
Lời nói đầu

Ngày nay sự phát triển của xã hội ngày càng được nâng cao thì nhu cầu của con người về trao đổi thông tin ngày càng cao. Để đáp ứng những nhu cầu đó, đòi hỏi mạng lưới viễn thông phải có tốc độ cao, dung lượng lớn. Chính vì thế, em đã chọn đề tài “ Hệ thống thông tin sợi quang “ làm đề tài cho đồ án tốt nghiệp . Đồ án gồm có 2 phần:

Phần Lý thuyết

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG

CHƯƠNG 2: SỢI QUANG VÀ CẤP QUANG

CHƯƠNG 3: THIẾT BỊ PHÁT VÀ THU QUANG

CHƯƠNG 4: KỸ THUẬT GHÉP KÊNH PHÂN CHIA THEO THỜI
GIAN

Phần Tính toán và Thiết kế

CHƯƠNG 5: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ TUYẾN CẤP QUANG THEO
QUỸ CÔNG SUẤT VÀ THỜI GIAN LÊN

Do thời gian và kiến thức còn hạn chế nên vẫn có nhiều thiếu sót cần bổ sung và phát triển mong quý thầy cô, bạn đọc chỉ bảo.

Em Xin chân thành cảm ơn quý thầy cô trong khoa Điện tử viễn thông, cùng Thầy giáo T.s **Tăng Tấn Chiến** đã hướng dẫn cho em hoàn thành đề tài này.

Đà Nẵng, tháng 06 năm 2007

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN SỢI QUANG

1.1 Giới thiệu chương

Trong chương này nhằm trình bày một cách chung nhất về hệ thống thông tin sợi quang.

1.2 Đặc điểm nổi bật hơn hệ thống cáp kim loại là:

Suy hao truyền dẫn rất nhỏ.

Băng tần truyền dẫn rất lớn.

Không bị ảnh hưởng của nhiễu điện từ.

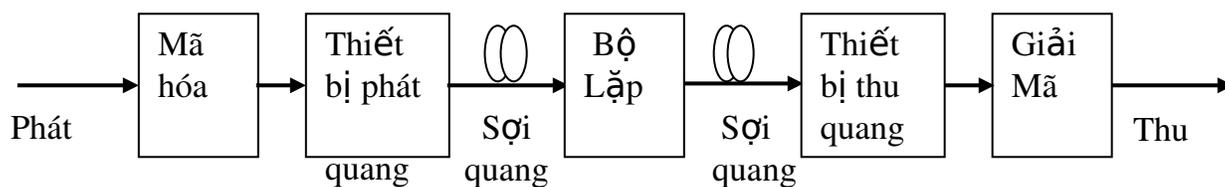
Có tính bảo mật tốt.

Có kích thước và trọng tải nhỏ.

Sợi có tính cách điện tốt và được chế tạo từ vật liệu có sẵn.

1.3 Hệ thống truyền dẫn quang

Tín hiệu điện từ các thiết bị đầu cuối như: điện thoại, điện báo, fax số liệu... sau khi được mã hóa sẽ đưa đến thiết bị phát quang. Tại đây, tín hiệu điện sẽ được chuyển đổi sang tín hiệu quang. Tín hiệu trong suốt quá trình truyền đi trong sợi quang thì sẽ bị suy hao do đó trên đường truyền người ta đặt các trạm lặp nhằm khôi phục lại.



Hình 1.2: Cấu hình của hệ thống thông tin

1.4 Kết luận chương

Qua chương 1: tổng quan về hệ thống thông tin quang. Ta thấy hệ thống thông tin quang ngày càng được sử dụng rộng rãi với những ưu thế nổi bật mà các hệ thống khác không có được về đặc tính kỹ thuật và hiệu quả kinh tế. Tuy nhiên, để đánh giá sự thành công của một hệ thống không thể không nói đến vai trò của sợi quang và cáp quang, vấn đề này sẽ được trình bày cụ thể ở chương sau.

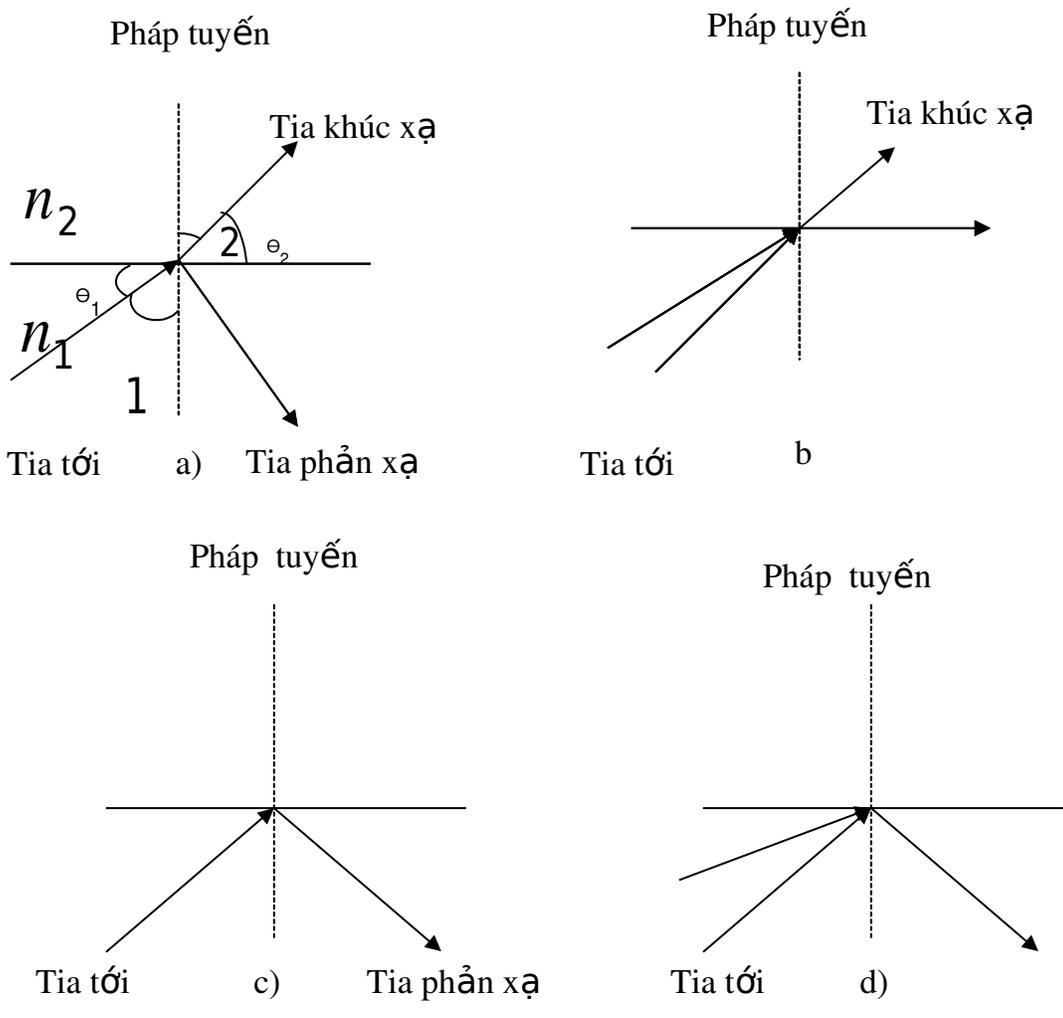
CHƯƠNG 2: SỢI QUANG VÀ CÁP QUANG

2.1 Giới thiệu chương

Cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật thì cáp quang và sợi quang càng ngày càng được phát triển nhằm phù hợp với các môi trường khác nhau như dưới nước, trên đất liền, treo trên không, và đặc biệt gần đây nhất là cáp quang treo trên đường dây điện cao thế, ở bất kỳ đâu thì cáp quang và sợi quang cũng thể hiện được sự tin cậy tuyệt đối.

2.2 Sợi quang

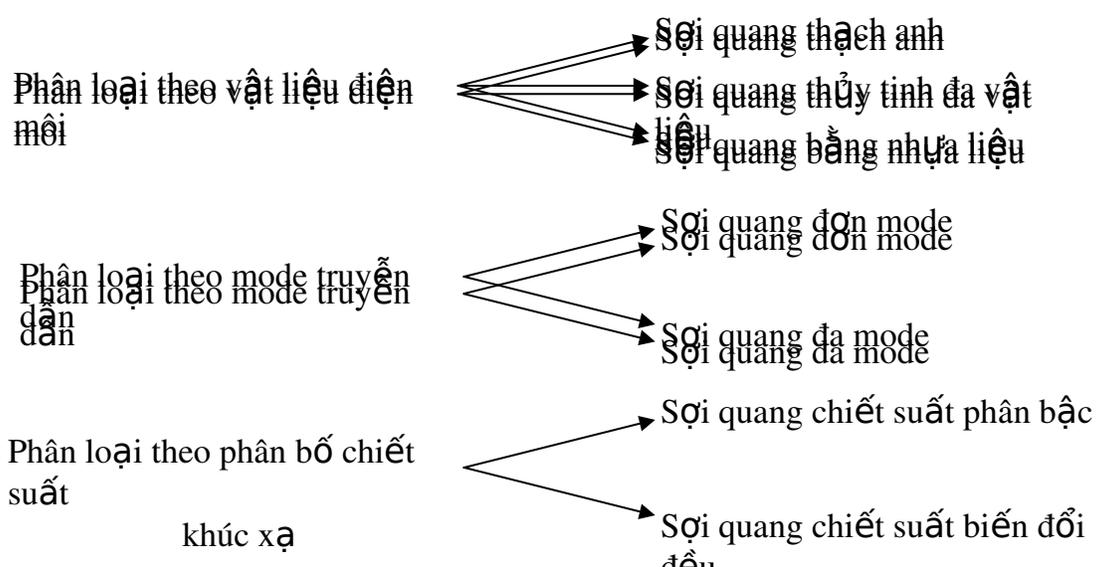
2.2.1 Đặc tính của ánh sáng

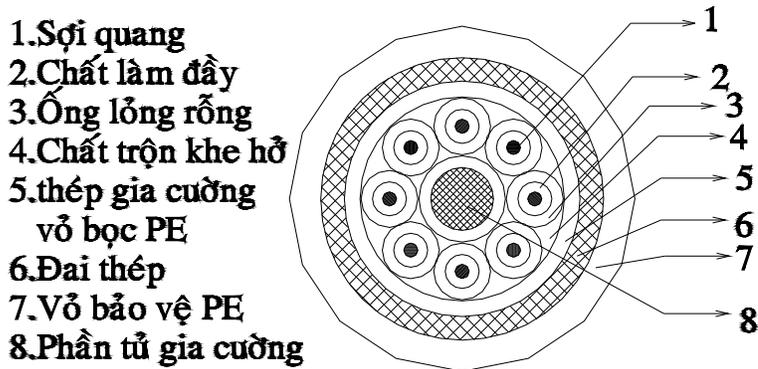
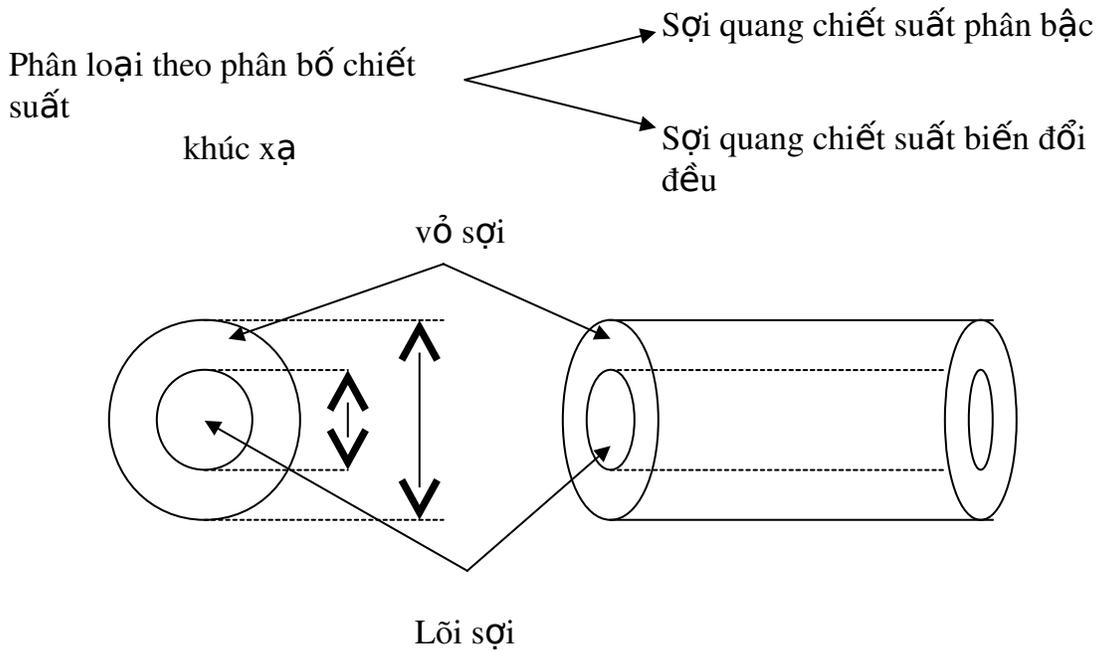


Hình 2.1: Mô tả hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng.

2.2.2. Sợi quang

Sợi quang được phân loại bằng cách khác nhau và được trình bày như sau:





Hình 2.2: Cấu trúc tổng thể của sợi.

2.2.3 Suy giảm tín hiệu trong sợi quang

2.2.3.1 Hấp thụ tín hiệu trong sợi dẫn quang

- Hấp thụ do tạp chất:
- Hấp thụ vật liệu.
- Hấp thụ điện tử:

2.2.3.2 Suy hao do uốn cong sợi

- Uốn cong vĩ mô: là uốn cong có bán kính uốn cong lớn tương đương hoặc lớn hơn đường kính sợi.
- Uốn cong vi mô: là sợi bị cong nhỏ một cách ngẫu nhiên và thường bị xảy ra trong lúc sợi được bọc thành cáp.

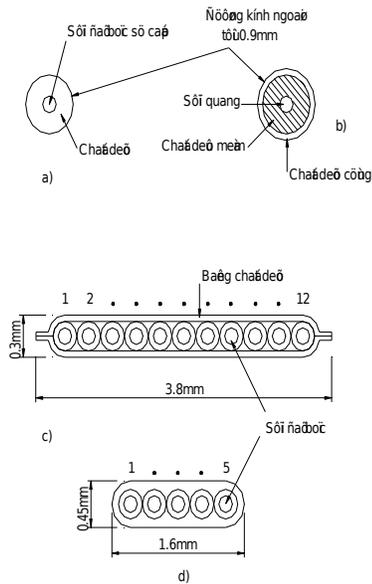
2.3 Cáp quang

2.3.1 Các biện pháp bảo vệ sợi

Trước khi tiến hành bọc cáp, sợi quang thường được bọc lại để bảo vệ sợi trong khi chế tạo cáp. Có hai biện pháp :

Bọc chặt sợi.

Bọc lỏng sợi.



Hình 1.41 Ví dụ mô hình các loại cáp khác nhau

2.3.2 Các thành phần của cáp quang

Các thành phần của cáp quang bao gồm: Lõi chứa các sợi dẫn quang, các phần tử gia cường, vỏ bọc và vật liệu đệm.

- **Lõi cáp:** Các sợi cáp đã được bọc chặt nằm trong cấu trúc lỏng, cả sợi và cấu trúc lỏng hoặc rãnh kết hợp với nhau tạo thành lõi cáp. Lõi cáp được bao quanh phần tử gia cường của cáp. Các thành phần tạo rãnh hoặc các ống bọc thường được làm bằng chất dẻo.
- **Thành phần gia cường:** Thành phần gia cường làm tăng sức chịu đựng của cáp, đặc biệt là ổn định nhiệt cho cáp. Nó có thể là kim loại, phi kim, tuy nhiên phải nhẹ và có độ mềm dẻo cao.
- **Vỏ cáp:** Vỏ cáp bảo vệ cho cáp và thường được bọc đệm để bảo vệ lõi cáp khỏi bị tác động của ứng suất cơ học và môi trường bên ngoài. Vỏ chất dẻo được bọc bên ngoài cáp còn vỏ bọc bằng kim loại được dùng cho cáp chôn trực tiếp.

2.4 Kết luận chương

Kết thúc chương 2 giúp ta hiểu thêm về những đặc tính kỹ thuật của sợi quang và cáp quang. Để ứng dụng quang trong hệ thống thông tin thì sợi quang phải được bọc thành cáp

Với các môi trường khác nhau thì cấu trúc của cáp quang cũng khác nhau để phù hợp với nhu cầu thực tế. Tuy nhiên, để đảm bảo chất lượng tốt của hệ thống thì các thiết bị phát quang cũng như các thiết bị thu quang cũng góp một phần rất quan trọng và phần này sẽ được nghiên cứu ở chương sau.

CHƯƠNG 3: THIẾT BỊ PHÁT QUANG VÀ THIẾT BỊ THU QUANG

3.1 Giới thiệu chương

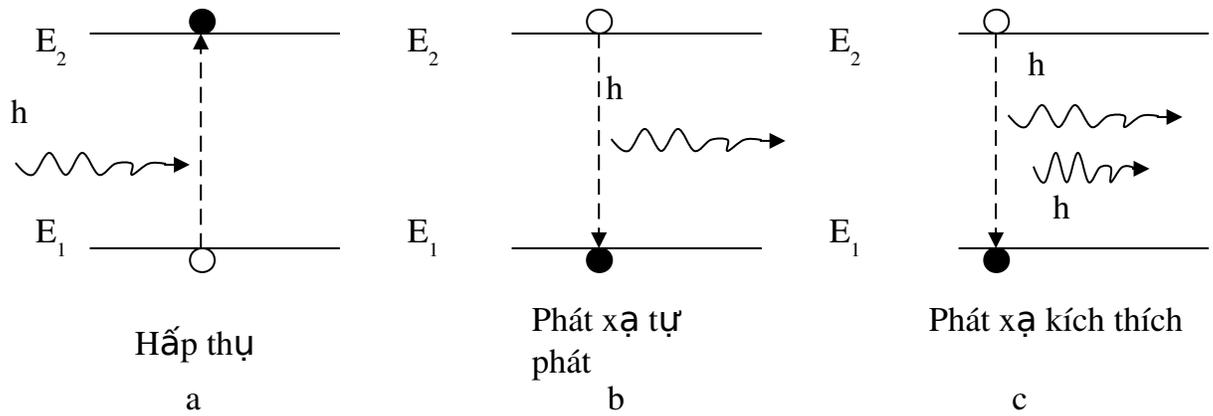
Trong chương này sẽ trình bày một cách khá chi tiết về thiết bị phát quang như LED, LD hay thiết bị thu PIN, APD cũng như nguyên tắc hoạt động của nó để từ đó chúng ta có thể lựa chọn được thiết bị phù hợp với hệ thống và yêu cầu thiết kế.

