từ bên trái qua.

1.2.5.2. Bộ chuyển đổi bước sóng toàn quang

Hầu hết các bộ chuyển đổi bước sóng toàn quang đều tận dụng các hiệu ứng bão hòa khuếch đại trong SOA hoặc các hiệu ứng phi tuyến trong SOA và trong sợi quang. Dưới đây, chúng ta chỉ xem xét một vài kỹ thuật điển hình sử dụng SOA.

a. Sử dụng hiệu ứng điều chế tăng ích chéo trong SOA

Hình 1.20a mô tả kỹ thuật sử dụng hiệu ứng điều chế tăng ích chéo (Cross Gain Modulation - XGM) trong SOA để chuyển đổi bước sóng. Trong kỹ thuật này, bước sóng λ_1 mang dữ liệu được khuếch đại với công suất lớn được ghép vào SOA với bước sóng λ_2 là sóng liên tục có công suất nhỏ. Khi này trong SOA (SLA) sẽ xuất hiện hiện tượng điều chế tăng ích chéo, tức là khi tín hiệu mang công suất lớn (bit 1 ở bước sóng λ_1) sẽ khiến SOA có tăng ích nhỏ (bước sóng λ_2 khuếch đại rất ít) còn khi tín hiệu mang công suất nhỏ (bit 0 ở bước sóng λ_1) sẽ khiến SOA có tăng ích lớn (bước sóng λ_2 được khuếch đại nhiều). Như vậy, bước sóng λ_2 sẽ bị điều chế theo dạng đường bao tín hiệu của bước sóng λ_1 nhưng ngược pha nhau: bit 1 trong λ_1 trở thành bit 0 trong λ_2 và ngược lại.

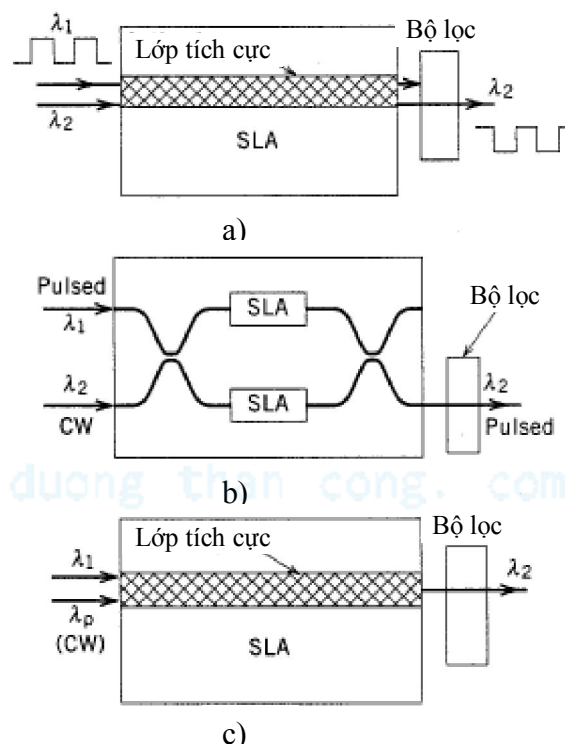
b. Sử dụng hiệu ứng điều chế pha chéo trong SOA

Kỹ thuật này sử dụng tín hiệu bước sóng λ_1 có công suất lớn làm thay đổi chiết suất trong SOA trên một nhánh giao thoa kế, khiến độ lệch pha của bước sóng λ_2 đi qua SOA trên nhánh đó bị thay đổi tùy theo dạng đường bao tín hiệu của bước sóng λ_1 (bit 1 hay bit 0). Cụ thể ở hình 1.20b, coupler 3dB (đối với bước sóng λ_2) sẽ đều công suất bước sóng λ_2 trên hai nhánh, chia lệch tín hiệu λ_1 trên 2 nhánh sao cho phần lớn tín hiệu λ_1 được đi lên một nhánh (giả sử nhánh trên). Khi bước sóng λ_1 mang bit 0, các SOA không bị thay đổi chiết suất, pha tín hiệu ánh sáng λ_2 trên hai nhánh trên và dưới thay đổi như nhau, toàn bộ công suất λ_2 sẽ đi ra ở cổng ra bên trên (tức là λ_2 ở nhánh dưới mang bit 0). Khi bước sóng λ_1 mang bit 1, SOA nhánh trên bị thay đổi chiết suất, pha tín hiệu ánh sáng λ_2 trên hai nhánh trên và

dưới thay đổi lệch nhau một lượng sao cho toàn bộ công suất λ_2 sẽ đi ra ở cổng ra bên dưới (tức là λ_2 ở nhánh dưới mang bit 1)

c. Sử dụng hiệu ứng trộn bốn sóng trong SOA và trong sợi quang

Với kỹ thuật này, các bước sóng λ_1 và λ_p sẽ trộn với nhau và sinh ra bước sóng λ_2 . Hiện tượng trộn bốn sóng sẽ xảy ra trong môi trường phi tuyến là lớp tích cực của SOA. Bước sóng λ_2 khi đó đã mang thông tin của λ_1 và được lọc ra bởi bộ lọc (hình 1.20c).



Hình 1.20. Các kỹ thuật chuyển đổi bước sóng toàn quang sử dụng SOA

1.3- MỘT SỐ VẤN ĐỀ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HIỆU NĂNG HỆ THỐNG WDM

1.3.1- Băng thông các bộ khuếch đại

1.3.1.1. Độ rộng băng thông

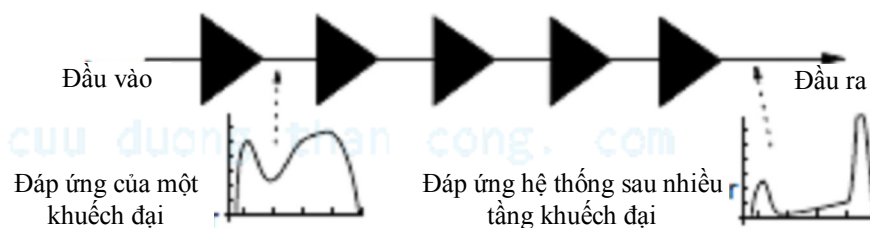
Như các phần trên đã phân tích, băng tần mà hệ thống WDM có thể sử dụng là rất lớn (tương ứng với băng tần suy hao thấp của sợi quang). Tuy nhiên, để có thể truyền tải tín hiệu WDM đi xa, các bộ khuếch đại quang phải được sử dụng tại các khoảng cách thích hợp. Lúc này, chính băng thông của các bộ khuếch đại quang là yếu tố quyết định băng thông sử dụng của các kênh trong hệ thống WDM.

Băng thông của các bộ khuếch đại quang sử dụng sợi pha tạp Erbium (EDFA) thường chính là băng C. Gần đây, người ta đã có thể mở rộng băng thông bộ khuếch đại EDFA sang băng L. Đây cũng chính là lý do tại sao các hệ thống DWDM chủ yếu sử dụng các bước sóng trên hai băng tần quang này.

1.3.1.2. Độ bằng phẳng

Độ bằng phẳng khuếch đại trong băng thông hoạt động của các bộ khuếch đại sử dụng trong hệ thống WDM rất quan trọng. Do trong một hệ thống WDM đường dài, rất nhiều bộ khuếch đại quang được sử dụng. Các sai khác về độ khuếch đại giữa các kênh bước sóng sẽ được tích lũy khiến cho tại một vị trí nào đó trên đường truyền, công suất tại mỗi kênh bước sóng sẽ không còn đồng đều và chất lượng của một số kênh bước sóng sẽ suy giảm và không thể tiếp tục truyền đi xa.

Hình 1.21 dưới đây mô tả phổ các kênh tín hiệu sau khi đi qua một bộ khuếch đại mà hệ số khuếch đại không đồng đều trên toàn băng thông và sau khi đi qua nhiều bộ khuếch đại có cùng đặc tính như vậy.