3.2 Thiết bị phát quang

3.2.1 Điốt LED

Điốt phát quang LED là nguồn phát quang rất phù hợp cho các hệ thống thông tin quang tốc độ không quá 200Mbit/s sử dụng sợi dẫn quang đa mode

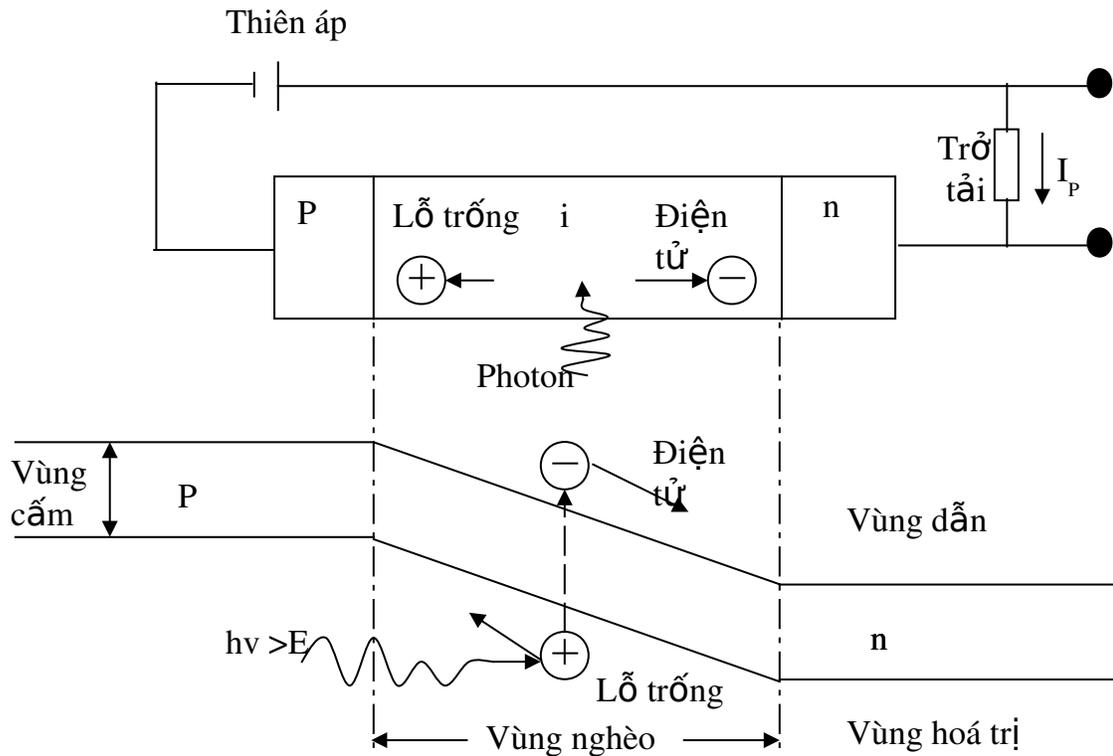
3.2.2 Điốt Lased



Hình 3.1 Mức năng lượng và quá trình chuyển dịch

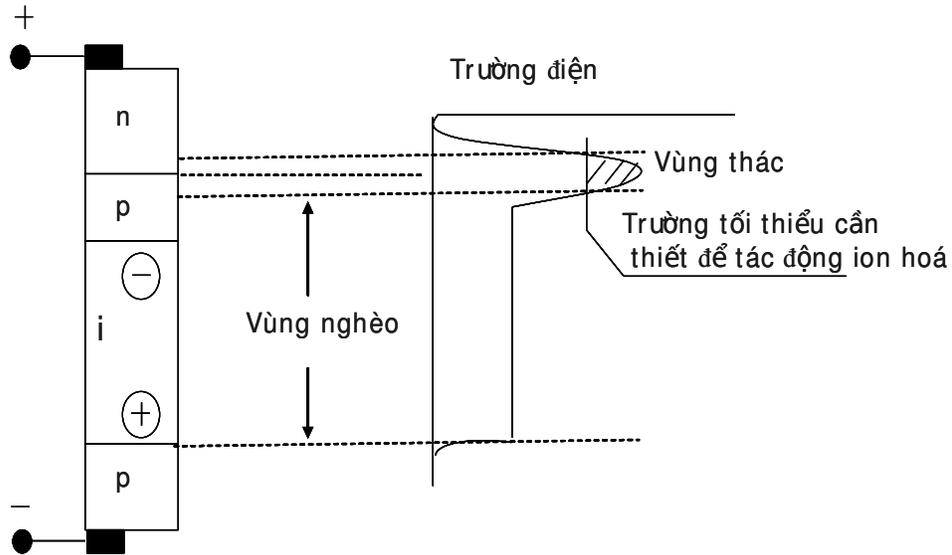
3.3 Thiết bị thu quang

3.3.1 Photodiode PIN



Hình 3.2: Sơ đồ vùng năng lượng của Photodiode PIN.

3.3.3 Photodiode APD



Hình 3.3: Cấu trúc Photodiode thác và điện trường trong vùng trôi.

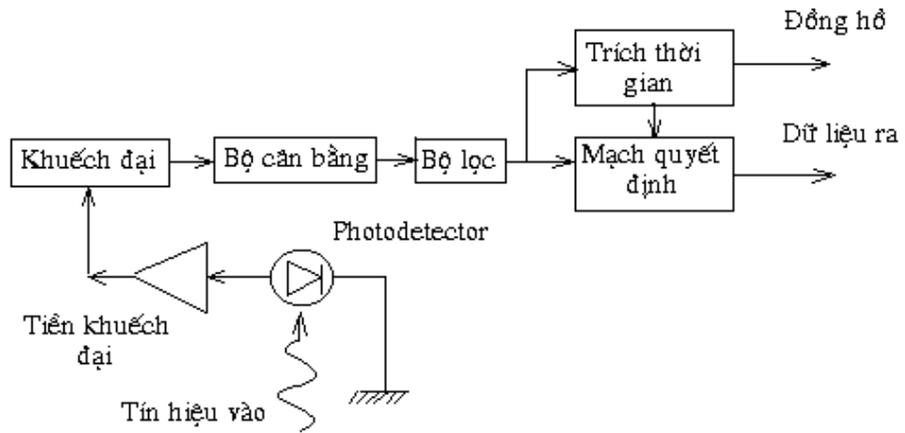
3.3 Đặc tính và tham số cơ bản của thiết bị thu quang

3.3.1 Hiệu suất lượng tử

Hiệu suất lượng tử được định nghĩa là tỷ số điện tử được sinh ra trên số photon được hấp thụ. Thường các điốt đạt hiệu quả khoảng 60% đến 80%.

3.3.2 Bộ thu quang trong truyền dẫn tín hiệu số

Hình 3.2.3: Sơ đồ khối của bộ thu quang điển hình trong truyền dẫn số



Hình 3.4 sơ đồ khối của bộ thu quang điển hình trong truyền dẫn số.

3.4 Kết luận chương

Việc xem xét các đặc tính kỹ thuật của thiết bị thu quang là một yếu tố rất quan trọng. Chất lượng của hệ thống phụ thuộc rất nhiều vào các thiết bị thu quang mà ở đây ta xét chủ yếu đến LD

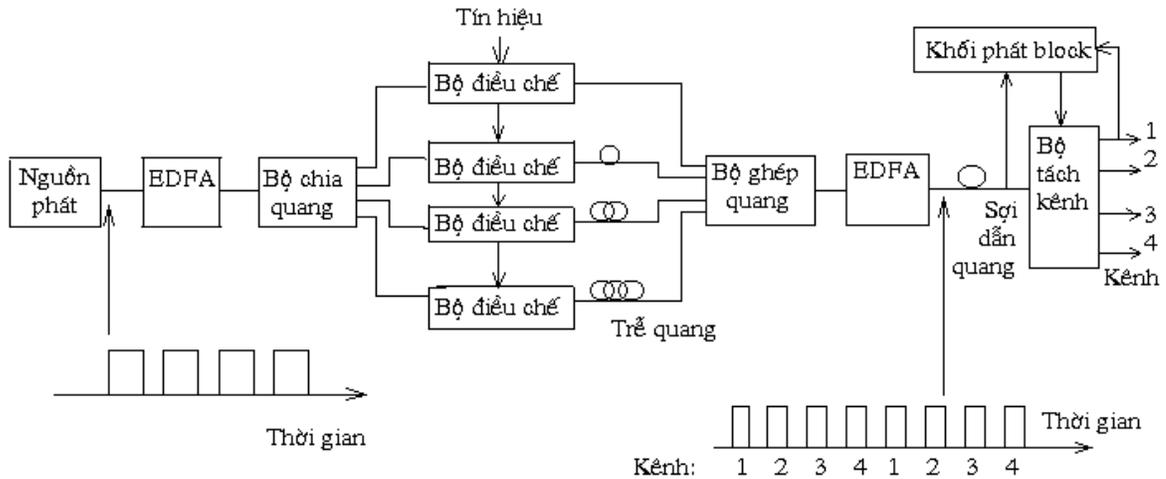
CHƯƠNG 4: KỸ THUẬT GHEP KÊNH QUANG PHÂN CHIA THEO THỜI GIAN

4.1 Giới thiệu chương

Để khắc phục tình trạng trên thì kỹ thuật ghép kênh quang đã ra đời và có nhiều phương pháp ghép kênh khác nhau nhưng phương pháp ghép kênh quang phân chia theo thời gian (OTDM-Optical Time Division Multiplexing) là ưu việt hơn cả và được sử dụng phổ biến trên toàn thế giới. Đối với OTDM, kỹ thuật ghép kênh ở đây có liên quan đến luồng tín hiệu ghép, dạng mã và tốc độ đường truyền.

4.2 Nguyên lý ghép kênh OTDM

Sơ đồ khối dưới đây mô tả hoạt động của hệ thống truyền dẫn quang sử dụng kỹ thuật OTDM.



Hình 4.1: Sơ đồ tuyến thông tin quang dùng kỹ thuật OTDM ghép 4 kênh quang.

Các hệ thống ghép kênh OTDM thường hoạt động ở vùng bước sóng 1550nm, tại bước sóng này có suy hao quang nhỏ và lại phù hợp với bộ khuếch đại quang sợi có mặt trong hệ thống. Các bộ khuếch đại quang sợi có chức

năng duy trì quỹ công suất của hệ thống nhằm đảm bảo tỷ lệ S/N ở phía thu quang.

CHƯƠNG 5: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ TUYẾN CÁP QUANG THEO QUỸ CÔNG SUẤT VÀ THỜI GIAN LÊN

5.1 Giới thiệu chương

Các hệ thống thông tin quang được ứng dụng có hiệu quả nhất trong lĩnh vực truyền dẫn số. Do vậy trong tính toán, thiết kế ta xem xét hệ thống truyền dẫn số IM-DD (Intensity Modulation-Direct Detection) thì những điều kiện bắt buộc về kỹ thuật và tính kinh tế đóng một vai trò quan trọng trong tất cả các tuyến thông tin sợi quang.

Mục đích của việc thiết kế tuyến là phải đạt được các yêu cầu sau:

- Cự ly truyền dẫn theo yêu cầu.
- Tốc độ truyền dẫn.
- Tỷ số lỗi bit BER.

Để đảm bảo cho việc thiết kế tuyến đạt được các yêu cầu đó cần phải chọn các thành phần của tuyến:

- Sợi quang đơn mode hay đa mode.
- Kích thước lõi sợi.
- Chỉ số chiết suất mặt cắt lõi.
- Băng tần hoặc tán sắc.
- Suy hao của sợi.
- Khấu độ hay bán kính trường mode.

Nguồn phát là LD hay LED

- Bước sóng phát .

- Độ rộng phổ.
- Công suất phát.
- Vùng phát xạ có hiệu quả.

Thiết bị thu quang sử dụng PIN hay APD

- Hệ số chuyển đổi.
- Bước sóng làm việc.
- Tốc độ làm việc.
- Độ nhạy thu.

Các bước thiết kế:

1. Chọn bước sóng làm việc của tuyến
2. Lựa chọn thành phần thiết bị hoạt động ở bước sóng này
3. Chọn thiết bị thoả mãn yêu cầu đặt ra

5.4 Nhiễu trong hệ thống thông tin quang

5.4.1 Nhiễu lượng tử .

Giá trị của nhiễu lượng tử phụ thuộc vào các tham số :

$$i_{shot}^2 = 2.e.i.B \quad (5.23)$$

Trong đó: B là độ rộng băng của bộ thu

I là dòng trung bình đến bộ tách sóng

Giá trị của dòng nhiễu lượng tử là $i_{shot} = \sqrt{2.e.i.B}$, từ biểu thức này ta thấy dòng nhiễu lượng tử tăng theo \sqrt{B} .

5.4.2 Nhiễu nhiệt

Công thức tính toán nhiễu nhiệt: $i^2 = 4KTBR_L$

(5.24)

Tong đó :K là hằng số Boltzman K =1,38.10²³

T là nhiệt độ ở đơn vị kenvin , $T=t(^{\circ}C) + 273$

R là điện trở tải

5.5 Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu

5.5.1 Đối với photodiode PIN

Trong hệ thống tách sóng trực tiếp, sử dụng diode tách sóng PIN thì giá trị dòng và công suất tới quan hệ như sau :

$$i_s = \frac{e}{h\nu} p_s$$

(5.25)

Với: i_s : là hiệu suất lượng tử

h : là hằng số plank, $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js

Mặt khác ta có công suất trên tải :

$$S = i_s^2 \cdot R_L$$

$$S = \left(\frac{e}{h\nu} \cdot p_s \right)^2 \cdot R_L$$

5.26

- Công suất nhiễu lượng tử với dòng bao gồm cả dòng tối :

$$i_{shot}^2 \cdot R_L = 2eI \cdot B \cdot R_L = 2e \left(\frac{e}{h\nu} P_s + i_d \right) \cdot B \cdot R_L$$

5.27

- Dòng và thế của nhiễu nhiệt :

$$i_{nh}^2 = \frac{4KT B}{R_L} \quad ; \quad u_{nh}^2 = 4KT B \cdot R_L$$

Công suất nhiễu nhiệt :

$$N_{nh} = \frac{4KT_B}{R_L} R_L = 4KT_B$$

5.28

Từ đó ta có tỷ số tín hiệu trên nhiễu ở máy thu sử dụng photodiode PIN:

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} p_s\right)^2 R_L}{2e\left(\frac{e}{h\nu} p_s + i_d\right) B R_L + 4K.B.T}$$

5.29

5.5.2 Đối với photodiode thác APD

Như đã biết APD bao gồm lớp chuyển đổi quang điện và lớp nhân điện, do vậy nhiễu xuất hiện ở lớp chuyển đổi quang điện $i_{shot}^2 = 2.e.I.B$ cũng nhân được lên lớp nhân với hệ số nhân M

$$i_{shot}^2 = \left(\frac{e}{h\nu} p_s + i_d\right) M^{2 \cdot x} B$$

5.30

$$N_{shot} = i_{shot}^2 \cdot R_L = 2.eI.BR_L = 2e\left(\frac{e}{h\nu} P_s + i_d\right) \cdot M^{2 \cdot x} \cdot B \cdot R_L$$

5.31

Trong biểu thức trên trị số M^x gọi là nhiễu quá mức. Đây là giá trị được sinh ra trong hiệu ứng thác.

Với x là hệ số tạp âm quá mức, giá trị của x phụ thuộc vào vật liệu chế tạo photodiode APD. Đối với photodiode si = 0.3,

photodiode InGAs x=0.7

photodiode Ge x=1

Do đó tỷ số tín hiệu trên nhiễu ở máy thu sử dụng photodiode APD là:

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} M \cdot p_s\right)^2 R_L}{2e\left(\frac{e}{h\nu} \cdot p_s \cdot i_d\right) M^2 \times B \cdot R_L \quad 4K \cdot BT}$$

5.32

Tỷ lệ lỗi bit: $BER = \frac{\exp(-q^2/2)}{q\sqrt{2}}$

(5.33)

Với $q=SN/2$

Tỷ số BER càng nhỏ thì chất lượng của hệ thống càng cao và điều này còn tùy thuộc vào từng hệ thống. Thường $BER=10^{-9}$ hay $<10^{-12}$.

5.6 Các giá trị của các thành phần

Thiết bị phát quang:[7]

Tham số	Giá trị
Bước sóng làm việc	1300nm hay 1550nm
Dải sóng làm việc	50nm
Công suất ra	LED: -32 đến 15dBm LD: -12 đến 7dBm
Thời gian lên	LED: 3ns(max) LD: <1ns
Độ rộng phổ	LED: 30 đến 100nm LD: 1 đến 2nm

Cáp sợi quang:[7]

Tham số	Giá trị
Độ rộng băng thông 1km cáp sợi quang	100 đến 2500Mhz

Suy hao của sợi(sh)	MM<2dB/km SM tại 1300nm:0.36dB/km SM tại 1550nm:0.22dB/km
Hệ số tán sắc(D)	MM<6ps/nm.km SM tại 1300nm <3,5 ps/nm.km SM tại 1550nm <18 ps/nm.km

Thiết bị thu:

Tham số	Giá trị
Độ nhạy(S)	PIN: -43 đến 27,1 dBm APD: -41,5 đến 29,6 dBm
Hiệu suất	60%-90%
Dòng i_d, i_L	1nA

Suy hao do hàn nối và bộ nối:

Tham số	Giá trị
Suy hao mỗi hàn	0,3 db(max)
Suy hao bộ nối	0,5 db(max)

Khi tạo tổ hợp các thành phần trong tuyến phải tuân theo các quy tắc sau:

1. LED không được sử dụng với sợi quang đơn mode
2. LED không được sử dụng với điốt quang APD
3. LD không được sử dụng với sợi đa mode
4. LD đơn mode dùng với APD

LDDM: Laser đơn mode

DAMO: Sợi quang đa mode

DMTT: Sợi quang đơn mode thông thường

DMDC: Sợi quang đơn mode dịch chuyển

Do đó các tổ hợp có thể có là:

-
1. LED-DAMO-PIN
 2. LD-DMTT-APD
 3. LD-DMDC-PIN
 4. LD-DMTT-PIN
 5. LD-DMDC-APD
 6. LDDM-DMTT-APD
 7. LDDM-DMDC-APD

5.7 Bài toán tính toán và thiết kế theo quỹ công suất và thời gian lên

Yêu cầu cụ thể của tuyến như sau:

- Tuyến A-B với cự ly truyền dẫn: $L = 100 \text{ km}$
- Tốc độ bit: $B_t = 2,5 \text{ Gb/s}$
- Mã sử dụng là mã RZ
- Số conector(mỗi nối): 2
- Số Slice(mỗi hàn): 20
- BER cho phép 10^{-10} và không sử dụng bộ khuếch đại quang

5.7.1 Chọn bước sóng làm việc của tuyến.

Chọn bước sóng làm việc của tuyến có liên quan đến rất nhiều tham số khác của tuyến. Có ba vùng cửa sổ để có thể lựa chọn khi thiết kế là 850nm, 1300nm, 1550nm.

Trong vùng bước sóng dài các hệ thống hoạt động ở bước sóng 1550nm cho mức suy hao thấp nhưng lại có mức tán xạ lớn hơn 1300nm, ở tuyến trên, do chiều dài của tuyến là 100km nên ta cho bước sóng làm việc của tuyến là 1550nm để có mức suy hao thấp.

5.7.2 Chọn loại sợi quang

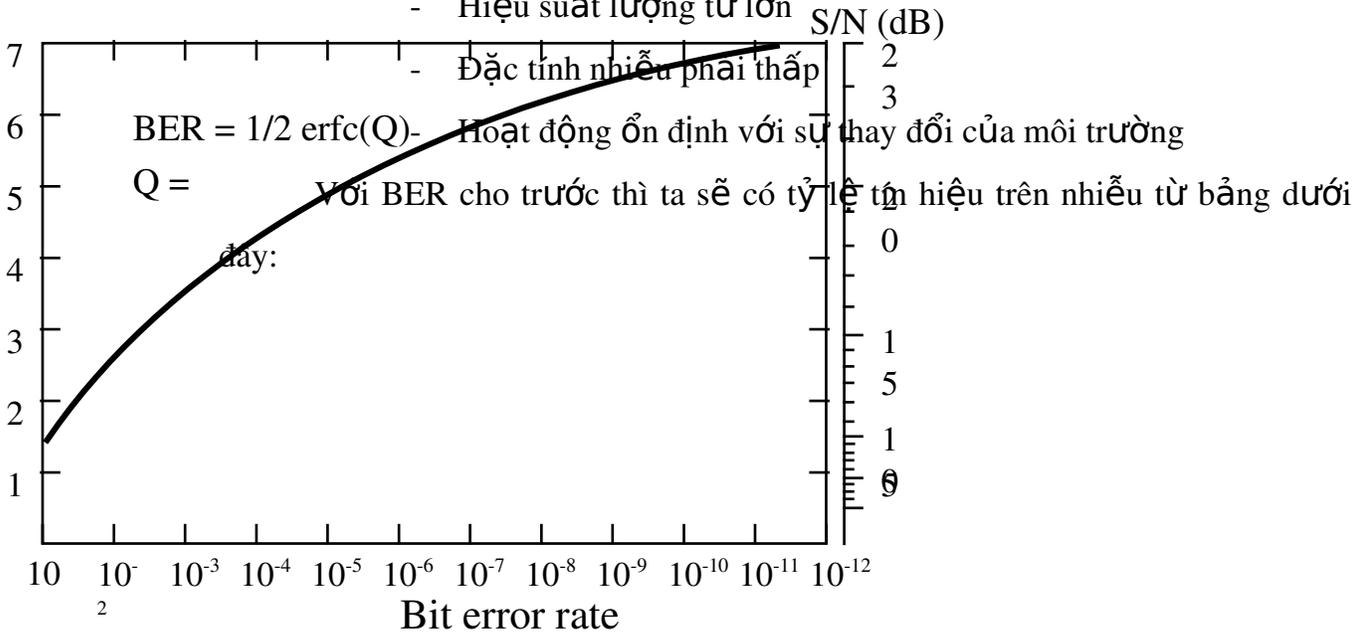
Loại sợi quang của tuyến được chọn là: sợi quang đơn mode với chỉ số suy hao là 0,25dB/km và hệ số tán sắc $D=17\text{ps/nm.km}$.

Sau khi có được các thông số về sợi quang cũng như suy hao của sợi trên đường truyền ta sẽ tiếp tục với việc chọn thiết bị thu quang.

5.7.3 Thiết bị thu quang.

Chọn thiết bị thu quang thỏa mãn các yêu cầu sau:

- Độ nhạy cao với bước sóng làm việc của tuyến
- Hiệu suất lượng tử lớn



Hình 5.2 Tỷ số bit BER

Với $BER=10^{-11}$ thì từ hình vẽ ta sẽ có $S/N = 22,6\text{dB}$ hay $S/N = 182$ lần

5.8 Tính toán tổn hao trên đường truyền

Loại tổn hao

Loại tổn hao	Đơn vị	Số lượng	Tổng
Tổn hao sợi	0,25dB/km	100km	25dB
Tổn hao mỗi hàn	0,1dB	20	2dB
Tổn hao mỗi nối	1dB	2	2dB
Dự phòng	5dB		5dB
$P_A = 34\text{dB}$			

5.9 Độ nhạy của máy thu trong trường hợp sử dụng PIN

Ta sẽ có công thức S/N đối với thiết bị thu PIN như sau:

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} p_s\right)^2 R_L}{2e\left(\frac{e}{h\nu} p_s + i_d\right) B \cdot R_L + 4K \cdot B \cdot T}$$

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} p_s\right)^2}{2e\left(\frac{e}{h\nu} p_s + i_d\right) B + \frac{4K \cdot B \cdot T}{R_L}}$$

Với $B_t = B = 2,5\text{Gb/s}$ (do mã sử dụng là RZ)

Chọn thiết bị thu là photodiode PIN G6742-003 của Hamamatsu Photonic (có thông số kèm theo)

Các thông số của PIN:

$$R = \frac{e}{h\nu} = 0,95\text{A/W}$$

$$R_L = 50$$

$$I_d = 0,3 \cdot 10^{-9}\text{A}$$

Các hằng số :

$$K = 1,38.10^{-23} \text{ J/K}, \quad h = 6,626.10^{-34} \text{ Js}, \quad c = 3.10^8 \text{ m/s}$$

Thay các giá trị vào ta được phương trình:

$$182 = \frac{0,95 P_s}{3,2.10^{-19} (0,95 P_s - 0,3.10^{-9}) - 2,5.10^9} \frac{4 \cdot 1,38.10^{-23} \cdot 300 \cdot 2,5.10^9}{50}$$

Ta được phương trình theo P_s :

$$0,925.P_s - 138,3.10^{-9}P_s - 15,1.10^{-11} = 0$$

Giải phương trình bậc hai ta được : $P_s = 13.10^{-6} \text{ W}$

$$P_s = -12,8.10^{-6} \text{ W (loại)}$$

Vậy độ nhạy của máy thu là : $P_s = 13.10^{-6} \text{ W}$ hay $P_s = -18,7\text{dBm}$

Từ đó ta có công suất phát tối ưu cho laser trong trường hợp sử

dụng PIN : $P_T = P_A + P_s = 34 + (-18,7) = 15,34\text{dbm}$

Như vậy chọn thiết bị phát với công suất danh định là: $P_T = 15,12\text{mW}$

5.10 Độ nhạy máy thu trong trường hợp sử dụng APD

Ta có công thức S/N đối với thiết bị thu APD như sau:

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} M \cdot p_s\right)^2 R_L}{2e\left(\frac{e}{h\nu} \cdot p_s - i_d\right) M^2 \times B \cdot R_L + 4K \cdot B \cdot T}$$

$$\text{hay} \quad \frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} M \cdot p_s\right)^2}{2e\left(\frac{e}{h\nu} \cdot p_s - i_d\right) M^2 \times B + 4 \frac{K \cdot B \cdot T}{R_L}}$$

chọn thiết bị thu là photodiode APD loại Suo020 của sensor Ulimited Inc

(có thông số kèm theo)

Các thông số của APD:

$$R = \frac{e}{h\nu} = 0,8 \text{ A/W}$$

$$R_L = 50$$

$$X = 0,7$$

$$M = 10$$

$$I_d = 30 \text{ nA}$$

Các hằng số :

$$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}, \quad h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Thay các giá trị vào ta được phương trình:

$$182 = \frac{8 P_s^2}{3,2 \cdot 10^{-19} (0,8 P_s - 30 \cdot 10^{-9}) \cdot 10^2 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2,5 \cdot 10^9}{50}}$$

Ta được phương trình theo P_s :

$$64 \cdot P_s^2 - 29,189 \cdot 10^{-6} P_s - 7,717 \cdot 10^{-11} = 0$$

Giải phương trình bậc hai ta được: $P_s = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ W}$

$$P_s = -8,93 \cdot 10^{-6} \text{ W (loại)}$$

Vậy độ nhạy của máy thu là : $P_s = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ W}$ hay $P_s = -28,7 \text{ dBm}$

Từ đó ta có công suất phát tối ưu cho laser trong trường hợp sử

dụng PIN : $P_T = P_A + P_s = 34 + (-28,7) = 5,3 \text{ dBm}$

Như vậy chọn thiết bị phát với công suất danh định là: $P_T = 5,34 \text{ mW}$

5.11 Tính toán thời gian lên.

-Thời gian lên tối đa của hệ thống

$$t_t = 0,7/B_t = 0,7/2,5 \cdot 10^9 = 2,8 \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

-Thời gian lên của thiết bị thu:

$$t_n = 350/B = 350/2,5 \cdot 10^9 = 14 \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

-Thời gian lên tán sắc mode của sợi quang:

$$t_t = 440.L^q/B_0 = 440.100^{0.5}/2,5.10^7 = 176.10^{-6} \text{ s}$$

trong đó : q là tham số có giá trị từ 0,5 đến 1

B_0 : băng tần một km cáp sợi quang (MHz)

L: chiều dài của cáp

- Thời gian lên tán sắc vật liệu ống dẫn sóng:

$$t_{vl} = D.L. = 17.0.04.100 = 68\text{ps} = 68.10^{-12}$$

- Khi đó thời gian lên của tuyến:

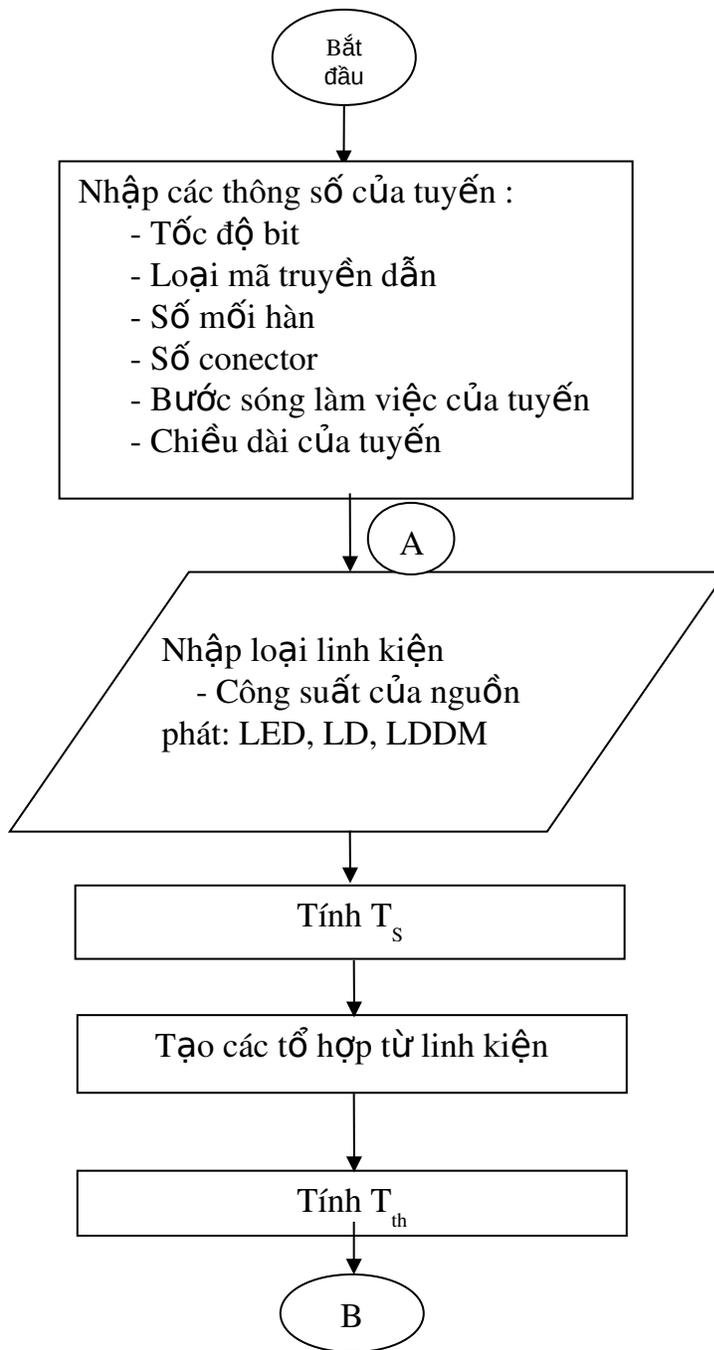
$$t_t = \sqrt{t_{tx}^2 (D.L.)^2 \frac{440L^q}{B_o} \frac{350}{B_{rx}}^2}$$

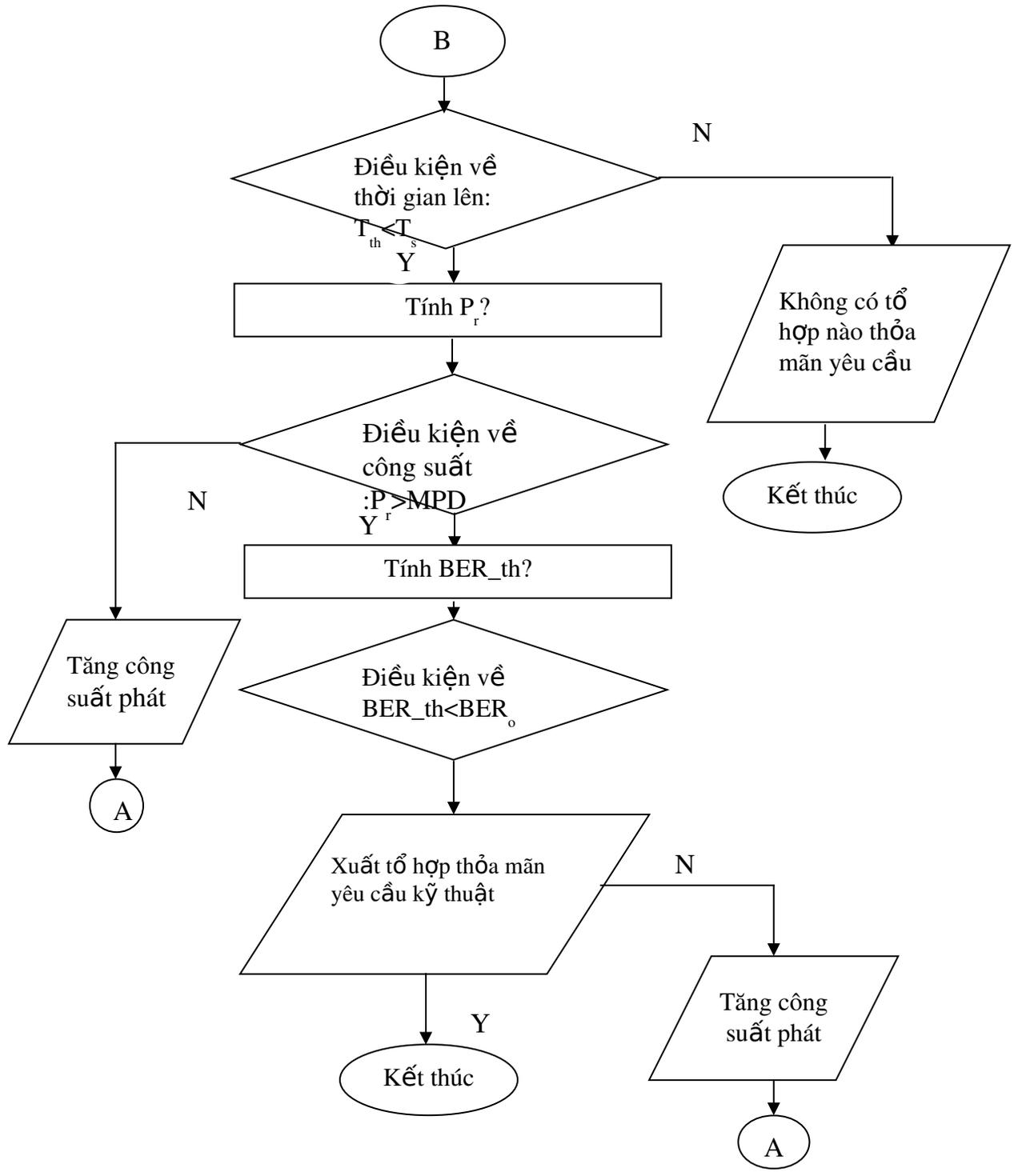
$$t_t = 2,65.10^{-10} \text{ s}$$

như vậy thời gian lên của tuyến là: $t_t = 2,65.10^{-10} \text{ s}$

5.12 Kết luận chương

Kết quả việc tính toán dựa vào các thông số cho trước của tuyến, đã cho thấy rằng ở APD có hệ số nhân M nên tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu S/N có giá trị lớn hơn nên độ nhạy máy thu được nâng cao hơn so với PIN. Do đó, việc lựa chọn APD làm thiết bị thu quang sẽ kéo theo thuận lợi là chỉ cần sử dụng diode Laser với công suất phát nhỏ hơn rất nhiều so với khi dùng PIN làm thiết bị thu quang





Phần lý thuyết

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN SỢI QUANG

1.1 Giới thiệu chương

Trong chương này nhằm trình bày một cách chung nhất về hệ thống thông tin sợi quang. Nguồn phát quang ở thiết bị phát có thể là LD hay LED, cả hai nguồn này đều phù hợp với hệ thống thông tin quang. Bên cạnh đó, tín hiệu ánh sáng sau khi được điều chế tại nguồn phát thì sẽ lan truyền dọc theo sợi dẫn quang để đến phần thu. Sợi quang có thể là sợi đơn mode hay sợi đa mode. Khi truyền ánh sáng trong sợi quang ánh sáng thường bị suy hao và méo do các yếu tố hấp thụ, tán xạ, tán sắc gây nên. Phía thu, bộ tách sóng quang sẽ thực hiện việc tiếp nhận ánh sáng và tách lấy tín hiệu từ bên phát đến và thường dùng các photodiode PIN hay APD. Độ nhạy thu quang ở bên thu đóng một vai trò quan trọng. Khi khoảng cách truyền dẫn khá dài tới một cự ly nào đó thì tín hiệu quang trong sợi quang sẽ bị suy hao nhiều lúc đó nhất thiết phải có trạm lặp quang lắp đặt dọc theo tuyến.

1.2 Tổng quan

Cùng với sự phát triển của xã hội thì nhu cầu của con người đối với thông tin ngày càng cao. Để đáp ứng được những nhu cầu đó, đòi hỏi mạng viễn thông phải có dung lượng lớn, tốc độ cao... Các mạng lưới đang dần dần bộc lộ ra những yếu điểm về tốc độ, dung lượng, băng thông... Mặt khác, mấy năm gần đây do dịch vụ thông tin phát triển nhanh chóng, để thích ứng với sự phát triển không ngừng của dung lượng truyền dẫn thông tin, thì hệ thống thông tin quang ra đời đã tự khẳng định được chính mình.

Như vậy, với việc phát minh ra Laser để làm nguồn phát quang đã mở ra một thời kỳ mới có ý nghĩa rất to lớn vào năm 1960 và bằng khuyến nghị của Kao và Hockham năm 1966 về việc chế tạo ra sợi quang có độ tổn thất thấp. 4 năm sau, Kapron đã chế tạo ra được sợi quang trong suốt có độ suy hao truyền dẫn khoảng 20dB/km. Cho tới đầu những năm 1980, các hệ thống thông tin sợi quang đã được phổ biến khá rộng rãi với vùng bước sóng làm việc 1300nm và 1500nm đã cho thấy sự phát triển mạnh mẽ của thông tin sợi quang trong hơn 2 thập niên qua. Ngày nay, cáp sợi quang đã tạo ra những triển vọng mới cho công nghệ truyền thông tốc độ cao cũng như việc hiện đại hóa mạng thông tin và nhu cầu kết nối thông tin. Sự kết hợp sợi quang vào bên trong dây chống sét cũng như dây dẫn đã đem lại những giải pháp tối ưu cho nhà thiết kế. Với sự gia tăng của dây chống sét và dây dẫn điện kết hợp với sợi quang không những chỉ truyền dẫn và phân phối điện mà còn đem lại những lợi ích to lớn về thông tin. Điều đó làm giảm giá thành của hệ thống và cũng chính vì những lý do trên mà cáp quang đang được ứng dụng rộng rãi trên thế giới. Với giá trị suy hao này đã gần đạt được giá trị suy hao 0.14dB/km của sợi đơn mode, từ đó đã cho ta thấy hệ thống thông tin quang có các đặc điểm nổi bật hơn hệ thống cáp kim loại là:

Suy hao truyền dẫn rất nhỏ.

Băng tần truyền dẫn rất lớn.

Không bị ảnh hưởng của nhiễu điện từ.

Có tính bảo mật tốt.

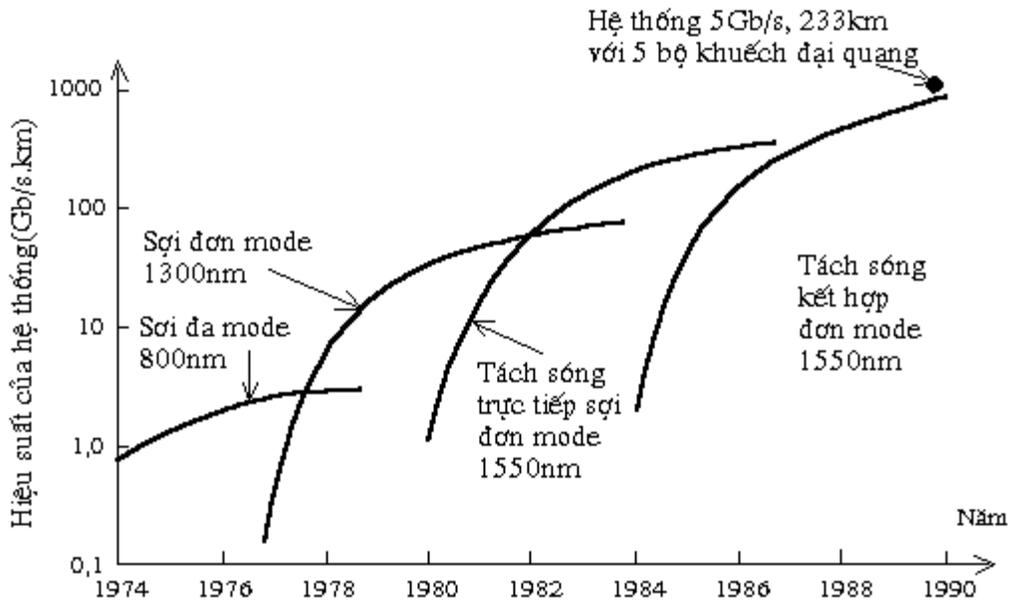
Có kích thước và trọng tải nhỏ.

Sợi có tính cách điện tốt và được chế tạo từ vật liệu có sẵn.

Với các ưu điểm trên mà các hệ thống thông tin quang được áp dụng rộng rãi trên mạng lưới. Chúng có thể được xây dựng làm các tuyến đường trực, trung kế, liên tỉnh, thuê bao kéo dài cho tới cả việc truy nhập vào mạng thuê bao linh hoạt và đáp ứng được mọi môi trường lắp đặt từ trong nhà, trong các cấu hình thiết bị cho tới các hệ thống truyền dẫn xuyên lục địa, vượt đại dương... Các hệ thống thông tin quang cũng rất phù hợp cho các hệ thống truyền dẫn số không loại trừ tín hiệu dưới dạng ghép kênh nào, các tiêu chuẩn Bắc Mỹ, Châu Âu hay Nhật Bản.