Hình 1.21. Phổ các kênh tín hiệu sau khi đi qua một bộ khuếch đại và sau khi đi qua nhiều bộ khuếch đại

Để giải quyết vấn đề độ bằng phẳng khuếch đại, có hai giải pháp:

- Sử dụng các bộ lọc kết hợp với bộ khuếch đại một cách hợp lý để san phẳng phổ khuếch đại. Nhược điểm của phương pháp này là độ khuếch đại sử dụng kỹ thuật này sẽ không được cao như các bộ khuếch đại thông thường do một phần công suất quang đã bị lọc bỏ bởi các bộ lọc.
- Sử dụng phương án phát tín hiệu quang không đồng đều về mặt công suất ngay tại các bộ phát quang. Như vậy, các kênh quang nằm ở vùng khuếch đại thấp hơn sẽ được phát đi với công suất lớn hơn. Nhược điểm của phương pháp này là việc thiết kế các bộ phát quang sẽ hoàn toàn phụ thuộc vào đặc tính của các bộ khuếch đại quang.

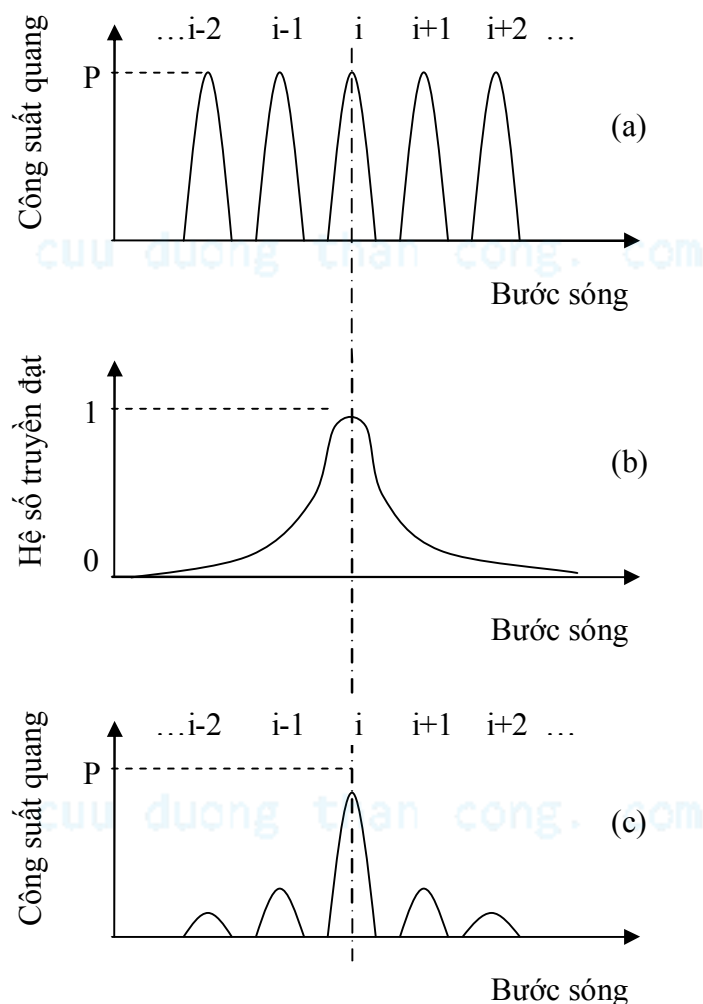
1.3.2- Xuyên kênh

1.3.2.1. Khái niệm

Xuyên kênh là một vấn đề rất quan trọng trong WDM. Đó là sự can nhiễu tín hiệu từ một kênh bước sóng này sang một kênh bước sóng khác. Quá trình can nhiễu này có thể xảy ra do đặc tính lọc của các bộ lọc, bộ tách kênh quang hoặc chuyển mạch quang không đảm bảo ngăn hoàn toàn các kênh bước sóng kế cận (được gọi là xuyên kênh không phi tuyến) hoặc có thể xảy ra do xuất hiện các hiện tượng phi tuyến như tán xạ Raman kích thích hoặc trộn bốn sóng (còn được gọi là xuyên kênh phi tuyến). Các ảnh hưởng xuyên kênh của các hiệu ứng phi tuyến sẽ được tiếp tục trình bày chi tiết trong phần 2.3.4. Trong phần này, chúng ta sẽ chỉ xét đến xuyên kênh tuyến tính.

1.3.2.2. Xuyên kênh tuyến tính

Hình 1.21 mô tả một ví dụ về đặc tính lọc của một phần tử quang sử dụng trong hệ thống WDM và hiện tượng xuyên kênh xảy ra sau khi đi qua phần tử đó.



Hình 1.22. Mô tả hiện tượng xuyên kênh tuyến tính: (a) phổ các kênh bước sóng trước khi qua phần tử có chức năng lọc. (b) đặc tính truyền đạt của bộ lọc cho kênh thứ i . (c) phổ tín hiệu cho kênh bước sóng thứ i .

Giả sử phổ tín hiệu các kênh bước sóng trước khi đến phần tử lọc là đồng đều giữa các kênh. Sau khi đi qua bộ lọc thiết kế cho kênh thứ i , phổ tín hiệu ở đầu ra không những chứa thành phần phổ của kênh thứ i mà còn chứa cả các thành phần phổ của các kênh lân cận ($i-1, i-2, i+1, i+2 \dots$). Khi đó, tại phía thu trên kênh thứ i , xét về công suất quang chúng ta có:

$$P = P_i + \sum_{j \neq i}^N P_j T_j \quad (1.4)$$

Trong đó, j là các kênh khác với kênh i , N là tổng số kênh bước sóng, P_j là công suất của kênh bước sóng j trước khi qua bộ lọc, T_j là hệ số truyền đạt của bộ lọc tại bước sóng j .

Sau khi tách thành dòng điện nhờ photodiode, dòng tín hiệu cho kênh i lúc này sẽ là:

$$I = I_i + \sum_{j \neq i}^N I_j T_j = I_{ch} + I_x \quad (1.5)$$

Trong đó, I_i là dòng điện quang tương ứng với công suất quang P_i , I_j là dòng điện quang tương ứng với công suất quang P_j . I_{ch} được ký hiệu cho dòng quang điện của kênh cần tách và I_x ký hiệu cho dòng quang điện dò từ các kênh khác sang.

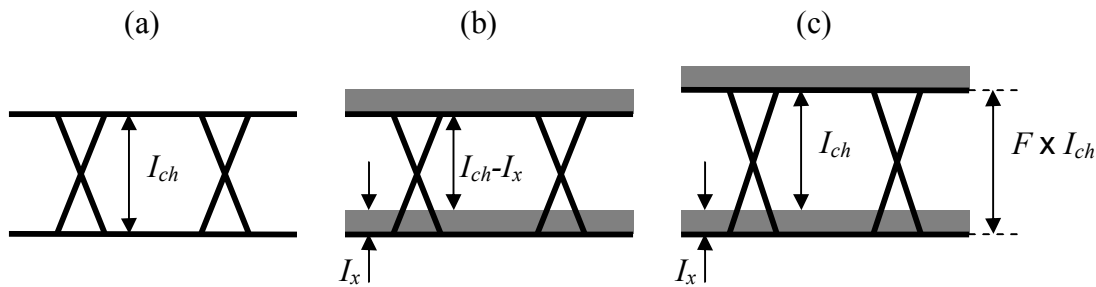
Rõ ràng, trong thành phần tín hiệu kênh cần tách có cả thành phần tín hiệu các kênh khác. Đây là hiện tượng xuyên kênh.