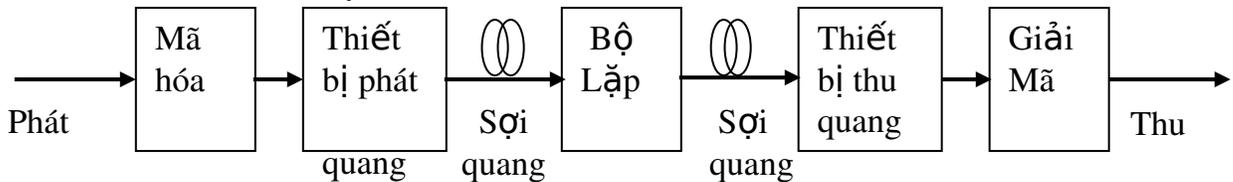
1.3 Hệ thống truyền dẫn quang

Tín hiệu điện từ các thiết bị đầu cuối như: điện thoại, điện báo, fax số liệu... sau khi được mã hóa sẽ đưa đến thiết bị phát quang. Tại đây, tín hiệu điện sẽ được chuyển đổi sang tín hiệu quang. Tín hiệu trong suốt quá trình truyền đi trong sợi quang thì sẽ bị suy hao do đó trên đường truyền người ta đặt các trạm lặp nhằm khôi phục lại tín hiệu.



Hình 1.1: Sự phát triển của các hệ thống thông tin quang

tín hiệu quang ban đầu để tiếp tục truyền đi. Khi đến thiết bị thu quang thì tín hiệu quang sẽ được chuyển đổi thành tín hiệu điện, khôi phục lại tín hiệu ban đầu để đưa đến thiết bị đầu cuối.



Hình 1.2: Cấu hình của hệ thống thông tin quang.

Hiện nay, các hệ thống thông tin quang đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới, chúng đáp ứng được cả các tín hiệu tương tự cũng như tín hiệu số, chúng cho phép truyền dẫn tất cả các tín hiệu dịch vụ băng hẹp và băng rộng, đáp ứng đầy đủ mọi yêu cầu của mạng số hóa đa dịch vụ (ISDN). Số

lượng cáp quang được lắp đặt trên thế giới với số lượng ngày càng lớn, ở mọi tốc độ truyền dẫn và ở mọi cự ly. Nhiều nước lấy môi trường truyền dẫn cáp quang là môi trường truyền dẫn chính trong mạng lưới viễn thông của họ.

1.4 Kết luận chương

Qua chương 1: tổng quan về hệ thống thông tin quang. Ta thấy hệ thống thông tin quang ngày càng được sử dụng rộng rãi với những ưu thế nổi bật mà các hệ thống khác không có được về đặc tính kỹ thuật và hiệu quả kinh tế. Tuy nhiên, để đánh giá sự thành công của một hệ thống không thể không nói đến vai trò của sợi quang và cáp quang, vấn đề này sẽ được trình bày cụ thể ở chương sau.

CHƯƠNG 2: SỢI QUANG VÀ CÁP QUANG

2.1 Giới thiệu chương

Cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật thì cáp quang và sợi quang càng ngày càng được phát triển nhằm phù hợp với các môi trường khác nhau như dưới nước, trên đất liền, treo trên không, và đặc biệt gần đây nhất là cáp quang treo trên đường dây điện cao thế, ở bất kỳ đâu thì cáp quang và sợi quang cũng thể hiện được sự tin cậy tuyệt đối.

2.2 Sợi quang

2.2.1 Đặc tính của ánh sáng

Để hiểu được sự lan truyền của ánh sáng trong sợi quang thì trước hết ta phải tìm hiểu đặc tính của ánh sáng. Sự truyền thẳng, khúc xạ, phản xạ là các đặc tính cơ bản của ánh sáng (được trình bày ở hình 2.1). Như ta đã biết, ánh sáng truyền thẳng trong môi trường chiết suất khúc xạ đồng nhất. Còn hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng có thể xem xét trong trường hợp có hai môi trường khác nhau về chỉ số chiết suất, các tia sáng được truyền từ môi trường có chỉ số chiết suất lớn vào môi trường có chỉ số chiết suất nhỏ thì sẽ thay đổi hướng truyền của chúng tại ranh giới phân cách giữa hai môi trường. Các tia sáng khi qua vùng ranh giới này bị đổi hướng nhưng vẫn tiếp tục đi vào môi trường chiết suất mới thì đó gọi là tia khúc xạ còn ngược lại, nếu tia sáng

nào đi trở về lại môi trường ban đầu thì gọi là tia phản xạ. Theo định luật Snell ta có quan hệ:

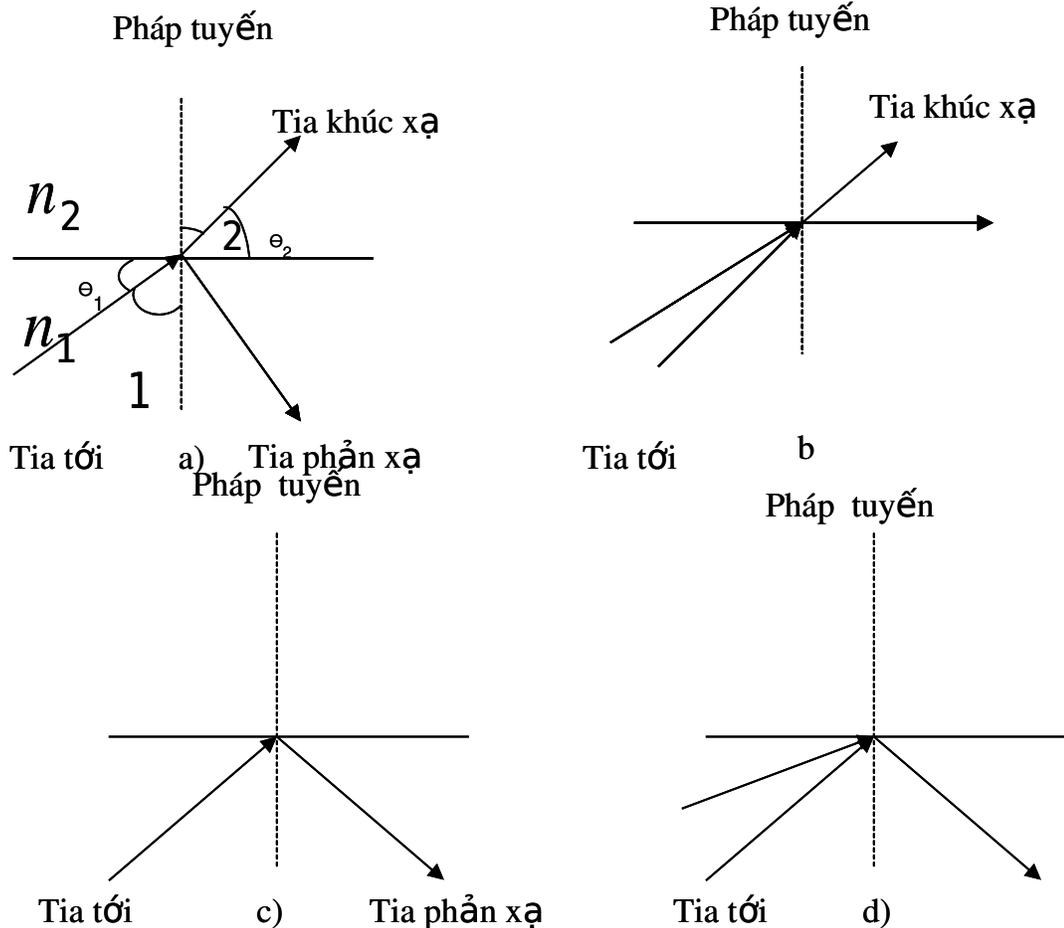
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

(2.1)

với θ_1 là góc tới và θ_2 là góc khúc xạ.

2.2.2 Đặc tính cơ học của sợi dẫn quang

Sợi dẫn quang rất nhỏ, vật liệu chế tạo chủ yếu là thủy tinh cho ta cảm giác dễ vỡ. Tuy nhiên, thực tế lại ngược lại hoàn toàn, sợi quang lại có thể chịu được những ứng suất và lực căng trong quá trình bọc cáp. Điều đó chứng tỏ rằng, ngoài các đặc tính truyền dẫn của sợi quang thì các đặc tính cơ học của nó cũng đóng vai trò rất quan trọng trong quá trình đưa sợi quang vào khai thác trong hệ thống thông tin quang.

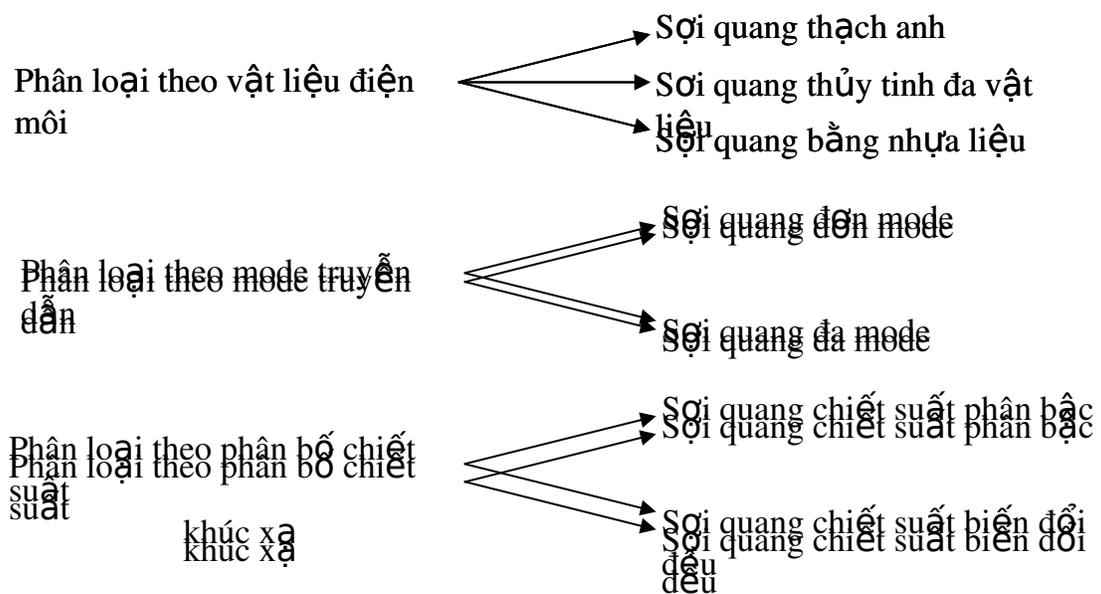


Hình 2.1: Mô tả hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng.

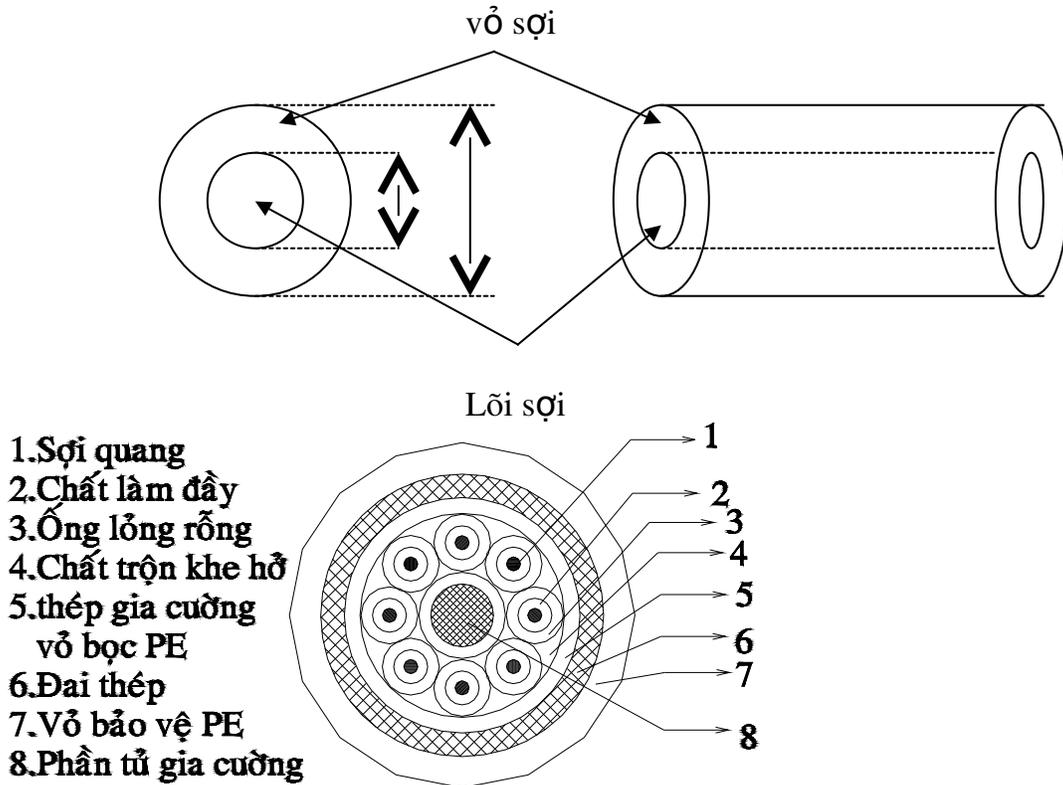
2.2.2.1 Sợi quang

Sợi quang là sợi mảnh dẫn ánh sáng, gồm hai chất điện môi trong suốt nhưng khác nhau về chiết suất. Lõi sợi cho ánh sáng truyền qua còn lớp vỏ bao quanh lõi và có đường kính tùy thuộc vào từng yêu cầu cụ thể.

Sợi quang được phân loại bằng cách khác nhau và được trình bày như sau:



Cấu trúc tổng thể của sợi quang gồm: Lõi thủy tinh hình trụ tròn và vỏ thủy tinh bao quanh lõi. Lõi thủy tinh dùng để truyền ánh sáng, còn vỏ thủy tinh có tác dụng tạo ra phản xạ toàn phần tại lớp tiếp giáp giữa lõi và vỏ. Muốn vậy thì chỉ số chiết suất của lõi phải lớn hơn chiết suất của vỏ.



Hình 2.2: Cấu trúc tổng thể của sợi.

2.2.3 Suy giảm tín hiệu trong sợi quang

Suy hao tín hiệu trong sợi quang là một trong các đặc tính quan trọng nhất của sợi quang vì nó quyết định khoảng cách lắp tối đa giữa máy phát và máy thu. Mặt khác, do việc khó lắp đặt, chế tạo và bảo dưỡng các bộ lắp nên suy hao tín hiệu trong sợi quang có ảnh hưởng rất lớn trong việc quyết định giá thành của hệ thống.

Suy hao tín hiệu trong sợi quang có thể do ghép nối giữa nguồn phát quang với sợi quang, giữa sợi quang với sợi quang và giữa sợi quang với đầu thu quang, bên cạnh đó quá trình sợi bị uốn cong quá giới hạn cho phép cũng tạo ra suy hao. Các suy hao này là suy hao ngoài bản chất của sợi, do đó có thể làm giảm chúng bằng nhiều biện pháp khác nhau. Tuy nhiên, vấn đề chính ở đây ta xét đến suy hao do bản chất bên trong của sợi quang.

2.2.3.1 Suy hao tín hiệu

Suy hao tín hiệu được định nghĩa là tỷ số công suất quang lối ra P_{out} của sợi có chiều dài L và công suất quang đầu vào P_{in} . Tỷ số công suất này là một hàm của bước sóng. Người ta thường sử dụng để biểu thị suy hao tính theo dB/km.

$$\frac{10}{L} \log \frac{P_{in}}{P_{out}}$$

(2.2)

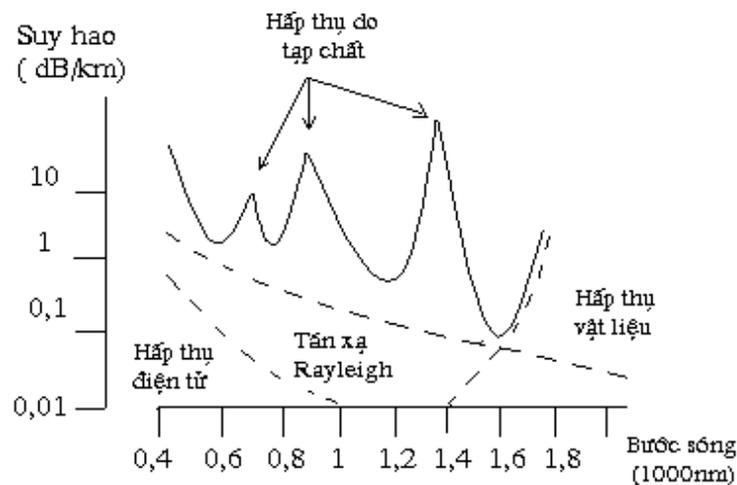
Các sợi dẫn quang thường có suy hao nhỏ và khi độ dài quá ngắn thì gần như không có suy hao, khi đó $P_{out} = P_{in}$.

2.2.3.2 Hấp thụ tín hiệu trong sợi dẫn quang

Hấp thụ ánh sáng trong sợi dẫn quang là yếu tố quan trọng trong việc tạo nên bản chất suy hao của sợi dẫn quang. Hấp thụ này sinh do ba cơ chế khác nhau gây ra.

- **Hấp thụ do tạp chất:** Nhân tố hấp thụ nổi trội trong sợi quang là sự có trong vật liệu sợi. Trong thủy tinh, các tạp chất như nước và các ion kim loại chuyển tiếp đã làm tăng đặc tính suy hao, đó là các ion sắt, crom, đồng và các ion OH. Sự có mặt của các tạp chất này

làm cho suy hao đạt tới giá trị rất lớn. Các sợi dẫn quang trước đây có suy hao trong khoảng từ 1 đến 10dB/km. Sự có mặt của các phân tử nước đã làm cho suy hao tăng hẳn lên. Liên kết OH đã hấp thụ ánh sáng ở bước sóng khoảng 2700nm và cùng tác động qua lại cộng hưởng với Silic, nó tạo ra các khoảng hấp thụ ở 1400nm, 950nm và 750nm. Giữa các đỉnh này có các vùng suy hao thấp, đó gọi là các cửa sổ truyền dẫn 850nm, 1300nm, 1550nm mà các hệ thống thông tin đã sử dụng để truyền ánh sáng như trong hình vẽ dưới đây:



Hình 2.3 Đặc tính suy hao theo bước sóng của sợi dẫn quang đối với các quy chế suy hao.

- **Hấp thụ vật liệu:** Ta thấy rằng ở bước sóng dài thì sẽ suy hao nhỏ nhưng các liên kết nguyên tử lại có liên quan tới vật liệu và sẽ hấp thụ ánh sáng có bước sóng dài, trường hợp này gọi là hấp thụ vật liệu. Mặc dù các bước sóng cơ bản của các liên kết hấp thụ nằm bên ngoài vùng bước sóng sử dụng, nhưng nó vẫn có

ảnh hưởng và ở đây nó kéo dài tới vùng bước sóng 1550nm làm cho vùng này không giảm suy hao một cách đáng kể.

Hấp thụ điện tử: Trong vùng cực tím, ánh sáng bị hấp thụ là do các photon kích thích các điện tử trong nguyên tử lên một trạng thái năng lượng cao hơn.

2.2.3.3 Suy hao do tán xạ

Suy hao do tán xạ trong sợi dẫn quang là do tính không đồng đều rất nhỏ của lõi sợi gây ra. Đó là do những thay đổi rất nhỏ trong vật liệu, tính không đồng đều về cấu trúc hoặc các khuyết điểm trong quá trình chế tạo sợi.

Việc diễn giải suy hao do tán xạ gây ra là khá phức tạp do bản chất ngẫu nhiên của phần tử và các thành phần ôxit khác nhau của thủy tinh. Đối với thủy tinh thuần khiết, suy hao tán xạ tại bước sóng do sự bất ổn định về mật độ gây ra có thể được diễn giải như công thức dưới đây:

$$\alpha_{scat} = \frac{8}{3} \frac{\pi^3}{4} (n^2 - 1)^2 k_B T_f T \quad (2.3)$$

n : chỉ số chiết suất.

k_B : hằng số Boltzman.

T : hệ số nén đẳng nhiệt của vật liệu.

T_f : nhiệt độ hư cấu (là nhiệt độ mà tại đó tính bất ổn định về mật độ bị đông lại thành thủy tinh).

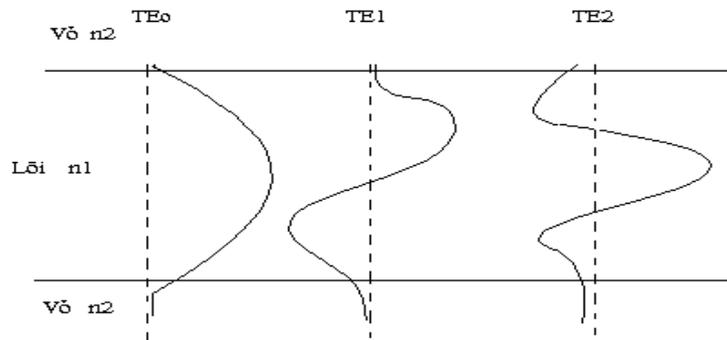
2.2.3.4 Suy hao do uốn cong sợi

Suy hao do uốn cong sợi là suy hao ngoài bản chất của sợi. Khi bất kỳ một sợi dẫn quang nào đó bị uốn cong có bán kính xác định thì sẽ có hiện tượng phát xạ ánh sáng ra ngoài vỏ sợi và như vậy ánh sáng lan truyền trong lõi sợi đã bị suy hao. Có hai loại uốn cong sợi:

- Uốn cong vĩ mô: là uốn cong có bán kính uốn cong lớn tương đương hoặc lớn hơn đường kính sợi.
- Uốn cong vi mô: là sợi bị cong nhỏ một cách ngẫu nhiên và thường bị xảy ra trong lúc sợi được bọc thành cáp.

Hiện tượng uốn cong có thể thấy được khi góc tới lớn hơn góc tới hạn ở các vị trí sợi bị uốn cong. Đối với loại uốn cong vĩ mô (thường gọi là uốn cong) thì hiện tượng suy hao này thấy rất rõ khi phân tích trên khẩu độ số NA nhỏ như hình (2.4)

Đối với trường hợp sợi bị uốn cong ít thì giá trị suy hao xảy ra là rất ít và khó có thể mà thấy được. Khi bán kính uốn cong giảm dần thì suy hao sẽ tăng theo quy luật hàm mũ cho tới khi bán kính đạt tới một giá trị tới hạn nào đó thì suy hao uốn cong thể hiện rất rõ. Nếu bán kính uốn cong này nhỏ hơn giá trị điểm ngưỡng thì suy hao sẽ đột ngột tăng lên rất lớn.



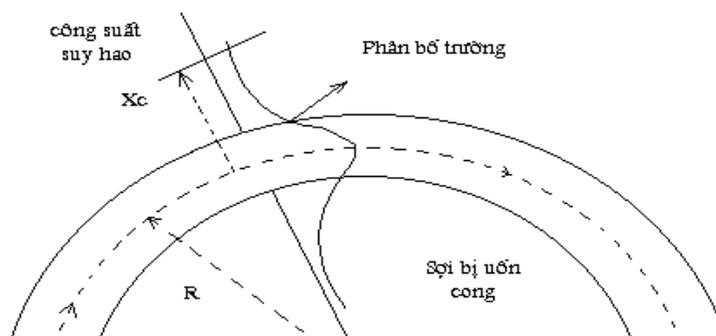
Hình 2.4: Sự phân bố trường điện đối với vài mode bậc thấp hơn trong sợi dẫn quang.

Có thể giải thích các hiệu ứng suy hao uốn cong này bằng cách khảo sát phân bố điện trường mode. Trường mode lõi có đuôi mờ dần sang vỏ, giảm theo khoảng cách từ lõi tới vỏ theo quy tắc hàm mũ. Vì đuôi trường này di chuyển cùng với trường trong lõi nên một phần năng lượng của mode lan

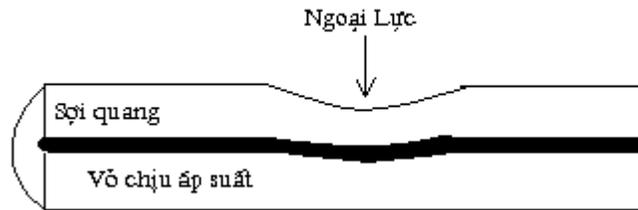
truyền sẽ đi vào vỏ. Khi sợi bị uốn cong, đuôi trường ở phía xa tâm điểm uốn phải dịch chuyển nhanh hơn để duy trì trường trong lõi còn đối với mode sợi bậc thấp nhất. Tại khoảng cách tới hạn x_c từ tâm sợi, đuôi trường phải dịch chuyển nhanh hơn tốc độ ánh sáng để theo kịp trường ở lõi (2.5).

Một phương pháp để giảm thiểu suy hao do uốn cong là lồng lớp vỏ chịu áp suất bên ngoài sợi. Khi lực bên ngoài tác động vào, lớp vỏ sẽ bị biến dạng nhưng sợi vẫn

có thể duy trì ở trạng thái tương đối thẳng như hình (2.6)



Hình 2.5: Trường mode cơ bản trong đoạn sợi bị uốn cong.



Hình 2.6: Vỏ chịu nén giảm vi uốn cong do các lực bên ngoài.

2.2.4 Tán sắc ánh sáng và độ rộng băng truyền dẫn

Khi lan truyền trong sợi, tín hiệu quang bị méo do các tác động của tán sắc mode và trễ giữa các mode. Có thể giải thích các hiệu ứng méo này bằng cách khảo sát các thuộc tính vận tốc nhóm các mode được truyền, trong đó vận tốc nhóm là tốc độ truyền năng lượng của mode trong sợi.

Tán sắc mode là sự giãn xung xuất hiện trong một mode do vận tốc nhóm là hàm của bước sóng. Vì tán sắc mode phụ thuộc vào bước sóng nên tác động của nó tăng theo độ rộng phổ của nguồn quang. Có hai nguyên nhân chính gây nên tán sắc mode là :

- Tán sắc vật liệu
 - Tán sắc ống dẫn sóng
1. Tán sắc vật liệu do chỉ số khúc xạ của vật liệu chế tạo lõi thay đổi theo hàm của bước sóng gây ra. Tán sắc vật liệu tạo ra sự phụ thuộc vận tốc nhóm vào bước sóng của một mode bất kỳ.
 2. Tán sắc ống dẫn sóng do sợi đơn mode chỉ giới hạn khoảng 80% công suất quang trong lõi nên 20% còn lại sẽ lan truyền trong lớp vỏ nhanh hơn phần ánh sáng tới hạn trong lõi gây ra tán sắc.

Tổng hợp tán sắc ở sợi đa mode như sau:

$$\text{Tán sắc tổng} = [(\text{tán sắc mode})^2 + (\text{tán sắc bên trong mode})^2]^{1/2}$$

2.2.4.1 Trễ nhóm

Giả sử tín hiệu quang được điều chế kích thích tất cả các mode ngang nhau tại đầu vào của sợi. Mỗi một mode mang một năng lượng tương thông suốt dọc sợi và từng mode sẽ chứa toàn bộ các thành phần phổ trong dải sóng mà nguồn quang phát đi. Vì tín hiệu truyền dọc theo sợi cho nên mỗi một thành phần được giả định là độc lập khi truyền và chịu sự trễ thời gian hay còn gọi là trễ nhóm trên một đơn vị độ dài theo hướng truyền như sau:

$$\frac{L}{V_n} = \frac{1}{c} \frac{d}{dk} \quad (2.4)$$

: là hằng số lan truyền dọc theo trục sợi

L: là cự ly xung truyền đi, và k^2

Khi đó, vận tốc nhóm được tính bằng

$$V_n = c \frac{d}{dk} \quad (2.5)$$

Đây là vận tốc mà tại đó năng lượng tồn tại trong xung truyền dọc theo sợi. Vì trễ nhóm phụ thuộc vào bước sóng cho nên từng thành phần mode của bất kỳ một mode riêng biệt nào cũng tạo ra một khoảng thời gian khác nhau để truyền được một cự ly nào đó. Do trễ nhóm thời gian khác nhau mà xung tín hiệu quang sẽ trải rộng ra nên vấn đề ta quan tâm ở đây là độ giãn xung khi có sự biến thiên trễ nhóm.

Nếu độ rộng phổ của nguồn phát không quá lớn thì sự lệch trễ trên một đơn vị bước sóng dọc theo phần lan truyền sẽ xấp xỉ bằng $d \frac{dn}{d\lambda}$. Nếu độ rộng phổ của nguồn phát được đặc trưng bằng giá trị hiệu dụng (r.m.s) thì độ giãn xung sẽ gần bằng độ rộng xung hiệu dụng

$$\Delta \tau \approx \frac{d}{c} \frac{dn}{d\lambda} \Delta \lambda \approx \frac{L}{c} \frac{d}{d\lambda} \frac{d^2 n}{d\lambda^2} \Delta \lambda^2$$

(2.6)

và $D = \frac{1}{L} \frac{d^2 n}{d\lambda^2}$ là tán sắc và có đơn vị [ps/km.nm].

2.2.4.2 Tán sắc vật liệu

Nguyên nhân gây ra tán sắc vật liệu là do chỉ số chiết suất trong sợi dẫn quang thay đổi theo bước sóng. Do vận tốc nhóm V_n của mode là một hàm số của chỉ số chiết suất nên các thành phần phổ khác nhau sẽ truyền đi với các tốc độ khác nhau tùy thuộc vào bước sóng. Tán sắc vật liệu là một yếu tố quan trọng đối với các sợi đơn mode và các hệ thống sử dụng nguồn phát quang là điốt phát quang LED.

Để tính toán tán sắc vật liệu, ta xét một sóng phẳng lan truyền trong một môi trường trong suốt dài vô tận và có chỉ số chiết suất n ngang bằng với chỉ số chiết suất ở lõi sợi, khi đó hằng số lan truyền được cho ở trường hợp này là:

$$\beta = \frac{2\pi n}{\lambda}$$

(2.7)

Thay thế phương trình này vào (2.4) với k^2 / ν sẽ thu được trở nhóm ν cho tán sắc vật liệu:

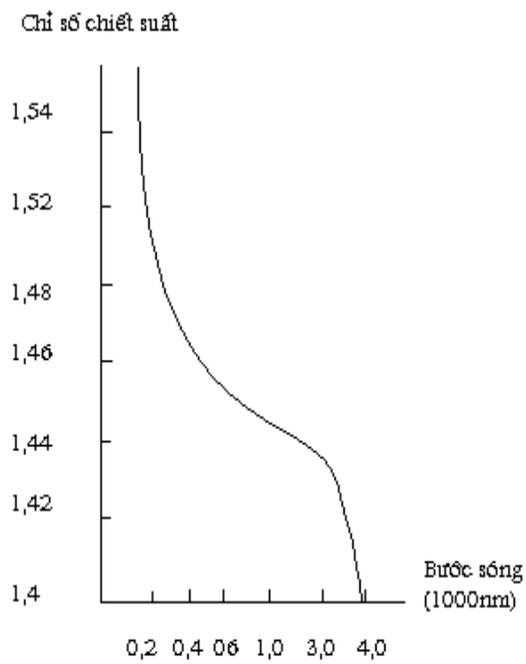
$$\nu \frac{L}{c} n \frac{dn}{d} \quad (2.8)$$

từ (2.10) thì sẽ có được độ giãn xung ν đối với độ rộng phổ của nguồn phát bằng cách vi phân độ trễ nhóm này.

$$\nu \frac{d}{d} \nu \frac{L}{c} \frac{d^2 n}{d^2} \quad D_\nu \quad L \quad (2.9)$$

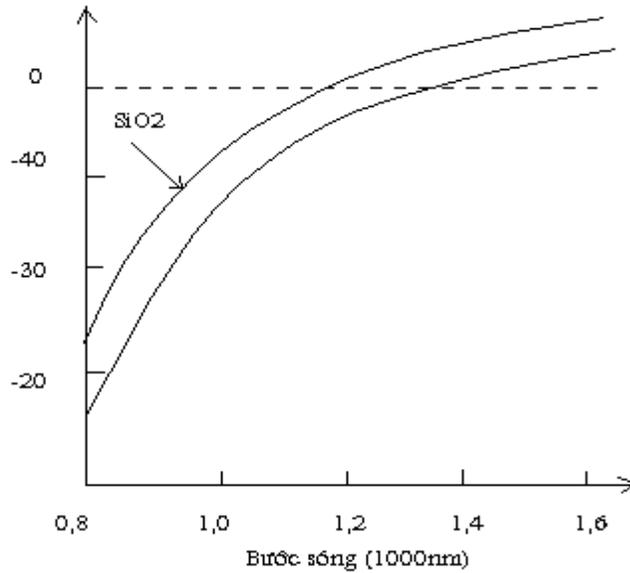
với D_ν là tán sắc vật liệu.

Đồ thị của phương trình (2.9) cho đơn vị độ dài L và đơn vị độ rộng phổ của nguồn phát được cho như hình vẽ dưới đây, từ đó cho ta thấy để giảm tán sắc vật liệu thì phải chọn nguồn phát có độ rộng phổ hẹp hoặc hoạt động ở bước sóng dài hơn.



Hình 2.7: Chỉ số chiết suất thay đổi theo bước sóng.

2.2.4.3 Tán sắc dẫn sóng



Hình 2.8: Tán sắc vật liệu là hàm số của bước sóng quang đối với sợi quang.

Để khảo sát tán sắc dẫn sóng ta giả thiết rằng chỉ số chiết suất của vật liệu không phụ thuộc vào bước sóng. Về trễ nhóm, đó là thời gian cần thiết để một mode truyền dọc theo sợi có độ dài L . Để đảm bảo tính độc lập của cấu hình sợi, ta cho sự trễ nhóm dưới dạng hằng số lan truyền chuẩn hoá b được viết:

$$b = 1 - \frac{ua^2}{V^2} \frac{\frac{2}{k^2} \frac{n_2^2}{n_1^2}}{\frac{n_2^2}{n_1^2}}$$

(2.10)

đối với các giá trị chênh lệch chiết suất nhỏ $\frac{n_2}{n_1} \ll 1$, phương trình

(2.10) có thể được viết lại như sau:

$$b = \frac{\frac{2}{k^2} \frac{n_2^2}{n_1^2}}{\frac{n_2^2}{n_1^2}}$$

(2.11)

từ đó ta có

$$n_2 k b \approx 1$$

(2.12)

Sử dụng hệ thức trên và giả sử n_2 không phải là hàm của bước sóng,

ta thấy rằng trễ nhóm
$$ds \approx \frac{L}{c} \frac{d}{dk} \left(\frac{L}{c} n_2 \right) = n_2 \frac{d}{dk} \left(\frac{L}{c} k b \right)$$

(2.13)

Mặt khác, $V = k a n_1^2 = n_2^2 \frac{1}{2} k a n_2 \sqrt{2}$ thỏa mãn đối với các giá trị nhỏ nên (2.13) có thể viết lại

$$\frac{dV}{dV} = b \approx \frac{2 j_v^2 u a}{j_{v-1} u a - j_{v+1} u a}$$

(2.14)

trong đó $n_2 = n_2 \frac{dV}{dV}$ biểu thị sự trễ nhóm phát sinh do tán sắc dẫn sóng.

2.2.4.4 Ảnh hưởng của tán sắc đến dung lượng truyền dẫn

Tán sắc gây ra méo tín hiệu và điều này làm cho các xung ánh sáng bị giãn rộng ra khi được truyền dọc theo sợi dẫn quang. Khi xung bị giãn ra nó sẽ phủ lên các xung bên cạnh. Khi sự phủ này vượt quá một giá trị giới hạn nào đó thì thiết bị phía thu sẽ không phân biệt được các xung kề nhau nữa, lúc này lỗi bit xuất hiện. Như vậy, đặc tính tán sắc làm giới hạn dung lượng truyền dẫn của sợi quang.

2.3 Cáp sợi quang

Thực tế, để đưa cáp quang vào sử dụng thì các sợi cần phải được kết hợp lại thành cáp với các cấu trúc phù hợp với từng môi trường lắp đặt. Do

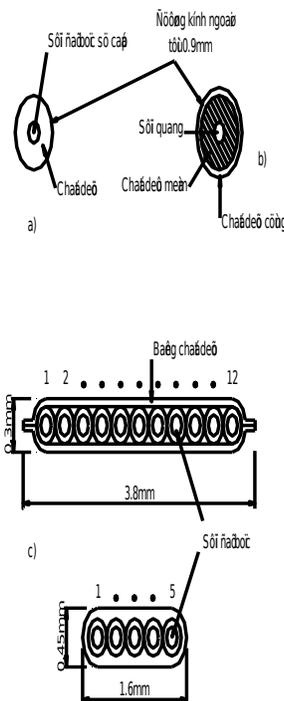
phụ thuộc vào môi trường lắp đặt nên cáp quang có rất nhiều loại: cáp chôn trực tiếp dưới đất, cáp treo trong cống, cáp treo ngoài trời, cáp đặt trong nhà, cáp thả biển...

2.3.1 Các biện pháp bảo vệ sợi

Trước khi tiến hành bọc cáp, sợi quang thường được bọc lại để bảo vệ sợi trong khi chế tạo cáp. Có hai biện pháp :

Bọc chặt sợi.

Bọc lỏng sợi.



Hình 2.9: Ví dụ một số bọc chặt khác nhau

2.3.1.1 Bọc chặt sợi

Sợi quang sẽ được bọc chặt do đó sẽ làm tăng tính cơ học của sợi và chống lại ứng suất bên trong. Các sợi quang có thể được bảo vệ riêng bằng các lớp vật liệu dẻo đơn hoặc kép. Trong một môi trường nhiệt độ thấp, sự co lại của chất dẻo ở lớp bảo vệ có thể gây ra sự co quang trục và vi uốn cong sợi, từ đó suy hao sợi có thể tăng lên. Từ đó có thể rút ra hai cách bảo vệ sợi là tối ưu hoá việc chế tạo vỏ bọc sợi bằng việc lựa chọn vật liệu tương ứng và độ dày của vỏ, đồng thời giữ cho sợi càng thẳng càng tốt và cách thứ hai là bọc xung quang sợi một lớp gia cường có khả năng làm giảm sự co nhiệt.

2.3.1.2 Bọc lỏng sợi

Sợi quang có thể được đặt trong cáp khi được bọc một lớp chất dẻo có màu mỏng. Các sợi được đặt trong ống hoặc các rãnh hình chữ V có ở lõi chất dẻo. Các ống và các rãnh có kích thước lớn hơn nhiều so với sợi dẫn quang để các sợi có thể hoàn toàn tự do trong nó. Kỹ thuật này cho phép sợi tránh được các ứng suất bên trong. Trong cấu trúc bọc lỏng, các sợi nằm trong ống hoặc trong khe đều được bảo vệ rất tốt. Giải pháp này ít dùng trong sợi đơn mà thường được dùng cho các sợi ở dạng băng.

2.3.2 Các thành phần của cáp quang

Các thành phần của cáp quang bao gồm: Lõi chứa các sợi dẫn quang, các phần tử gia cường, vỏ bọc và vật liệu độn.

- **Lõi cáp:** Các sợi cáp đã được bọc chặt nằm trong cấu trúc lỏng, cả sợi và cấu trúc lỏng hoặc rãnh kết hợp với nhau tạo thành lõi cáp. Lõi cáp được bao quanh phần tử gia cường của cáp. Các thành phần tạo rãnh hoặc các ống bọc thường được làm bằng chất dẻo.

-
- **Thành phần gia cường:** Thành phần gia cường làm tăng sức chịu đựng của cáp, đặc biệt là ổn định nhiệt cho cáp. Nó có thể là kim loại, phi kim, tuy nhiên phải nhẹ và có độ mềm dẻo cao.
 - **Vỏ cáp:** Vỏ cáp bảo vệ cho cáp và thường được bọc đệm để bảo vệ lõi cáp khỏi bị tác động của ứng suất cơ học và môi trường bên ngoài. Vỏ chất dẻo được bọc bên ngoài cáp còn vỏ bọc bằng kim loại được dùng cho cáp chôn trực tiếp.