1.3.2.3. Ảnh hưởng của xuyên kênh tuyến tính

Xuyên kênh tuyến tính làm suy giảm tín hiệu kênh truyền. Các tín hiệu trên kênh khác cùng dò sang kênh cần quan tâm khiến cho thông tin của kênh này (các bit 0 và 1) bị sai lệch. Trường hợp xấu nhất xảy ra khi tại thời điểm có xuyên kênh, mẫu tín hiệu trên các kênh khác đồng thời đều mang năng lượng (mang giá trị bit 1). Phần năng lượng này có thể coi như năng lượng của nhiễu. Rõ ràng, để đảm bảo chất lượng tín hiệu tại phía thu như trong trường hợp không có xuyên kênh, công suất của kênh tín hiệu cần quan tâm phải tăng thêm lên để đảm bảo tỷ số tín hiệu trên nhiễu cần thiết hay rộng hơn là đảm bảo tỷ số lỗi bit (được đánh giá thông qua hệ số chất lượng Q nếu phân bố mật độ xác suất mức cao và mức thấp của tín hiệu tuân theo phân bố chuẩn Gaussian). Phần công suất tín hiệu cần tăng thêm này được gọi là ‘độ thiệt công suất – power penalty’.

Việc tính toán độ thiệt công suất có thể xét trong một trường hợp đơn giản nhất dựa trên độ mở biểu đồ mắt tín hiệu. Tức, xét trong trường hợp không có

xuyên kênh tín hiệu, độ mở biểu đồ mắt phải bằng với trường hợp có xuyên kênh tín hiệu và có bù công suất trên kênh cần xét (hình 1.23).



Hình 1.23. Biểu đồ mắt của tín hiệu trong các trường hợp: (a) không có xuyên kênh tuyến tính, (b) có xuyên kênh tuyến tính và (c) có xuyên kênh tuyến tính kèm theo bù công suất trên kênh bị ảnh hưởng

- Khi chưa có xuyên kênh tín hiệu, độ mở mắt (theo biên độ) được giả sử bằng chính I_{ch} (hình 1.26.a).
- Khi có xuyên kênh tín hiệu, độ mở mắt bị hẹp lại do biên dưới của biểu đồ mắt tăng thêm một lượng I_x trong khi biên trên (bên trong) của biểu đồ mắt không thay đổi (hình 1.26.b). Độ mở mắt lúc này là $I_{ch} - I_x$.
- Nếu cần bù công suất để đảm bảo chất lượng tín hiệu trên kênh không thay đổi so với trường hợp không bị xuyên kênh, độ mở mắt của biểu đồ mắt khi bù thêm công suất phải bằng giá trị ban đầu (I_{ch}). Giả sử phải tăng công suất kênh lên F lần, ta có:

$$F \cdot I_{ch} - I_x = I_{ch} \quad (1.6)$$

$$\rightarrow F = (I_{ch} + I_x) / I_{ch} = 1 + I_x / I_{ch} \quad (1.7)$$

Vậy, độ thiệt công suất của kênh được tính ra là:

$$\text{Penalty (dB)} = 10 \cdot \log (F) = 10 \cdot \log (1 + I_x / I_{ch}) \quad (1.8)$$

1.3.3- Cân bằng bù tán sắc các kênh quang

1.3.3.1. Khái niệm

Tán sắc là một tham số quan trọng trong sợi quang. Đó là hiện tượng các bước sóng khác nhau có các vận tốc nhóm khác nhau khi di chuyển trong sợi quang. Trong thông tin quang số, điều này sẽ khiến các phần năng lượng tương ứng với các bước sóng khác nhau trong một xung thời gian sẽ đến phía thu tại các thời điểm khác nhau. Tức, xung tín hiệu sẽ bị dẫn rộng ra. Các xung liên tiếp sau khi dẫn rộng

ra sẽ trực tiếp ảnh hưởng lẫn nhau tại các vùng chồng lấn gây suy giảm chất lượng thu.

Để đảm bảo chất lượng truyền dẫn, cần phải có các biện pháp bù tán sắc cho kênh tín hiệu trên đường truyền hoặc tại phía thu (trước khi đi vào bộ thu) thậm chí tạo nên một hiện tượng ngược với tán sắc ngay từ phía phát. Có rất nhiều phương pháp bù tán sắc. Chi tiết về các phương pháp bù tán sắc sẽ được đề cập đến trong phần 4.1. Tuy nhiên, để áp dụng trong hệ thống WDM, một giải pháp đơn giản và hiệu quả thường hay được sử dụng là dùng sợi quang bù tán sắc (DCF – dispersion compensation fiber). Trong phần này, chúng ta chỉ xem xét vấn đề bù tán sắc cho đa kênh bước sóng quang.

1.3.3.2. Bù tán sắc sử dụng DCF

Như các phần trên đã đề cập, phần lớn các hệ thống WDM hiện nay đang khai thác trên thế giới sử dụng sợi quang đơn mode chuẩn SMF và hoạt động ở vùng bước sóng 1550 nm. Sợi quang này có tham số suy hao nhỏ nhất tại vùng bước sóng 1550 nm (cỡ 0.2 dB/km) nhưng tham số tán sắc lại có giá trị khá lớn (cỡ 17 ps/nm/km). Điều này có nghĩa là nếu mỗi kênh sử dụng tín hiệu 40 Gbit/s ($B \sim 40$ GHz $\sim 1/3$ nm), thì sau mỗi 3 km lan truyền trong sợi quang, thành phần bước sóng ngắn hơn trong phổ tín hiệu (ngoài cùng, mép trái) sẽ đi trước thành phần bước sóng dài hơn (ngoài cùng, mép phải) trong phổ tín hiệu một khoảng thời gian là 17 ps. Như vậy, chỉ qua 5 km chiều dài sợi quang SMF, khoảng cách này tăng lên thành 28 ps. Điều đó có nghĩa là các thành phần phổ ở mép ngoài cùng phổ tín hiệu của một xung bất kỳ đã vượt qua phạm vi khe thời gian của nó (vì khe thời gian cho một xung tín hiệu ở tốc độ 40 Gbit/s là 25 ps.)

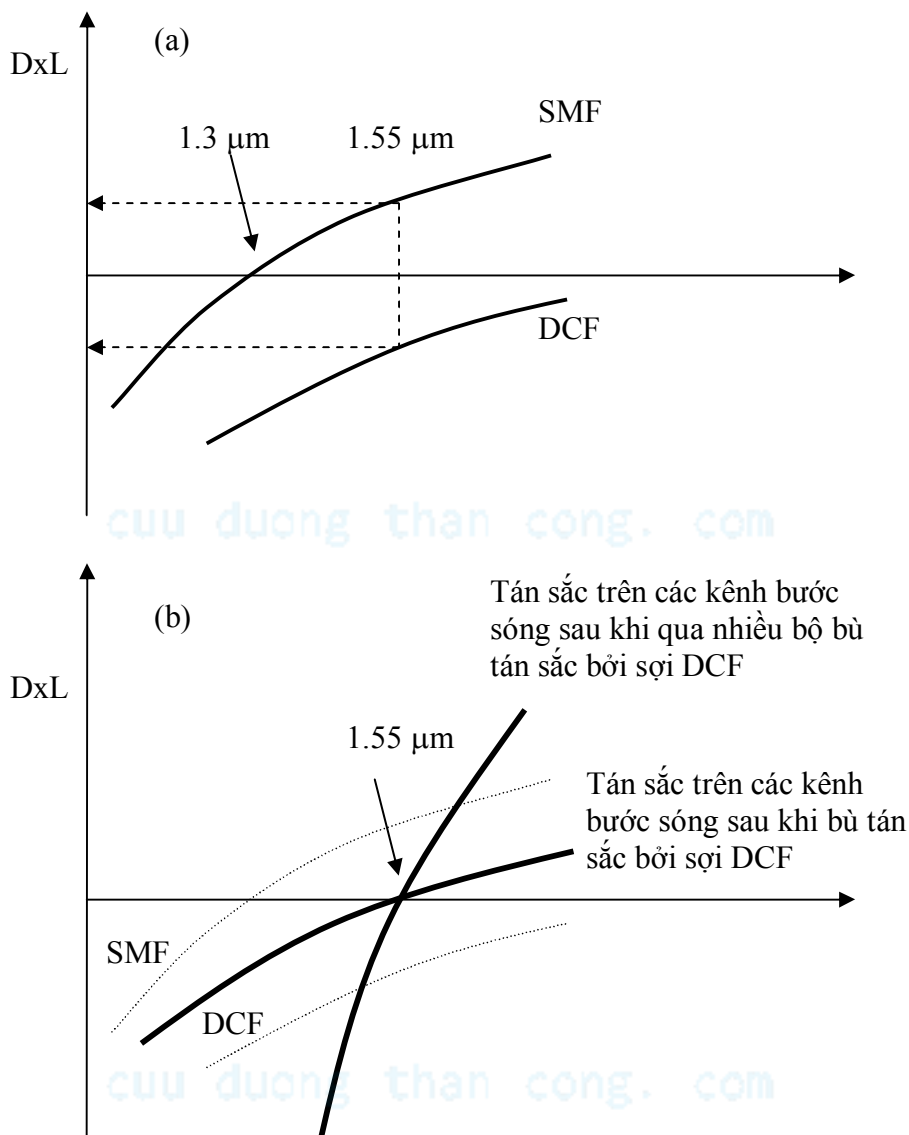
Sợi quang DCF được chế tạo một cách đặc biệt nhờ thay đổi diện tích lõi sợi và thay đổi phân bố chiết suất trong lõi/vỏ sợi một cách hợp lý khiến cho giá trị tán sắc có dấu ngược với trường hợp của sợi SMF. Khi tín hiệu quang đã bị tán sắc dương trong sợi SMF đi qua phần sợi quang DCF có giá trị tán sắc âm, thành phần bước sóng ngắn hơn lúc này sẽ di chuyển chậm hơn so với thành phần bước sóng dài hơn. Để đảm bảo hiệu ứng dẫn xung được bù hoàn toàn, cần phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$D_{SMF} \times L_{SMF} + D_{DCF} \times L_{DCF} = 0 \quad (1.9)$$