2.4 Kết luận chương

Kết thúc chương 2 giúp ta hiểu thêm về những đặc tính kỹ thuật của sợi quang và cáp quang. Để ứng dụng quang trong hệ thống thông tin thì sợi quang phải được bọc thành cáp. Với các môi trường khác nhau thì cấu trúc của cáp quang cũng khác nhau để phù hợp với nhu cầu thực tế. Tuy nhiên, để đảm bảo chất lượng tốt của hệ thống thì các thiết bị phát quang cũng như các thiết bị thu quang cũng góp một phần rất quan trọng và phần này sẽ được nghiên cứu ở chương sau.

CHƯƠNG 3: THIẾT BỊ PHÁT QUANG VÀ THIẾT BỊ THU QUANG

3.1 Giới thiệu chương

Trong chương này sẽ trình bày một cách khá chi tiết về thiết bị phát quang như LED, LD hay thiết bị thu PIN, APD cũng như nguyên tắc hoạt động của nó để từ đó chúng ta có thể lựa chọn được thiết bị phù hợp với hệ thống và yêu cầu thiết kế.

3.2 Thiết bị phát quang

3.2.1 Cơ chế phát xạ ánh sáng

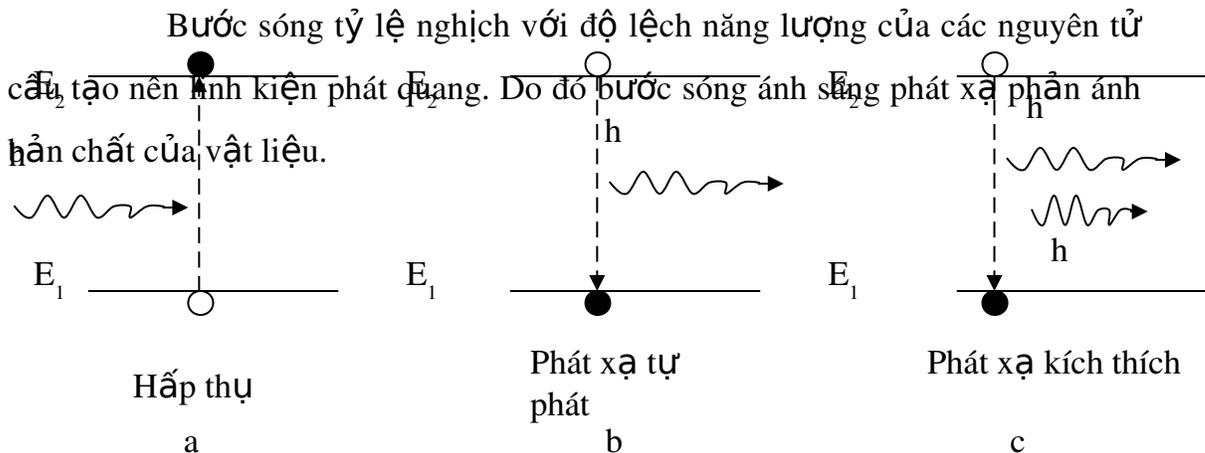
Giả thuyết có một điện tử đang nằm ở mức năng lượng thấp (E_1), không có điện tử nào nằm ở mức năng lượng mức cao hơn (E_2), thì ở điều kiện đó nếu có một năng lượng bằng với mức năng lượng chênh lệch cấp cho điện tử thì điện tử này sẽ nhảy lên mức năng lượng E_2 . Việc cung cấp năng lượng từ bên ngoài để truyền năng lượng cần tới một mức cao hơn được gọi là kích thích sự dịch chuyển của điện tử tới một mức năng lượng khác được gọi là sự chuyển dời.

Điện tử rời khỏi mức năng lượng cao E_2 bị hạt nhân nguyên tử hút và quay về trạng thái ban đầu. Khi quay về trạng thái E_1 thì một năng lượng đúng bằng $E_2 - E_1$ được giải phóng. Đó là hiện tượng phát xạ tự phát và năng lượng được giải phóng tồn tại ở dạng ánh sáng gọi là ánh sáng phát xạ tự phát. Theo cơ học lượng tử, bước sóng ánh sáng phát xạ được tính theo công thức:

$$(3.1) \quad \lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1}$$

Trong đó, $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ (hằng số Planck)

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ là vận tốc ánh sáng



Hình 3.1 Mức năng lượng và quá trình chuyển dịch

Khi ánh sáng có năng lượng tương bằng $E_2 - E_1$ đập vào một điện tử ở trạng thái kích thích, điện tử ở trạng thái kích thích E_2 theo xu hướng sẽ chuyển dời về trạng thái E_1 nay bị kích thích chuyển về trạng thái E_2 . Sau khi hấp thụ năng lượng ánh sáng đập vào (hình 3.1c). Đó là hiện tượng phát xạ kích thích. Năng lượng ánh sáng phát ra tại thời điểm này lớn hơn năng lượng ánh sáng phát ra tự nhiên. Còn đối với cơ chế phát xạ của bán dẫn: là nhờ khả năng tái hợp bức xạ phát quang của các hạt dẫn ở trạng thái kích thích. Từ điều kiện cân bằng nhiệt, điện tử tập trung hầu hết ở vùng hoá trị có mức năng lượng thấp và một số ít ở vùng dẫn có mức năng lượng cao. Giả sử rằng trong bán dẫn có N điện tử trong đó có n_1 điện tử ở vùng hoá trị n_2 điện tử ở vùng dẫn. Khi ánh sáng chiếu từ bên ngoài vào bán dẫn ở trạng thái này, tỷ lệ giữa bức xạ cưỡng bức và hấp thụ tỷ lệ thuận với tỷ số n_2 và n_1 . Việc hấp thụ chiếm đa số và ánh sáng phát ra giảm đi.

3.2.2 Diode LED

Điốt phát quang LED là nguồn phát quang rất phù hợp cho các hệ thống thông tin quang tốc độ không quá 200Mbit/s sử dụng sợi dẫn quang đa mode.

Để sử dụng tốt cho hệ thống thông tin quang, LED phải có công suất bức xạ cao, thời gian đáp ứng nhanh và hiệu suất lượng tử cao. Sự bức xạ của nó là công suất quang phát xạ theo góc trên một đơn vị diện tích của bề mặt phát và được tính bằng Watt. Chính công suất bức xạ cao sẽ tạo điều kiện cho việc ghép giữa các sợi dẫn quang và LED dễ dàng và cho công suất phát ra từ đầu sợi lớn.

Thời gian đầu, khi công nghệ thông tin quang chưa được phổ biến, điốt phát quang thường dùng cho các sợi quang đa mode. Nhưng chỉ sau đó một thời gian ngắn, khi mà các hệ thống thông tin quang phát triển khá rộng rãi, các sợi dẫn quang đơn mode được đưa vào sử dụng trong các hệ thống thông tin quang thì LED cũng đã có dưới dạng sản phẩm là các modul có sợi dẫn ra là sợi dẫn quang đơn mode. Công suất quang đầu ra của nó ít phụ thuộc vào nhiệt độ và thường chúng có mạch điều khiển đơn giản.

Thực nghiệm đã đạt được độ dài tuyến lên tới 9,6Km với tốc độ 2Gbit/s và 100Km với tốc độ 16Mbit/s. LED có ưu điểm là giá thành thấp và độ tin cậy cao, tuy nhiên chúng phù hợp với mạng nội hạt, các tuyến thông tin quang ngắn với tốc độ bit trung bình thấp.

3.2.3 Điốt Laser

Nói chung, Laser có rất nhiều dạng và đủ các kích cỡ. Chúng tồn tại ở dạng khí, chất lỏng, tinh thể hoặc bán dẫn. Đối với các hệ thống thông tin quang, các nguồn phát Laser là các Laser bán dẫn và thường gọi chúng là LD. Các loại Laser có thể là khác nhau nhưng nguyên lý hoạt động cơ bản của chúng là như nhau. Hoạt động của Laser là kết quả của ba quá trình mẫu chốt

là: hấp thụ photon, phát xạ tự phát và phát xạ kích thích. Ba quá trình này tương tự cơ chế phát xạ ánh sáng và được trình bày ở mục 3.2.1.

Các hệ thống thông tin quang thường là có tốc độ rất cao, hiện nay nhiều hệ thống thông tin quang có tốc độ 2.5Gbit/s đến 5Gbit/s đã được đưa vào khai thác. Băng tần của hệ thống thông tin quang đòi hỏi khá lớn, như vậy các LD phun sẽ phù hợp hơn là các điốt phát quang LED. Các LD thông thường có thời gian đáp ứng nhỏ hơn 1ns, độ rộng phổ trung bình từ 1nm đến 2 nm và nhỏ hơn, công suất ghép vào sợi quang đạt vài miliwatt.

3.2.4 Nhiễu trong nguồn phát Laser

Khi các LD được sử dụng trong các hệ thống thông tin quang có tốc độ cao, thì một số hoạt động của Laser bắt đầu xuất hiện và tốc độ biến đổi càng cao thì chúng càng thể hiện rõ và có thể gây ra nhiễu ở đầu ra của bộ thu. Các hiện tượng này được gọi là nhiễu mode, nhiễu cạnh tranh mode và nhiễu phản xạ. Vì ánh sáng lan truyền dọc theo sợi dẫn quang nên sự kết hợp của các suy hao mode phụ thuộc, thay đổi pha giữa các mode và sự bất ổn định về phân bố năng lượng trong các mode khác nhau sẽ làm thay đổi nhiễu mode. Nhiễu mode xuất hiện khi có sự suy hao bất kỳ nào đó trong tuyến. Các nguồn phát quang băng hẹp có tính kết hợp cao như các Laser đơn mode sẽ gây ra nhiễu mode lớn hơn các nguồn phát băng rộng.

Ngoài ra, hiện tượng phản xạ nhỏ trở lại Laser do các mặt phản xạ từ ngoài có thể gây ra sự thay đổi đáng kể nhiễu mode và vì thế cũng làm thay đổi đặc tính của hệ thống. Nhiễu phản xạ có liên quan tới méo tuyến tính đầu ra LD gây ra do một lượng ánh sáng phản xạ trở lại và đi vào hốc cộng hưởng Laser từ các điểm nối sợi. Có thể giảm được nhiễu phản xạ khi dùng các bộ cách ly quang giữa LD và sợi dẫn quang.

Kết luận: Nguồn phát quang đóng một vai trò rất quan trọng đối với hệ thống thông tin quang, ở phần này ta quan tâm chủ yếu đến LD, Laser đơn mode. Từ đó, ta có thể lựa chọn nguồn phát sao cho phù hợp với hệ thống.

3.3 Thiết bị thu quang

Thiết bị thu quang đóng một vai trò rất quan trọng trong hệ thống thông tin quang, nó có chức năng biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Trong lĩnh vực thông tin quang ta sẽ nghiên cứu vấn đề thu quang theo hiệu ứng quang điện.

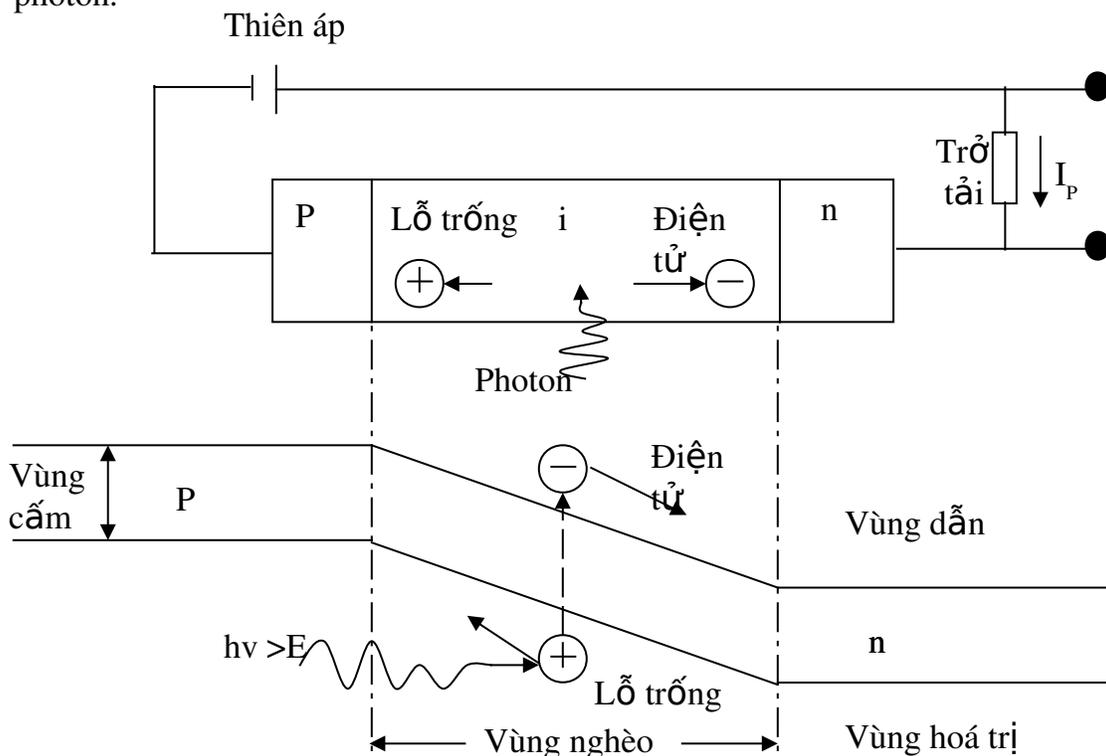
3.3.1 Cơ chế thu quang

Như đã nói ở trên, cơ sở của hiệu ứng quang điện là quá trình hấp thụ ánh sáng trong chất bán dẫn. Khi ánh sáng đập vào một vật thể bán dẫn, các điện tử trong vùng hoá trị được chuyển dời tới vùng dẫn nhưng nếu không có một sự tác động xảy ra thì sẽ không thu được kết quả gì mà chỉ có các điện tử chuyển động ra xung quanh và tái hợp trở lại với các lỗ trống vùng hoá trị. Do đó để biến đổi năng lượng quang thành điện ta phải tận dụng trạng thái khi mà lỗ trống và điện tử chưa kịp tái hợp. Trong linh kiện thu quang, lớp chuyển tiếp p-n được sử dụng để tách điện tử ra khỏi lỗ trống. Khi ánh sáng đập vào vùng p sẽ bị hấp thụ trong quá trình lan truyền đến vùng n. Trong quá trình đó, các điện tử và lỗ trống đã được tạo ra và tại vùng nghèo do hấp thụ photon sẽ chuyển động về hai hướng đối ngược nhau dưới tác động của điện trường nên chúng tách rời nhau. Vì không có điện trường ở bên ngoài vùng nghèo nên các điện tử và lỗ trống được tạo ra do hiệu ứng quang điện và sẽ tái hợp trong quá trình chuyển động của chúng. Tuy nhiên, sẽ có một vài điện tử di chuyển vào điện trường trong quá trình chuyển động và có khả năng thâm nhập vào mỗi vùng. Và do đó có một điện thế sẽ được tạo ra giữa các miền p và n. Nếu hai

đầu của miền đó được nối với mạch điện ngoài thì các điện tử và lỗ trống sẽ được tái hợp ở mạch ngoài và sẽ có dòng điện chạy qua.

3.3.2 Photodiốt PIN

Photodiốt PIN là bộ tách sóng dùng để biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Cấu trúc cơ bản của Photodiốt PIN gồm các vùng p và n đặt cách nhau bằng một lớp tự dẫn i rất mỏng. Để thiết bị hoạt động thì cần phải cấp một thiên áp ngược để vùng bên trong rút hết các loại hạt mang. Khi có ánh sáng đi vào Photodiốt PIN thì sẽ xảy ra quá trình như sau. Nếu một photon trong chùm ánh sáng tới mang một năng lượng h lớn hơn hoặc ngang bằng với năng lượng dải cấm của lớp vật liệu bán dẫn trong Photodiốt thì photon có thể kích thích điện tử từ vùng hoá trị sang vùng dẫn. Quá trình này sẽ phát ra các cặp điện tử, lỗ trống. Thông thường, bộ tách sóng quang được thiết kế sao cho các hạt mang này chủ yếu được phát ra tại vùng nghèo là nơi mà hầu hết các ánh sáng tới bị hấp thụ (hình 3.2). Sự có mặt của trường điện cao trong vùng nghèo làm cho các hạt mang tách nhau ra và thu nhận qua tiếp giáp có thiên áp ngược. Điều này làm tăng luồng dòng ở mạch ngoài, với một luồng dòng điện sẽ ứng với nhiều cặp mang được phát ra và dòng này gọi là dòng photon.



Hình 3.2: Sơ đồ vùng năng lượng của Photodiốt PIN.

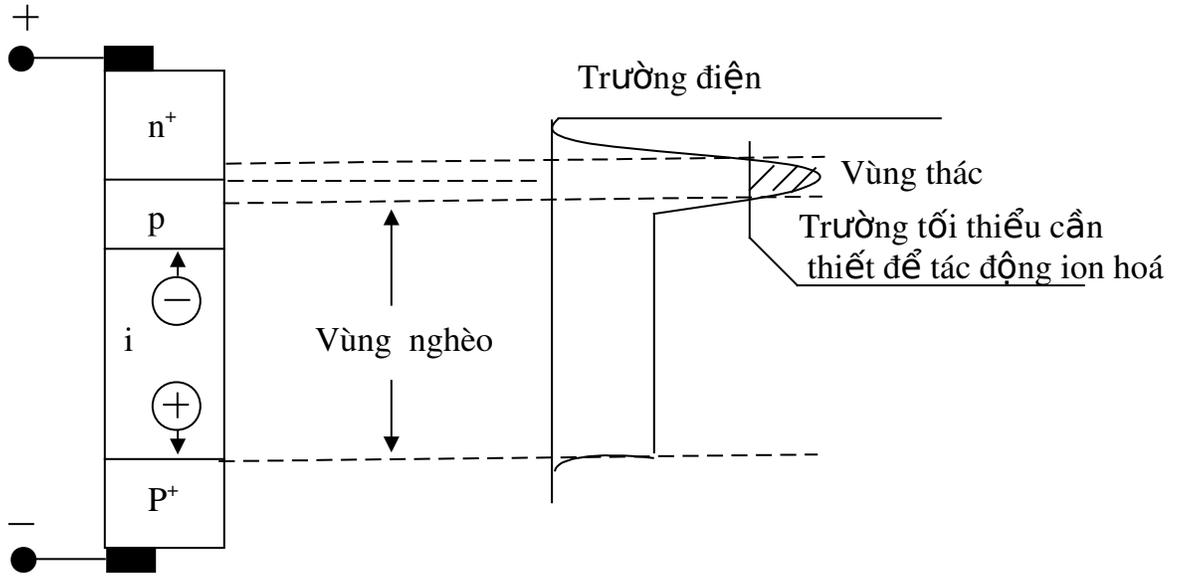
Trong trường hợp lý tưởng, mỗi photon chiếu vào phát sinh ra một xung điện ở mạch ngoài và giá trị trung bình của dòng điện sinh ra phải tỷ lệ với công suất của ánh sáng chiếu vào nhưng trong thực tế, không đạt được như vậy mà một phần ánh sáng bị tổn hao do phản xạ.

3.3.3 Photodiốt thác

Để tăng độ nhạy điốt quang người ta ứng dụng hệ thống giống như hiệu ứng nhân điện tử trong các bộ nhân quang điện.

Photodiốt thác ký hiệu APD (Avalanche photodiode) có đặc tính tốt hơn đối với tín hiệu nhỏ. Sau khi biến đổi các photon thành các điện tử thì nó khuếch đại ngay dòng photo ở bên trong nó trước khi dòng này đi vào mạch khuếch đại tiếp sau và điều này làm tăng mức tín hiệu dẫn tới độ nhạy máy thu tăng lên đáng kể. Để thu được hiệu ứng nhân bên trong thì các hạt mang phải được tăng dần năng lượng tới mức đủ lớn để ion hoá các điện tử xung quanh do va chạm với chúng. Các điện tử xung quanh này được đẩy từ vùng hoá trị tới vùng dẫn rồi tạo ra các cặp điện tử- lỗ trống mới sẵn sàng dẫn điện. Các hạt mang mới này tạo ra tiếp tục được gia tốc nhờ điện trường cao

và lại có thể phát ra các cặp điện tử- lỗ trống mới khác. Hiệu ứng này gọi là hiệu ứng thác.



Hình 3.3: Cấu trúc Photodiốt thác và trường điện trong vùng trôi.