Đặc điểm của phương pháp này là tất cả các kênh bước sóng đều có thể đồng thời được bù tán sắc sau khi đi qua sợi quang DCF. Tuy nhiên, do giá trị tán sắc tại mỗi bước sóng tín hiệu là khác nhau (trong trường hợp của SMF và cả DCF), do vậy cùng một lúc, các kênh bước sóng khác nhau không thể hoàn toàn được bù tán sắc ở mức độ như nhau.

1.3.3.3. Cân bằng bù tán sắc các kênh quang.

Việc các kênh bước sóng không thể cùng một lúc được bù tán sắc với cùng một mức độ sẽ khiến tạo ra hiện tượng tại một vị trí trên mạng, sau nhiều bộ bù tán sắc sử dụng sợi DCF, một số kênh bước sóng sẽ mang giá trị tán sắc âm, một số kênh bước sóng sẽ mang giá trị tán sắc dương và một số kênh đã hoàn toàn được bù tán sắc.



Hình 1.24. (a) Tán sắc tổng cộng trên một đoạn SMF và DCF và (b) tán sắc trên các kênh bước sóng sau khi qua một và nhiều bộ bù tán sắc

1.3.4- Các hiệu ứng quang phi tuyến

1.3.4.1. Khái niệm các hiệu ứng phi tuyến

Các hiệu ứng quang phi tuyến xảy ra khi công suất quang tín hiệu trong phần tử, thiết bị quang lớn hơn một ngưỡng nhất định.

Các hiệu ứng phi tuyến có thể chia ra làm 2 loại.

- Loại thứ nhất phát sinh do tác động qua lại giữa các photon ánh sáng với môi trường truyền dẫn ánh sáng. Hai hiệu ứng chính trong loại này là tán xạ kích thích Brillouin (SBS) và tán xạ kích thích Raman (SRS).
- Loại thứ hai sinh ra do sự phụ thuộc của chiết suất môi trường truyền dẫn vào công suất quang của tín hiệu. Các hiệu ứng phi tuyến quan trọng trong loại này là hiệu ứng tự điều pha (SPM - Self-Phase Modulation), hiệu ứng điều chế pha chéo (XPM - Cross-Phase Modulation) và hiệu ứng trộn 4 sóng (FWM - Four-Wave Mixing). Loại hiệu ứng này được gọi là hiệu ứng Kerr.

Trong hệ thống truyền dẫn thông tin quang số đơn kênh, các hiệu ứng phi tuyến gây ảnh hưởng trong hệ thống chỉ là SPM và SBS. Ngưỡng xảy ra hiệu ứng SRS cao hơn rất nhiều so với SBS do vậy hệ thống đơn kênh hầu như không chịu ảnh hưởng của hiệu ứng này. Tuy nhiên, trong hệ thống WDM, mức ảnh hưởng của các hiệu ứng phi tuyến không chỉ tăng cường mà số lượng các ảnh hưởng cũng nhiều lên.

Trong phần dưới đây; chúng ta sẽ lần lượt xét các ảnh hưởng của các hiệu ứng phi tuyến đến hiệu năng hệ thống WDM.

1.3.4.2. Hiệu ứng tán xạ Raman kích thích

a. Khái niệm

Hiệu ứng tán xạ Raman là một hiệu ứng phi tuyến liên quan đến quá trình tương tác của sóng ánh sáng và môi trường truyền dẫn. Sóng ánh sáng tới bị hấp thụ một phần năng lượng cho các dao động phân tử (gọi là hạt phonon) . Phần năng lượng còn lại chuyển hóa thành photon có bước sóng dài hơn so với bước sóng tới. Sóng ánh sáng được sinh ra gọi là sóng Stokes. Sóng bị mất mát năng lượng bởi quá trình này gọi là sóng bơm (chuyển năng lượng cho sóng Stokes).

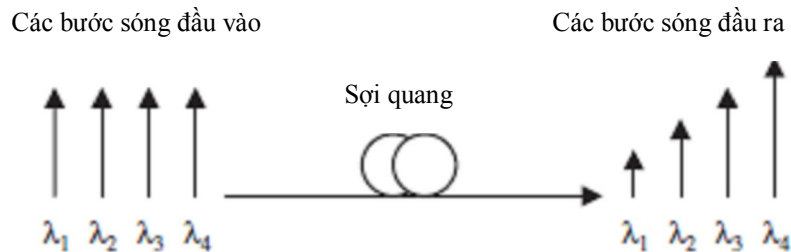
Khoảng cách từ bước sóng bơm đến bước sóng Stokes trong hiệu ứng tán xạ Raman là 13.2 THz.

b. Ảnh hưởng

Trong hệ thống WDM, các kênh bước sóng trải dài trên một vùng phổ, khoảng cách giữa hai bước sóng tín hiệu là khá lớn (cỡ vài chục nm), do vậy những bước sóng ở vùng thấp (bước sóng ngắn) sẽ gây ra tán xạ Raman và chuyển sang bước

sóng ở vùng cao (bước sóng dài) gây nên hiện tượng không đồng đều công suất giữa các kênh bước sóng và xuyên kênh tuyến tính.

Hình 1.25 mô tả định tính ảnh hưởng của hiện tượng tán xạ Raman trong hệ thống WDM.



Hình 1.25 . Hiệu ứng Raman trong hệ thống WDM

1.3.4.3. Hiệu ứng Brillouin kích thích

a. Khái niệm:

Hiện tượng này tương tự như hiện tượng tán xạ Raman kích thích. Ánh sáng tới cũng tương tác với môi trường truyền và mất một phần năng lượng để chuyển lên bước sóng dài hơn. Tuy nhiên, bước sóng Stokes ở hiện tượng Brillouin có khoảng cách cỡ 11 GHz so với bước sóng bơm.

Một điểm khác biệt nữa giữa hiện tượng tán xạ Raman và Brillouin chính là hướng truyền của sóng Stokes. Với tán xạ Raman kích thích, sóng Stokes được sinh ra trên cả hai hướng còn với tán xạ Brillouin, sóng Stokes chỉ sinh ra trên hướng ngược lại với sóng bơm.

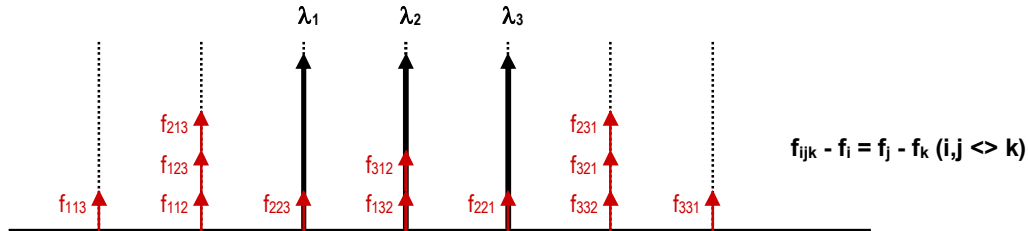
b. Ảnh hưởng

Ảnh hưởng của hiệu ứng này trong hệ thống đa kênh không hề khác biệt so với hệ thống đơn kênh bởi khoảng cách giữa các kênh trong WDM lớn hơn rất nhiều so với 11 GHz. Sóng Stokes tạo ra sẽ khiến công suất tín hiệu ánh sáng tới bị suy giảm. Trường hợp sóng Stokes tiếp tục gây ra hiện tượng tán xạ Brillouin, ta gọi các bước sóng đó là các bậc tán xạ Stokes. Với các bước sóng Stokes bậc cao, nó có thể gây xuyên nhiễu giữa các kênh bước sóng.

1.3.4.4. Hiệu ứng trộn bốn sóng

a. Khái niệm

Hiệu ứng trộn bốn sóng là hiệu ứng sinh ra các tần số hài là tổng hợp từ 3 tần số gốc f_i, f_j, f_k khi có điều kiện tương hợp về pha. Các tần số hài tạo ra có thể là $2f_i - f_j, f_i + f_j - f_k \dots$ (hình 1.26)



Hình 1.26. Hiệu ứng trộn bốn sóng

b. Ảnh hưởng

Hệ thống WDM bao gồm các tần số với các khoảng cách đều nhau. Các tín hiệu mới sinh ra sẽ chồng chập lên phổ tín hiệu gốc và gây ra xuyên kênh trong hệ thống. Xuyên kênh này ảnh hưởng đặc biệt nghiêm trọng khi khoảng cách giữa các kênh hẹp. Việc giảm tán sắc GVD sẽ làm tăng xuyên kênh gây ra bởi hiệu ứng trộn bốn bước sóng bởi tán sắc càng thấp, điều kiện tương hợp về pha càng dễ dàng đạt được. Vì vậy, hệ thống sử dụng sợi quang dịch chuyển tán sắc chịu ảnh hưởng của hiệu ứng trộn bốn bước sóng nhiều hơn là hệ thống sử dụng sợi đơn một chuẩn.

1.3.4.5. Một số hiệu ứng khác (SPM, XPM)

Trong trường hợp tự điều pha SPM, pha của tín hiệu sẽ thay đổi một cách phi tuyến tính khi biên độ đường bao xung tín hiệu thay đổi (do chiết suất thay đổi). Vì vậy, các tần số mới được sinh ra tại các vị trí sườn lên và xuống của các xung tín hiệu. Điều này khiến phổ tín hiệu bị giãn rộng ra khiến ảnh hưởng của tán sắc tăng cường (độ giãn xung do tán sắc tỷ lệ thuận với hệ số tán sắc, độ rộng phổ tín hiệu và chiều dài tuyến truyền dẫn).

Trong hệ thống WDM, pha của tín hiệu trên 1 kênh không chỉ chịu ảnh hưởng từ bản thân sự thay đổi công suất trong kênh đó mà còn chịu ảnh hưởng từ các kênh khác. Đó là hiệu ứng điều chế pha chéo. Xét về ảnh hưởng, XPM và SPM gây ra những ảnh hưởng tương tự nhau nhưng mức độ ảnh hưởng của XPM là lớn hơn rất nhiều so với SPM.

Chi tiết về hiệu ứng phi tuyến và ứng dụng của nó sẽ được trình bày trong phần 4.2.

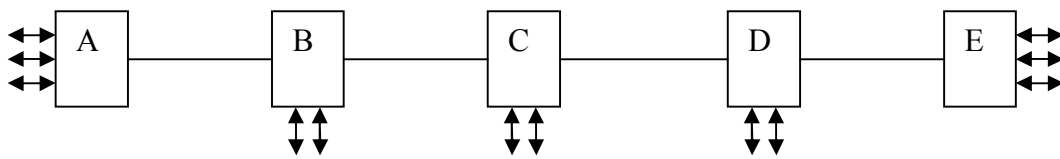
1.4 – MẠNG TRUYỀN TẢI WDM

1.4.1- Phân loại

1.4.1.2. Phân loại theo cấu hình

a. Mạng đường thẳng

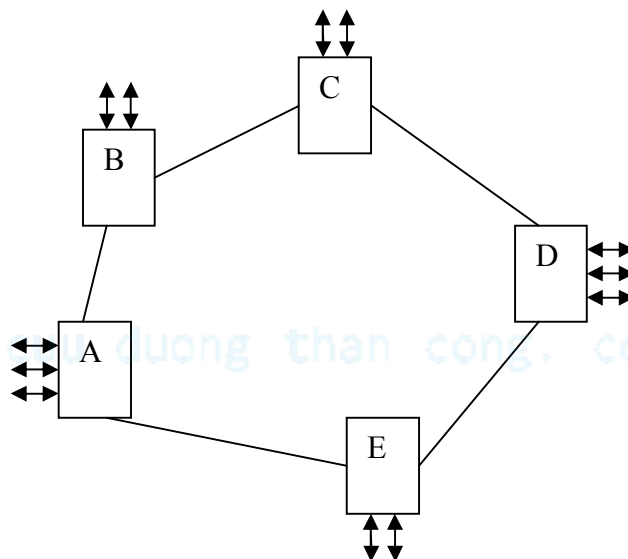
Mạng WDM đường thẳng có cấu trúc như hình vẽ 1.27. Trong mạng này, các điểm truyền thông được đấu nối với nhau tạo thành một đường thẳng. Hai điểm truyền thông ngoài cùng chỉ có một kết nối đến điểm lân cận. Các điểm truyền thông còn lại đều đấu nối với hai điểm lân cận. Tùy thuộc vào nhu cầu truyền tải của các nút này, một hoặc nhiều bước sóng sẽ được xen vào/ rẽ ra.



Hình 1.27. Cấu hình mạng đường thẳng WDM

b. Mạng vòng

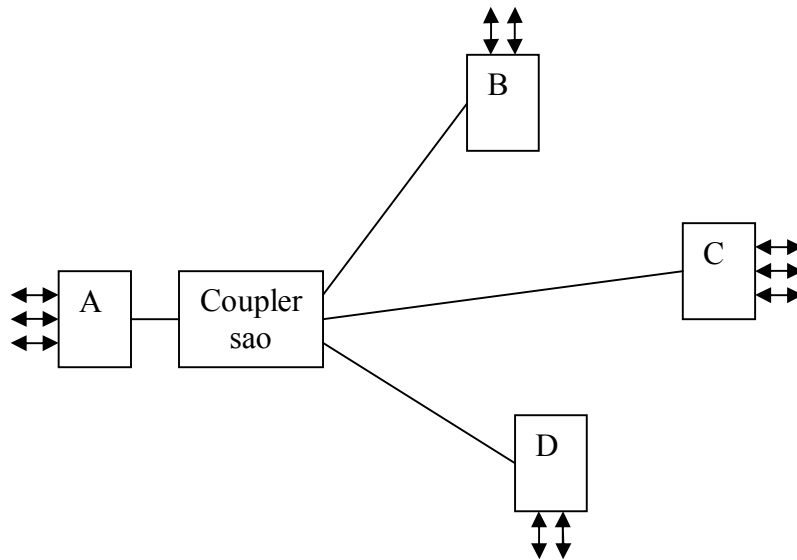
Mạng WDM vòng được mô tả như trên hình vẽ 1.28. Ở mạng này, các điểm truyền thông được đấu nối tiếp nhau thành một vòng tròn. Mỗi một nút mạng được kết nối với hai nút mạng lân cận. Các nút này đều buộc phải có các bước sóng xen rẽ lưu lượng.