3.3.4 Tham số cơ bản của thiết bị thu quang

3.3.4.1 Hiệu suất lượng tử

Hiệu suất lượng tử được định nghĩa là tỷ số điện tử được sinh ra trên số photon được hấp thụ. Thường các điốt đạt hiệu quả khoảng 60% đến 80%.

3.3.4.2 Độ nhạy quang

Độ nhạy quang cho biết khả năng biến đổi công suất quang thành dòng điện. Nếu tại một bước sóng có số photon rơi vào là N_0 và năng lượng mỗi photon là: m

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

(3.2)

thì công suất quang thu được là: $P_T = h \frac{c}{\lambda} \frac{dN_0}{dt}$

(3.3)

và lượng điện tích sinh ra là: $q_0 = N_0 e$

(3.4)

với $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Từ đó ta tính được dòng điện sinh ra từ các photon là:

$$i_0 = \frac{dq_0}{dt} = e \frac{dN_0}{dt}$$

(3.5)

$$i_p = \frac{e P_T}{hc} = S P_T$$

gọi S độ nhạy quang có thứ nguyên $[\text{A/W}]$ và $S = \frac{e}{hc}$

(3.6)

3.3.4.3 Tạp âm của tách sóng quang

Đối với các bộ tách sóng quang, bộ thu quang cần phải có độ nhạy thu rất cao, điều đó đòi hỏi các photodiôt phải tách được tín hiệu quang rất yếu từ phía đường truyền tới. Để thực hiện thu được các tín hiệu rất yếu này, cần phải tối ưu hoá được bộ tách sóng quang và cả các mạch khuếch đại tín hiệu đi kèm theo đó, điều này cho phép ta nhận được tỷ lệ tín hiệu trên tạp âm S/N:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_p}{P_{TS} P_{KD}}$$

(3.7)

với P_p : Công suất tín hiệu do dòng photo tạo ra.

P_{TS} : Công suất tạp âm của bộ tách sóng.

P_{KD} : Công suất tạp âm của bộ khuếch đại.

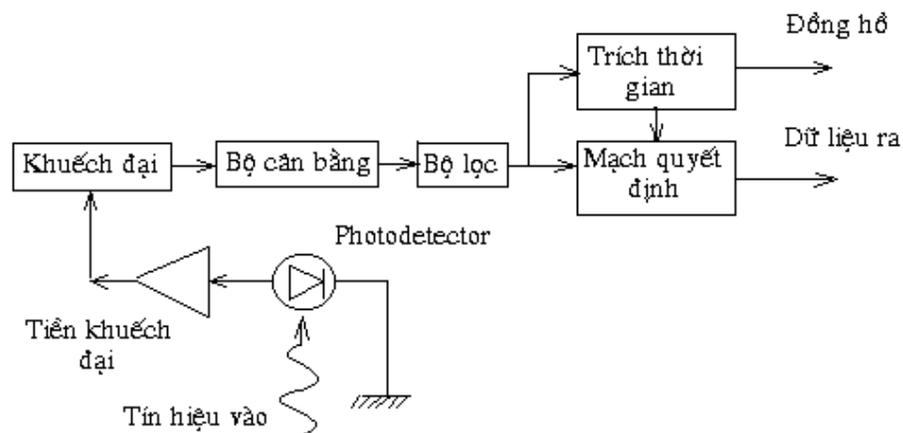
Để đạt được tỷ lệ S/N cao thì phải hội đủ các điều kiện sau:

- Sử dụng các bộ tách sóng quang có hiệu suất lượng tử cao nhằm tạo ra công suất tín hiệu lớn.
- Phải hạn chế được các tạp âm của bộ tách sóng quang và bộ khuếch đại tín hiệu trong bộ thu quang càng nhiều càng tốt.

Tạp âm của các bộ khuếch đại quang là tạp âm của bộ tiền khuếch đại và của các bộ khuếch đại phía sau. Nhưng trong thực tế, phần lớn tạp âm là do các bộ tách sóng và các bộ tiền khuếch đại quyết định.

3.3.5 Bộ thu quang trong truyền dẫn tín hiệu số

Hầu hết các hệ thống thông tin quang hiện nay thực hiện truyền dẫn tín hiệu số. Tín hiệu được phát ra từ phía phát là luồng số nhị phân với các giá trị 0 và 1 trong một khoảng thời gian. Trong một bộ thu quang, ánh sáng nhận được từ phía đường truyền sẽ được tách và biến đổi thành tín hiệu điện và được khôi phục ở đầu thu. Bộ khuếch đại thực hiện việc biến đổi dòng này thành tín hiệu điện áp với mức phù hợp với các mạch tiếp theo sau. Nhiệm vụ của bộ lọc nhằm giới hạn băng tần của bộ thu, làm giảm tối thiểu tạp âm phát ra từ bộ tách sóng và khuếch đại. Xung clock được trích lấy ra từ chùm tín hiệu số trong mạch quyết định.



Hình 3.4: sơ đồ khối của bộ thu quang điển hình trong truyền dẫn số.

Việc lựa chọn bộ tách sóng quang thường được dựa vào các yếu tố cần được quan tâm như quỹ công suất của hệ thống, dải thông theo yêu cầu, tính phức tạp phần cứng, hiệu quả kinh tế.

3.4 Kết luận chương

Việc xem xét các đặc tính kỹ thuật của thiết bị thu quang là một yếu tố rất quan trọng. Chất lượng của hệ thống phụ thuộc rất nhiều vào các thiết bị thu quang mà ở đây ta xét chủ yếu đến LD. Nếu một sợi quang chỉ truyền tín hiệu trong một sợi dẫn quang thì hệ thống không đáp ứng được nhu cầu trao đổi thông tin ngày càng cao vì thế các phương pháp ghép kênh quang ra đời, trong đó phương pháp ghép kênh theo thời gian đang càng ngày càng thể hiện rõ tính ưu việt của nó và vấn đề này sẽ được trình bày chi tiết ở chương sau.

CHƯƠNG 4:

KỸ THUẬT GHÉP KÊNH QUANG PHÂN CHIA THEO THỜI GIAN

4.1 Giới thiệu chương

Trong những năm gần đây, công nghệ thông tin quang đã đạt được những thành tựu rất lớn trong đó phải kể đến kỹ thuật ghép kênh quang, nó thực hiện việc ghép các tín hiệu ánh sáng để truyền trên sợi dẫn quang và việc ghép kênh sẽ không có một quá trình biến đổi về điện nào. Mục tiêu của việc ghép kênh cũng nhằm tăng dung lượng kênh truyền dẫn và tạo ra các tuyến

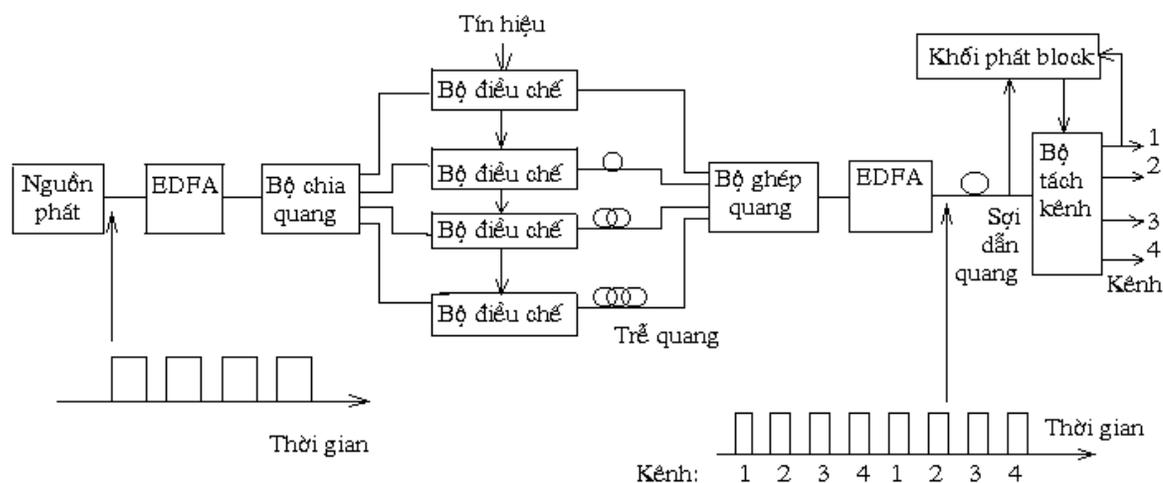
thông tin quang có dung lượng cao. Khi tốc độ đạt tới một mức độ nào đó thì người ta thấy hạn chế của các mạch điện tử trong việc nâng cao tốc độ truyền dẫn, và bản thân các mạch điện tử không đảm bảo được đáp ứng xung tín hiệu cực kỳ hẹp cùng với nó là chi phí cao. Để khắc phục tình trạng trên thì kỹ thuật ghép kênh quang đã ra đời và có nhiều phương pháp ghép kênh khác nhau nhưng phương pháp ghép kênh quang phân chia theo thời gian (OTDM-Optical Time Division Multiplexing) là ưu việt hơn cả và được sử dụng phổ biến trên toàn thế giới. Đối với OTDM, kỹ thuật ghép kênh ở đây có liên quan đến luồng tín hiệu ghép, dạng mã và tốc độ đường truyền.

Như ta đã biết, các hệ thống thông tin quang thích hợp với công nghệ truyền dẫn SDH. Kỹ thuật SDH sẽ ghép các kênh để tạo ra các luồng tín hiệu quang, còn OTDM sẽ thực hiện việc ghép các luồng quang này để tạo ra các tuyến truyền dẫn có dung lượng cao.

4.2 Nguyên lý ghép kênh OTDM

Trong hệ thống thông tin quang sử dụng kỹ thuật OTDM thì chuỗi xung hẹp được phát ra từ nguồn phát thích hợp. Các tín hiệu này được đưa vào khuếch đại nhằm nâng mức tín hiệu đủ lớn để đáp ứng được yêu cầu. Sau khi được chia thành N luồng, mỗi luồng sẽ được đưa vào điều chế nhờ các bộ điều chế ngoài với tín hiệu nhánh có tốc độ B Gbit/s. Để thực hiện ghép các tín hiệu quang này với nhau, các tín hiệu nhánh phải được đưa qua các bộ trễ quang. Tùy theo vị trí của từng kênh theo thời gian trong khung mà các bộ trễ này sẽ thực hiện trễ để dịch các khe thời gian quang một cách tương ứng. Thời gian trễ là một chu kỳ của tín hiệu clock và như vậy tín hiệu sau khi được ghép sẽ có tín hiệu là B Gbit/s. Bên phía thu, thiết bị tách kênh sẽ tách kênh và khôi phục xung clock khi đó sẽ đưa ra được từng kênh quang riêng biệt tương ứng với các kênh quang ở đầu vào của bộ ghép phía phát.

Sơ đồ khối dưới đây mô tả hoạt động của hệ thống truyền dẫn quang sử dụng kỹ thuật OTDM.



Hình 4.1: Sơ đồ tuyến thông tin quang dùng kỹ thuật OTDM ghép 4 kênh quang.

Các hệ thống ghép kênh OTDM thường hoạt động ở vùng bước sóng 1550nm, tại bước sóng này có suy hao quang nhỏ và lại phù hợp với bộ khuếch đại quang sợi có mặt trong hệ thống. Các bộ khuếch đại quang sợi có chức năng duy trì quỹ công suất của hệ thống nhằm đảm bảo tỷ lệ S/N ở phía thu quang.

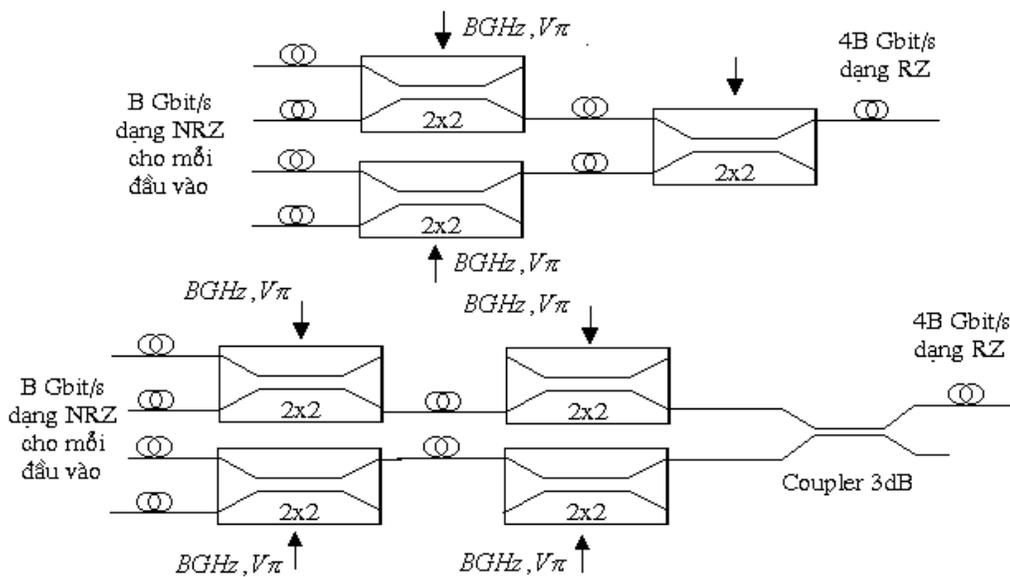
4.3 Phát tín hiệu trong hệ thống OTDM

Hệ thống thông tin quang sử dụng kỹ thuật ghép kênh OTDM áp dụng hai kỹ thuật phát tín hiệu chủ yếu sau:

1. Tạo luồng số liệu quang số RZ thông qua việc sử lý quang luồng NRZ.
2. Dựa vào việc điều chế ngoài của các xung quang.

Trong kỹ thuật tạo luồng số liệu quang số RZ thông qua việc sử lý quang luồng NRZ, từ luồng NRZ ta thực hiện biến đổi chúng để đưa về dạng tín hiệu RZ bằng cách cho luồng tín hiệu NRZ qua phần tử xử lý quang có các đặc tính chuyển đổi phù hợp. Quá trình biến đổi ánh sáng liên tục (CW) thành

các xung dựa vào bộ khuếch đại điện-quang. Đầu vào CW là luồng tín hiệu quang NRZ và thường thì mỗi luồng NRZ yêu cầu một phần tử xử lý quang riêng. Nhưng với các hệ thống tiên tiến hơn sẽ cho phép đồng thời thực hiện cả biến đổi và xen quang NRZ thành RZ nhờ một thiết bị chuyển mạch tích cực điện-quang 2x2. Vì vậy, chùm tín hiệu ban đầu NRZ tốc độ B Gbit/s sẽ được lấy mẫu nhờ bộ điều chế Mach-Zehnder, bộ điều chế này được điều khiển với một sóng hình sin với tần số B GHz và được làm bằng biên độ cho đến giá trị điện áp chuyển mạch. Tín hiệu quang số này sẽ được biến đổi thành dạng RZ ở tốc độ B Gbit/s với độ rộng xung bằng một nửa chu kỳ bit và việc này nhằm mục đích tạo ra một khoảng để xen vào một luồng tín hiệu dạng RZ thứ hai. Việc xen kênh thứ hai được thực hiện nhờ bộ ghép.



Hình 4.2: Sơ đồ sử dụng hai phương pháp ở phía phát xử lý NRZ cho OTDM.

Công nghệ nguồn phát quang trong ghép kênh cũng được lưu ý, đó là các Laser có thể phát xung rất hẹp ở tốc độ cao và đầu ra của nguồn là các bộ chia quang thụ động, các bộ điều chế ngoài và tiếp đó là các bộ trễ thời gian, các

bộ tái hợp vẫn sử dụng couple. Các sản phẩm của phía phát OTDM được phát hầu như dựa vào các công nghệ tổ hợp mạch lai ghép và điều này đã tạo điều kiện thuận lợi cho việc tiếp hành nghiên cứu.

Đối với hệ thống sử dụng kỹ thuật OTDM, khi lựa chọn tuyến quang cho hệ thống ta cần quan tâm đến tỷ lệ “đánh điểm-khoảng trống” và nó tùy thuộc vào mức độ ghép kênh đặt ra. Trong hệ thống OTDM 4 kênh, tỷ lệ “đánh điểm-khoảng trống” lớn hơn đối với nguồn phát xung quanh. Khi tuyến truyền dẫn rất xa thì tỷ lệ này sẽ yêu cầu cao hơn. Các nguồn phát xung phù hợp với hệ thống OTDM đang được sử dụng rộng rãi:

1. Các Laser hốc cộng hưởng ngoài gõ mode 4x5Gbit/s.
2. Các Laser DFB chuyển mạch khuếch đại 8x6,25Gbit/s.
3. Các Laser vòng sợi khoá mode 4x10Gbit/s và 16x6,25Gbit/s.
4. Các nguồn phát liên tục 16x6,25Gbit/s.

Nguồn phát liên tục 16x6,25Gbit/s là một công cụ thực hiện linh hoạt dựa trên sự mở rộng quang phổ bằng cách truyền những xung năng lượng cao trên dây cáp quang.

4.4 Giải ghép và xen kẽ kênh trong hệ thống OTDM

4.4.1 Giải ghép

Khi xem xét các hệ thống thông tin quang sử dụng công nghệ OTDM người ta quan tâm đến việc ghép và giải ghép trong vùng thời gian quang. Với hệ thống thông tin quang có cấu hình điểm-điểm thì công việc giải ghép ở phía thu là việc tách hoàn toàn các kênh quang tương ứng đã được phát ở đầu phát. Nhưng đối với mạng thông tin quang sử dụng kỹ thuật OTDM thì việc giải ghép ở phía thu không chỉ đơn thuần là tách các kênh quang mà còn thực hiện việc xen và rẽ kênh từ luồng truyền dẫn.

Đối với các bộ giải ghép kênh cần phải xem xét các thông số cơ bản về tách kênh kể cả tỷ số phân biệt quang, suy hao quang, suy hao xen và mặt cắt cửa sổ chuyển mạch có thể đạt được. Tỷ số phân biệt có ảnh hưởng rất lớn đến mức độ xuyên âm.

$$EX \quad 10 \log_{10} \frac{A}{B}$$

(4.1)

với A: Mức công suất quang trung bình ở mức logic 1.

B: Mức công suất quang trung bình ở mức logic 0 .

Ngoài ra, xuyên kênh cũng sẽ bị tăng do sự phủ chòm giữa các kênh lân cận với nhau tạo thành cửa sổ chuyển mạch. Và kết quả là độ rộng của cửa sổ chuyển mạch sẽ có ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ đường truyền do đó ta phải đặt ra các yêu cầu về độ rộng xung tín hiệu sau khi truyền dẫn để giảm nhỏ xuyên kênh.

Bảng tóm tắt các phương pháp giải ghép kênh OTDM.