Hình 1.28. Cấu hình mạng vòng WDM

c. Mạng hình sao

Mạng WDM hình sao được mô tả như trên hình vẽ 1.29. Ở mạng này, các điểm truyền thông được đấu nối với nhau thông qua một coupler sao.



Hình 1.29. Cấu hình mạng hình sao WDM

1.4.1.1. Phân loại theo vùng phủ địa lý

Công nghệ WDM cho phép tăng dung lượng truyền dẫn lên rất nhiều lần so với truyền dẫn quang đơn kênh. Vì vậy, công nghệ này đã được triển khai áp dụng rộng khắp với vai trò là mạng truyền tải quang để kết nối các điểm truyền thông. Tùy thuộc vào vùng địa lý mà mạng truyền tải được áp dụng, các phần tử quang có thể được lựa chọn sao cho phù hợp về tiêu chuẩn kỹ thuật cũng như giá thành. Xét trên tiêu chí vùng phủ địa lý, mạng WDM quang có thể được phân thành:

- Mạng đường trục WDM (mạng lõi): Mạng này thường được triển khai ở cấp quốc gia và đóng vai trò là mạng truyền tải xương sống. Ở mạng này, các phần tử quang được đặc biệt chú trọng về các tiêu chuẩn kỹ thuật. Tốc độ truyền dẫn và số lượng kênh thường rất lớn. Cấu hình điển hình thường là $N \times 10/40$ Gbit/s với N từ vài chục đến hàng trăm bước sóng. Cấu trúc mạng đường trục WDM thường ở dạng liên vòng (multi-ring) với các điểm xen/rẽ kết cuối các mạng truy cập.
- Mạng đô thị WDM: Mạng này thường được sử dụng để phủ cho những đô thị lớn với cấu trúc mạng dạng vòng. Đây là mạng phục vụ liên lạc các điểm truyền thông trong vùng đô thị và kết nối lên mạng đường trục.
- Mạng truy cập: Mạng này thường được sử dụng để kết cuối các thuê bao với các điểm truyền thông. Công nghệ WDM được áp dụng cho mạng truy cập (access) được gọi là công nghệ đa truy cập theo bước

sóng quang (WDMA). Trong mạng này, cấu trúc mạng sao (star) thường được ưa dùng. Khi các phần tử sử dụng trong mạng là phần tử thụ động, mạng này được gọi là mạng WDM-PON (Passive Optical Network). Yêu cầu chung đối với các phần tử sử dụng trong mạng này là giá thành thấp. Những chi phí cho các phần tử thường tập trung tại phía kết cuối của mạng chứ không đẩy về phía thuê bao.

1.4.2- Các phần tử mạng trong hệ thống truyền tải WDM

Xét trên quan điểm mạng, mỗi một điểm truyền thông được coi là một phần tử mạng và phải thực hiện nhiệm vụ phát/thu hoặc chuyển tiếp một hoặc nhiều bước sóng. Tùy thuộc vào vị trí của phần tử mạng đó, nó có thể là một phần tử đầu cuối, lặp, xen rẽ hoặc kết nối chéo. Dưới đây chúng ta sẽ xem xét cấu tạo/ chức năng của từng phần tử.

1.4.2.1. Phần tử đầu cuối

Phần tử đầu cuối làm chức năng kết cuối lưu lượng. Tại đây, các bước sóng được ghép vào và tách ra trên các bộ ghép/tách bước sóng.

Phần tử đầu cuối thường được sử dụng trong các mạng đường thẳng hoặc sao.

1.4.2.2. Phần tử lặp

Phần tử lặp làm chức năng khuếch đại, lặp tín hiệu. Thông thường phần tử này chỉ thực hiện chức năng khuếch đại tín hiệu trong miền quang. Phần tử này được sử dụng trong các mạng có khoảng cách truyền tải xa (> 50 km)

1.4.2.3. Phần tử xen rẽ (OADM)

Phần tử xen rẽ thực hiện chức năng xen rẽ một vài bước sóng và chuyển tiếp các bước sóng còn lại. Phần tử xen rẽ đơn giản thường là một OADM. Phần tử này thường được sử dụng trong mạng vòng hoặc đường thẳng.

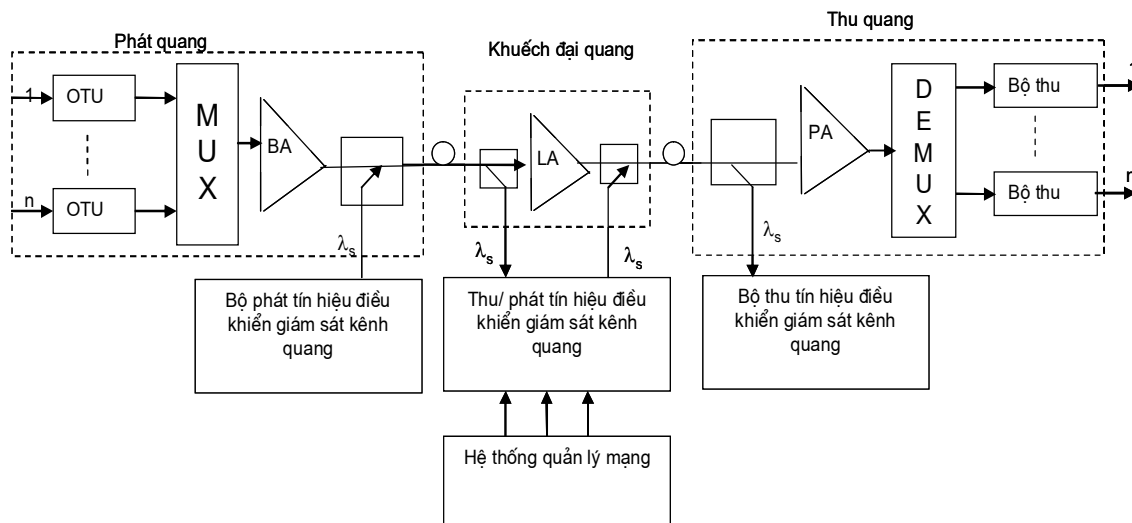
1.4.2.4. Phần tử nối chéo(OXC)

Phần tử nối chéo thực hiện chức năng giống như phần tử xen rẽ. Tuy nhiên, nó còn thực hiện thêm chức năng kết nối chéo các đường quang. Phần tử này thường được sử dụng trong mạng đa vòng nhằm chuyển tải chéo các bước sóng từ các vòng truyền tải.

1.4.3- Quản lý và bảo vệ trong mạng WDM

1.4.3.1. Quản lý

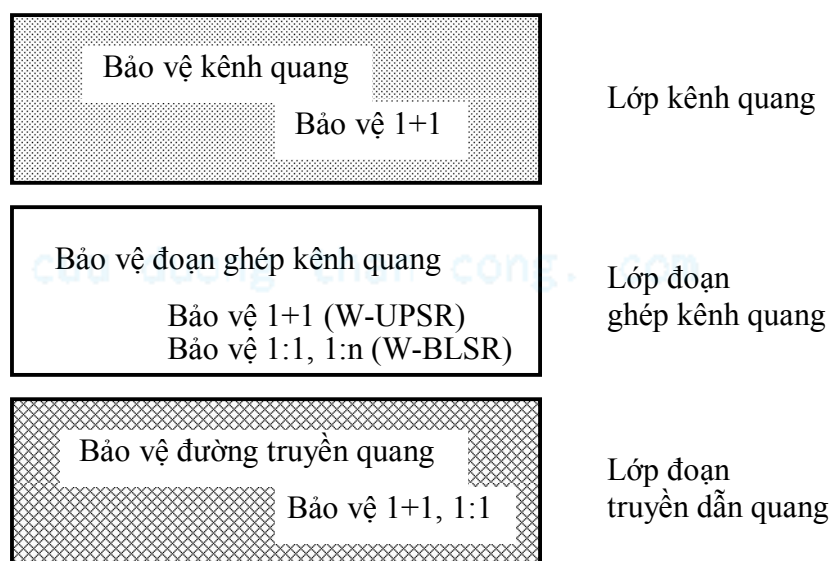
Chức năng quản lý trong mạng WDM có thể được thực hiện trên một bước sóng riêng biệt so với các bước sóng dữ liệu.



Hình 1.30. Sơ đồ khối hệ thống WDM với các chức năng quản lý

1.4.3.2. Bảo vệ

Chức năng chính của bảo vệ quang trong mạng WDM là cung cấp các kết nối điểm- điểm tin cậy để liên kết các nút lớp dịch vụ. Như ITU-T đã xác định có ba lớp mạng quang trong khuyến nghị G.872 “Kiến trúc mạng truyền tải quang”, việc bảo vệ quang cũng có thể được áp dụng cho ba lớp khác nhau này. Tại lớp đoạn truyền dẫn, sử dụng bảo vệ đường truyền. Tại lớp đoạn ghép kênh thường sử dụng cơ chế bảo vệ của SDH. Tại lớp kênh quang sử dụng bảo vệ kênh quang, như minh họa trên hình 1.31.

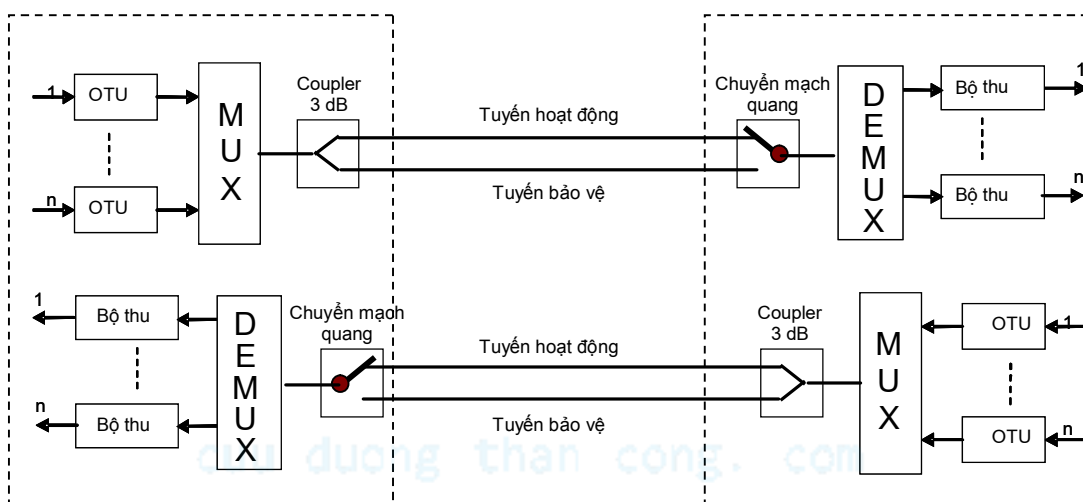


Hình 1.31. Bảo vệ trong kiến trúc OTN

a) Bảo vệ đường truyền quang

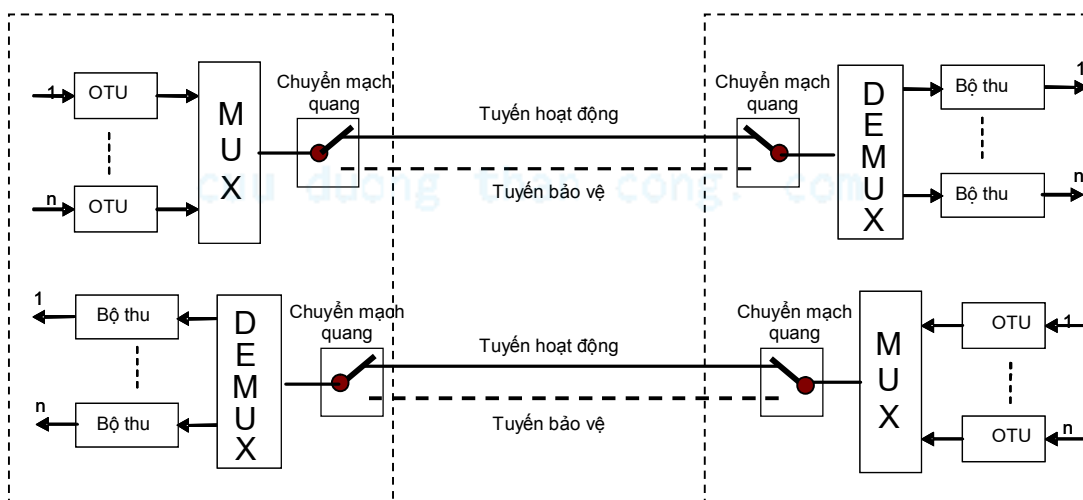
Khi thực hiện cấu hình điểm- điểm hoặc mạng vòng WDM thì thường sử dụng cơ chế bảo vệ 1+1 hoặc 1:1 cho lớp đoạn truyền dẫn.

Khi sử dụng cơ chế bảo vệ 1+1, toàn bộ tín hiệu WDM được bảo vệ bằng cách chia thành hai tín hiệu tại nút WDM và truyền dẫn trên hai sợi quang riêng biệt, như mô tả trên hình 1.32. Tại nút phía thu, cả hai tín hiệu được so sánh và tín hiệu có chất lượng tốt hơn sẽ được chọn.



Hình 1.32. Cơ chế bảo vệ 1+1

Khi sử dụng cơ chế bảo vệ 1:1, tín hiệu WDM chỉ được phát trên một sợi quang. Nếu sợi làm việc có sự cố, tín hiệu WDM sẽ được chuyển mạch tới sợi bảo vệ, như mô tả trên hình 1.33.



Hình 1.33. Cơ chế bảo vệ 1:1

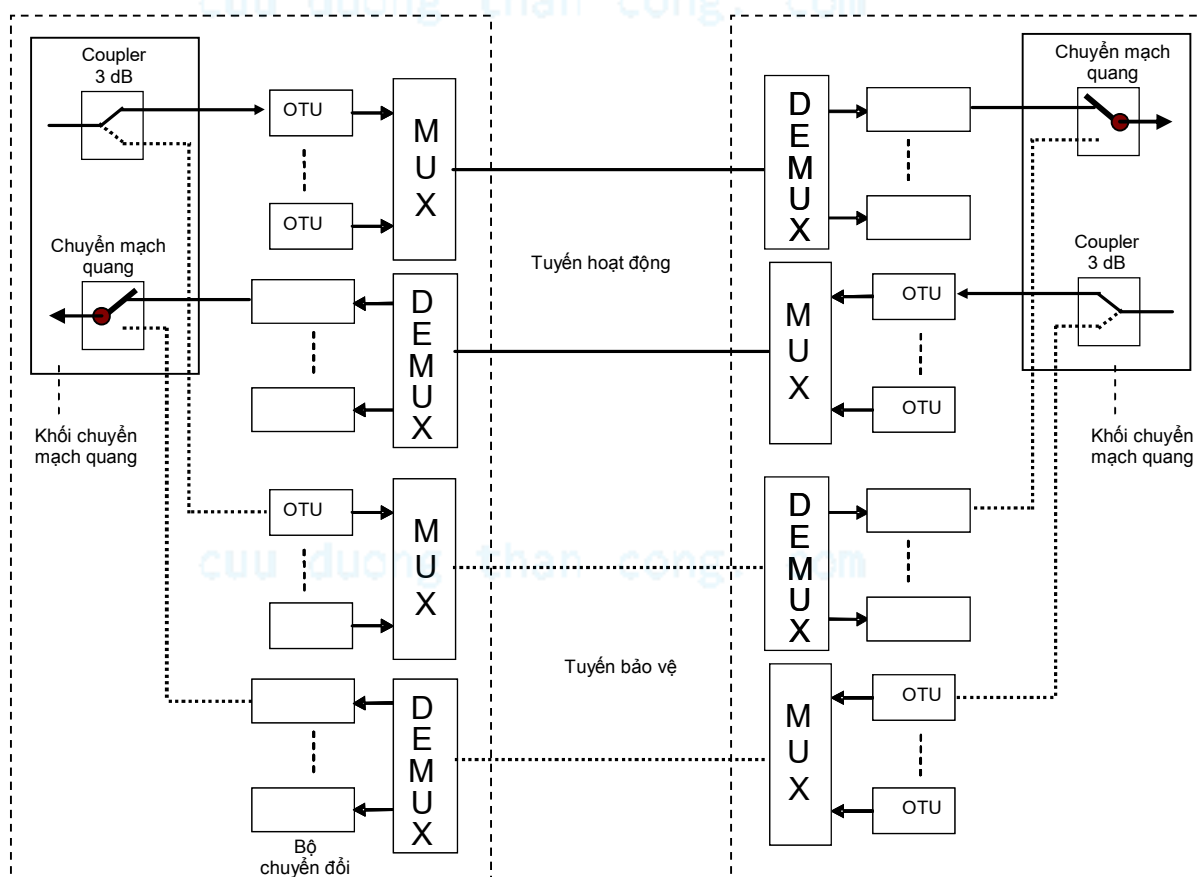
Với những cơ chế này, tất cả các kênh quang sẽ được bảo vệ khi có sự cố đứt sợi. Thời gian thực hiện bảo vệ nhỏ hơn 10 ms.

b) Bảo vệ đoạn ghép kênh quang

Phần lớn cơ chế bảo vệ đoạn ghép kênh quang thường sử dụng các cơ chế bảo vệ SDH. Các thiết bị ghép kênh xen/ rẽ WDM có thể tái cấu hình lại sẽ đưa ra sự phân phối kênh bước sóng động và chuyển mạch để bảo vệ các kênh quang khi mạng có sự cố.

c) Bảo vệ kênh quang

Bảo vệ kênh quang liên quan đến kênh hoạt động và kênh bảo vệ tại kết cuối WDM để cung cấp cơ chế bảo vệ 1:1 cho các kênh quang. Khối bảo vệ gồm phần phát và phần thu. Phía phát, tín hiệu quang từ khách hàng đến sẽ được chia bởi coupler 3 dB và sau đó gửi tới bộ chuyển phát của thiết bị kết cuối hoạt động và bảo vệ, như mô tả trên hình 1.34. Phía thu, các tín hiệu quang tới từ tuyến hoạt động và bảo vệ sẽ được đưa vào khối chuyển mạch quang 1×2 để lựa chọn trong trường hợp khi có sự cố trong lớp quang. Kênh được lựa chọn sau đó sẽ được gửi tới khách hàng. Thời gian khôi phục tối đa từ khi xuất hiện sự cố tới khi khôi phục hoàn toàn tuyến quang là nhỏ hơn 50 ms.



Hình 1.34. Cơ chế bảo vệ kênh quang 1:1

1.5- KẾT LUẬN

Sợi quang đơn một suy hao thấp xuất hiện đã tạo điều kiện cơ bản cho sự hình thành công nghệ ghép kênh theo bước sóng (WDM). Quá trình phát triển của WDM gắn liền không những với trình độ chế tạo sợi quang, mà còn gắn liền với sự phát triển của công nghệ chế tạo các phần tử quang như laser đơn một, diode tách quang, khuếch đại quang sợi v.v.

Sợi quang đơn một có 3 cửa sổ truyền tải tín hiệu quang, trong đó cửa sổ thứ ba có bước sóng trung tâm là 1550 nm rất phù hợp cho ghép kênh theo bước sóng mật độ cao (DWDM). Điều kiện để đạt được DWDM là khoảng cách giữa các kênh bước sóng phải hẹp (khoảng cách tiêu chuẩn là 100 GHz), sử dụng laser đơn một phổ hẹp, chẳng hạn laser DFB, DBR, kết hợp với các bộ lọc điều hưởng như Fabry - perot, Mach- Zehnder v.v.

Trong hệ thống DWDM xuất hiện nhiều xuyên kênh do tán sắc và hiệu ứng quang phi tuyến. Để hạn chế ảnh hưởng của nhiều xuyên kênh cần sử dụng một số giải pháp như bù tán sắc, laser ổn định tần số và điều chế ngoài.

cuu duong than cong. com

cuu duong than cong. com

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

- 1- Kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng tương tự như:
 - a. Ghép kênh phân tần số (FDM)
 - b. Ghép kênh phân thời gian (TDM)
 - b. Ghép kênh phân chia theo mã (CDM)
 - a. Cả ba câu trên
- 2- Băng thông hoạt động của hệ thống WDM là:
 - a. Băng O và băng E
 - b. Băng S và băng C
 - c. Băng L và băng U
 - d. Tất cả các câu trên
- 3- Khoảng cách chuẩn hóa giữa các bước sóng trong hệ thống DWDM bằng:
 - a. 10000 GHz
 - b. 2500 GHz
 - c. 100 GHz
 - d. Tất cả các câu trên
- 4- Để chia công suất tín hiệu quang thành hai phần bằng nhau phải sử dụng phần tử gì?
 - a. Coupler 3dB
 - b. Bộ ghép kênh quang (OMUX)
 - c. Bộ lọc quang (Optical Filter)
 - d. Circulator
- 5- Để xen/ rẽ kênh quang nào đó phải sử dụng thiết bị gì?
 - a. OXC
 - b. OADM
 - c. Transponder
 - d. Bộ khuếch đại quang (OA)
- 6- Để lấy ra một kênh quang nào đó phải sử dụng phần tử gì?
 - a. Coupler 3dB

- b. Bộ lọc quang (Optical Filter)
- c. Circulator
- d. Bộ tách kênh (DEMUX)

7- Hiệu ứng Kerr bao gồm:

- a. Hiệu ứng tự điều pha (SPM)
- b. Hiệu ứng điều chế pha chéo (XPM)
- c. Hiệu ứng trộn bốn sóng quang (FWM)
- d. Tất cả các câu trên

8- Hãy cho biết đâu là hiệu ứng phi tuyến:

- a. Tán xạ Rayleigh
- b. Tán xạ ngược
- c. Tán xạ Brillouin kích thích (SBS) và tán xạ Raman kích thích (SRS)
- d. Tất cả các câu trên

9- Đối với lớp đoạn ghép kênh quang có thể sử dụng cơ chế bảo vệ nào khi sợi quang của hệ thống hoạt động bị đứt?

- a. Cơ chế bảo vệ 1:1
- b. Cơ chế bảo vệ 1+1
- c. Cơ chế bảo vệ 1:N
- d. Cả 3 loại cơ chế

10- Cho mô hình hệ thống WDM đơn hướng điểm-điểm sử dụng 4 bước sóng ở băng C. Mỗi bước sóng hoạt động ở tốc độ 10 Gbit/s. Khoảng cách giữa các bước sóng là 100 GHz. Khoảng cách truyền tin giữa hai điểm là 100 km. Hệ thống sử dụng sợi quang đơn mode có hệ số suy hao 0.2 dB/km tại băng C. Hãy tính:

- a. Tổng dung lượng của hệ thống (đơn vị Gbit/s) và tính tổng băng thông sử dụng của hệ thống (đơn vị nm).
- b. Nếu công suất phát tại bước sóng thứ nhất λ_1 là 1 mW, bỏ qua các suy hao tại các thiết bị ghép/tách bước sóng và các mối hàn nối, hãy tính công suất của bước sóng λ_1 tại phía thu theo đơn vị mW.