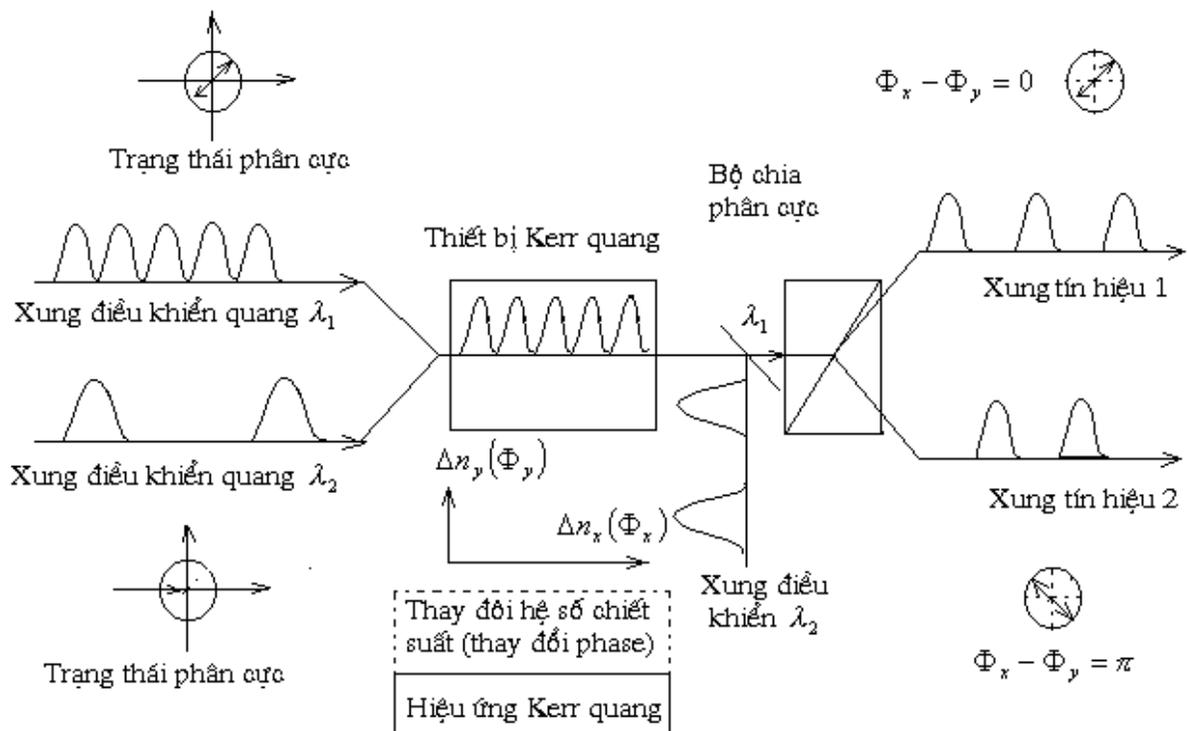
Loại chuyển mạch	Tín hiệu điều khiển	Các đặc tính và cửa sổ chuyển mạch nhỏ nhất
-Bộ điều chế Niobate ghép tầng	Sóng điện hình sin	40>10Gbit/s cửa sổ 19ps
- Bộ điều khiển băng rộng	Sóng điện 2 tần	40>10Gbit/s cửa sổ 22ps. Rẽ và xen kênh
- Bộ điều khiển điện-hấp thụ	số	Không nhạy cảm phân cực 40>10Gbit/s cửa sổ 10ps
- Quang Kerr: sợi	Sóng điện hình	40Gbit/s 5Gbit/s
- Trộn sóng: sợi	sin	100>6,25Gbit/s
- Gương vòng: Sợi	Xung quang	40>20Gbit/s 100>6,25Gbit/s, cửa sổ 6ps

- Trộn sóng: bán dẫn - Quang Kerr: bán dẫn	Xung quang	Rẽ và xen kênh 40Gbit/s*10Gbit/s
	Xung quang	20>5Gbit/s
		20>10Gbit/s
-Gương vòng: bán dẫn	Xung quang	40>10Gbit/s
	Xung quang	250>1Gbit/s cửa sổ 4ps
	Xung quang	

Có hai loại sơ đồ giải ghép chính là điều khiển điện và điều khiển quang

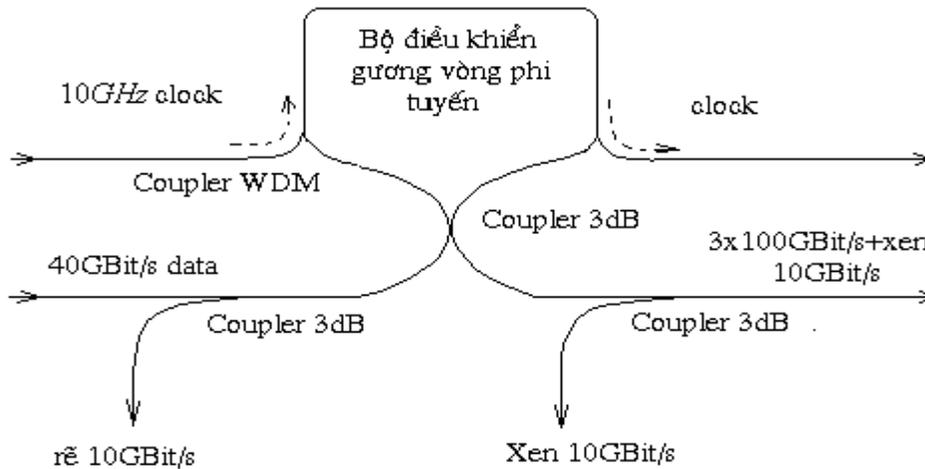
được trình bày trong hình 4.3. Trong thời gian đầu, cơ bản tập trung vào hướng sử dụng các bộ điều chế Mach-Zehnder Lithium niobate, nó cho phép khai thác đáp ứng hình sin để giải ghép bốn lần tốc độ tín hiệu cơ bản. Nhưng gần đây, người ta lại quan tâm đến việc ứng dụng các công nghệ xử lý quang hoàn toàn cho giải ghép với các đặc tính nổi bật sau:

- Cho phép thoải mái về các mức độ giải ghép kênh.
- Lấy được kênh, truy cập đến các kênh đang truyền để thực hiện việc xen và rẽ kênh.
- Các cửa sổ chuyển mạch có các ưu điểm nổi bật cho hệ thống OTDM, điều này cho phép sử dụng các xung tín hiệu rộng hơn trước khi các kênh kề nhau gây ra xuyên kênh.



Hình 4.3: Nguyên lý của bộ giải ghép thời gian (DEMUX) sử dụng chuyển mạch phân cực quang.

Hiệu ứng Kerr là hiệu ứng mà trong đó đặc tính phân cực của sợi quang phụ thuộc vào sự đồng nhất theo hình trụ của chỉ số chiết suất. Sự ảnh hưởng của hiệu ứng phi tuyến lên sự đồng nhất này và các hiệu ứng truyền dẫn xảy ra sau đó thường được gọi chung là hiệu ứng Kerr.



Hình 4.4: Sơ đồ đồng bộ lựa chọn kênh quang bằng gương vòng phi tuyến để rẽ và xen kênh với các bộ coupler 3dB.

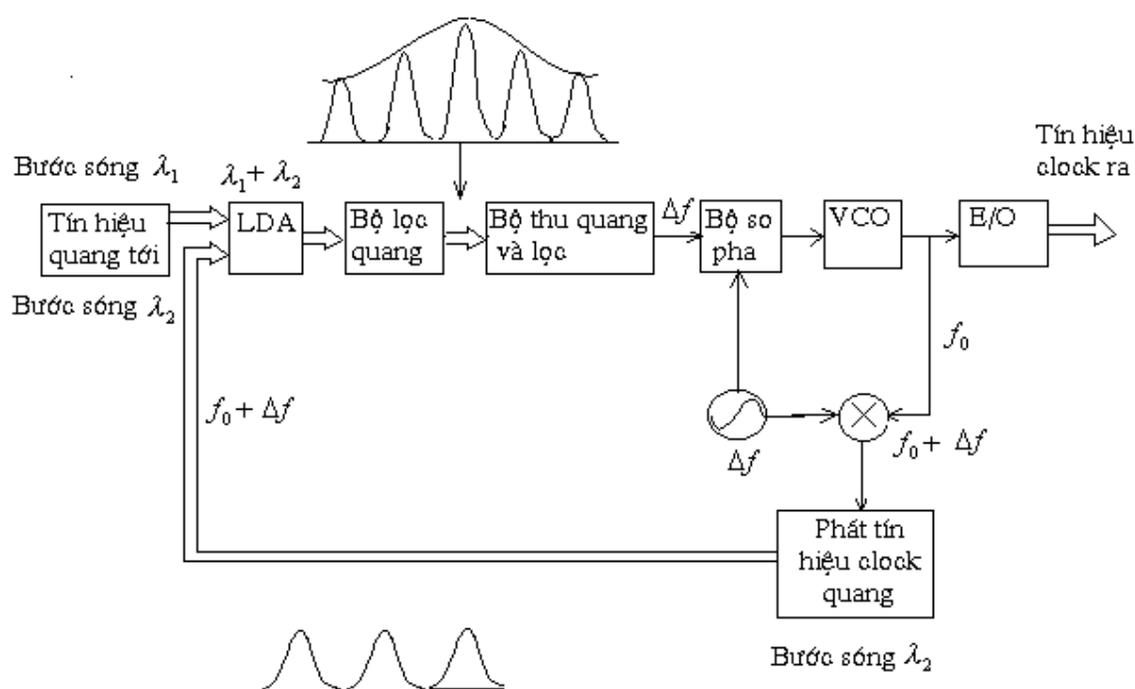
4.4.2 Xen rẽ kênh

Tín hiệu đến bộ chia 3dB chia ra giữa các nhánh của gương vòng. Sau khi lan truyền vòng quanh vài km sợi trong vòng thì hai chuỗi xung sẽ giao thoa, tái hợp với nhau và được phản xạ từ gương vòng dưới các điều kiện tương thích. Chu trình hoạt động cơ bản này là động và tuyến tính. Tuy nhiên, nếu có chuỗi xung clock công suất cao hơn được đưa vào vòng mà trùng hợp với tín hiệu số nhưng chỉ lan truyền theo một hướng thì các xung clock sẽ biến đổi chỉ số chiết suất của lõi sợi. Việc điều chế ngang pha vừa đủ đã có thể có trong các xung tín hiệu để tạo ra các xung phù hợp được chuyển mạch qua phía đối diện của gương vòng. Kết quả là tín hiệu cần thiết lấy ra ở nút được thiết bị phản xạ trong khi đó các kênh còn lại sẽ đi qua và tái hợp tại chỗ với tín hiệu được phát cho hướng truyền dẫn phía trước cửa sổ chuyển mạch của thiết bị và cửa sổ này được xác định không chỉ bằng dạng của các xung điều

khiến mà còn bằng cả các vận tốc tương đối của các tín hiệu. Do đó, sự sắp xếp của các xung tín hiệu và xung điều khiển một cách đối xứng ở hai phía của tán sắc sợi bằng không mà cửa sổ chuyển mạch sẽ thu được từ các xung tín hiệu và điều khiển là tương hợp về vận tốc.

Các gương vòng phi tuyến (NOLM: Nonlinear Loop Mirror) cũng có thể được cấu trúc từ thiết bị Laser bán dẫn thay cho sợi trong một số trường hợp. Nhược điểm chính của NOLM là do độ dài của sợi (khoảng 10km), mà cần phải lựa chọn việc tán sắc bằng không và bước sóng tín hiệu điều khiển để đạt được cửa sổ chuyển mạch hợp lý.

4.5 Đồng bộ quang trong hệ thống OTDM



Hình 4.5: Cấu hình PLL quang để trích lấy clock

Kỹ thuật tách lấy tín hiệu clock là một quá trình không thể thiếu được để tạo ra tín hiệu định thời với tốc độ của tín hiệu thu được là một quá trình

không thể thiếu khi thực hiện xử lý tín hiệu PCM tốc độ cao. Trong các hệ thống thông tin quang hiện nay đang khai thác, việc trích lấy thời gian được thực hiện trên các mạch khoá pha PLL điện (Phase-locked-loop) sau khi tín hiệu quang thu được đã được biến đổi thành tín hiệu điện thì các thiết bị truyền dẫn như các thiết bị đầu cuối quang, thiết bị xen kẽ kênh và cả các trạm lặp đều có PLL. Việc trích lấy xung clock đòi hỏi phải thực hiện một cách chính xác.

Các mạch PLL điện chỉ đáp ứng được các hệ thống truyền dẫn với tốc độ bit nhỏ, khi tốc độ truyền dẫn tăng lên thì chúng không còn phù hợp nữa. Nó sẽ bị hạn chế vì băng tần của các bộ biến đổi quang-điện và mạch điện tử không đáp ứng kịp. Đối với các hệ thống OTDM tốc độ làm việc rất cao và tính chất quang hoá của các hệ thống này thể hiện rất rõ cho nên cần phải sử dụng việc tách tín hiệu clock dựa trên công nghệ quang. Các mạch PLL quang đã đáp ứng được tốc độ cực nhanh của tín hiệu trên hệ thống OTDM cũng như các hệ thống thông tin tốc độ cao khác.

Trong cấu hình mạch PLL quang, bộ khuếch đại Laser LDA có chức năng như một mạch kết hợp ngang quang có tốc độ cực nhanh. Khi có cả tín hiệu quang và xung từ clock đi tới, bộ khuếch đại LDA sẽ kết hợp hai tín hiệu này và cho ra tín hiệu kết hợp tần số thấp có chứa thành phần f với f là sự lệch tần số của hai tín hiệu này, sau đó tổ hợp tín hiệu này được tách sóng và lọc để cho ra tín hiệu f tương ứng với tín hiệu dao động nội so sánh. Dịch pha này được kiểm tra nhờ mạch so pha, kết quả so pha sẽ được đưa vào bộ dao động điều khiển điện áp VCO để phát ra tần số f_0 . Mạch phát tín hiệu quang sẽ biến đổi tín hiệu điện có tần số $f_0 - f$ thành tín hiệu quang tương

Ứng. Tín hiệu clock quang sẽ được lấy ra từ bộ biến đổi điện-quang E/O và cấp vào thiết bị giải ghép quang trong hệ thống OTDM.

4.6 Đặc tính truyền dẫn của OTDM

Do ánh sáng truyền trong sợi quang bị giãn rộng ra do sự tán sắc của sợi quang, trong khi đó các hệ thống thông tin quang sử dụng kỹ thuật OTDM hoạt động với tốc độ rất cao, điều đó đòi hỏi các xung phát ra phải rất ngắn. Ta có thể đưa truyền dẫn Soliton vào hệ thống để khắc phục vấn đề tán sắc. Tuy vậy, vẫn phải quan tâm đến vấn đề tạo ra xung cực hẹp. Giả sử các bộ khuếch đại quang thường được sử dụng để tăng các mức tín hiệu dọc theo tuyến thông tin quang khi cần.

Trong truyền dẫn tuyến tính tín hiệu RZ trên sợi có tán sắc, vấn đề bù cho hệ thống theo nghĩa bù trừ tán sắc chỉ thiết lập khi các xung tín hiệu bị mất năng lượng vào các khe thời gian lân cận. Tuy vậy, một khi điều này xảy ra thì hệ thống bị suy giảm nhanh nên để tăng cực đại khoảng cách truyền dẫn thì phải đưa các hệ thống truyền dẫn OTDM vào các tuyến cá tán sắc tiến tới không. Giải pháp đầu tiên là nguồn phát phải làm việc tại bước sóng gần với bước sóng của tán sắc sợi bằng không và điều này rất khó thực hiện vì giảm công suất tín hiệu để tránh giãn xung cần thiết nhưng điều này có thể làm cho đặc tính của hệ thống bị giới hạn do tỷ lệ S/N. Giải pháp thứ hai là các kỹ thuật điều tiết tán sắc ánh sáng có thể được sử dụng để duy trì hình thức truyền dẫn tuyến tính của tuyến.

Hệ thống sử dụng các bộ phát OTDM trong truyền dẫn số phi tuyến có ưu điểm lớn. Các dạng xung ngắn phù hợp với truyền dẫn Soliton để khắc phục tán sắc của sợi dẫn quang. Với hệ thống Soliton thì khoảng lặp của hệ thống OTDM phi tuyến có thể được tăng lên rất lớn bằng cách thực hiện kỹ thuật điều khiển Soliton, thông qua việc sử dụng các bộ lọc dẫn hoặc hoặc

định thời tích cực. Các bộ lọc dẫn rất thuận lợi khi áp dụng vào môi trường có hiệu ứng Gordon-Haus gây ra Jitter, còn lại việc định lại thời gian tích cực sẽ loại bỏ Jitter đối với bất kỳ một cơ chế hoạt động nào. Nhờ các công nghệ này người ta có thể thực hiện một trạm lặp bao gồm khối khôi phục clock điện để điều khiển thiết bị điện-quang hoặc quang hoàn toàn nhằm đưa ra dịch pha cho tín hiệu quang.

4.7 Kết luận chương

Qua nghiên cứu về kỹ thuật ghép kênh quang phân chia theo thời gian (OTDM) chúng ta thấy nó thực sự là một kỹ thuật tối ưu trong các tuyến thông tin quang tốc độ cao do nó có các đặc điểm nổi bật sau:

- Dung lượng kênh truyền dẫn lớn.
- Tốc độ truyền dẫn cao.
- Vận dụng tốt phổ hẹp của Laser.
- Kết hợp được với kỹ thuật điều khiển Soliton để tăng khả năng lặp của hệ thống phi tuyến lên rất lớn.
- Ghép kênh quang phân chia theo thời gian phù hợp với các loại Laser tạo ra các xung có độ dài ít hơn độ dài khe thời gian của tín hiệu cho phép.

Phần Tính toán và thiết kế

CHƯƠNG 5: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ TUYẾN CẤP QUANG THEO QUỸ CÔNG SUẤT VÀ THỜI GIAN LÊN

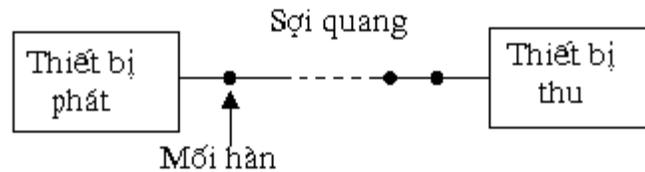
5.1 Giới thiệu chương

Các hệ thống thông tin quang được ứng dụng có hiệu quả nhất trong lĩnh vực truyền dẫn số. Do vậy trong tính toán, thiết kế ta xem xét hệ thống truyền dẫn số IM-DD (Intensity Modulation-Direct Detection) thì những điều

kiện bắt buộc về kỹ thuật và tính kinh tế đóng một vai trò quan trọng trong tất cả các tuyến thông tin sợi quang. Người thiết kế phải chọn cẩn thận từng công đoạn để đảm bảo sao cho cả hệ thống trong suốt thời gian phục vụ đều hoạt động tốt.

5.2 Các khái niệm

Như đã biết, hệ thống thông tin quang phổ biến hiện nay là hệ thống IM-DD điểm-điểm. Để thiết kế tuyến ta cần quan tâm đến: Thiết bị phát quang, thiết bị thu quang, sợi dẫn quang và các yếu tố ảnh hưởng đến nó chẳng hạn như mối hàn và các bộ connector như hình vẽ dưới đây:



Mục đích của việc thiết kế tuyến là phải đạt được các yêu cầu sau:

- Cự ly truyền dẫn theo yêu cầu.
- Tốc độ truyền dẫn.
- Tỷ số lỗi bit BER.

Để đảm bảo cho việc thiết kế tuyến đạt được các yêu cầu đó cần phải chọn các thành phần của tuyến:

- Sợi quang đơn mode hay đa mode.
- Kích thước lõi sợi.
- Chỉ số chiết suất mặt cắt lõi.
- Băng tần hoặc tán sắc.
- Suy hao của sợi.
- Khẩu độ hay bán kính trường mode.

Nguồn phát là LD hay LED

- Bước sóng phát.
- Độ rộng phổ.
- Công suất phát.
- Vùng phát xạ có hiệu quả.

Thiết bị thu quang sử dụng PIN hay APD

- Hệ số chuyển đổi.
- Bước sóng làm việc.
- Tốc độ làm việc.
- Độ nhạy thu.

Để lựa chọn các thành phần sao cho đảm bảo kỹ thuật ta phải xét đến quỹ công suất lên và quỹ thời gian lên của tín hiệu trong hệ thống.

Quỹ công suất có công suất phát, độ nhạy thu, công suất dự phòng, từ đó ta thiết lập tỷ số BER. Công suất dự phòng cho suy hao sợi, suy hao mỗi nối... Khi lựa chọn các thành phần của tuyến mà không đảm bảo khoảng cách đường truyền thì có thể thay đổi các thành phần đó hay ghép trạm lặp vào tuyến để thỏa mãn yêu cầu về công suất. Khi quỹ công suất đã cân bằng ta kiểm tra quỹ thời gian lên của tín hiệu.

Các bước thiết kế:

4. Chọn bước sóng làm việc của tuyến
5. Lựa chọn thành phần thiết bị hoạt động ở bước sóng này
6. Chọn thiết bị thỏa mãn yêu cầu đặt ra

5.3 Quỹ công suất

Ta xét phương trình cân bằng của quỹ công suất. Đó là điều kiện về công suất để tuyến hoạt động bình thường.

Giả sử bên phát và bên thu không có sự suy hao công suất thì:

$$P_s = P_r = 0$$

(5.1)

trong đó, P_s : Công suất phát.

P_r : Công suất thu.

Suy hao trên tuyến bao gồm suy hao trên sợi dẫn quang, trên các bộ nối và các mối hàn. Suy hao từng phần được xác định theo công thức:

$$A = -10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

(5.2)

Ngoài các suy hao nói trên cần phải có một lượng công suất dự phòng cho tuổi thọ của các thành phần, cho sự thay đổi của nhiệt độ. Giá trị công suất dự phòng này có giá trị khoảng 6dB đến 8dB.

Phương trình cân bằng quỹ công suất (điểm-điểm) là:

$$10 \log P_s \cdot h_s \cdot MDP_{cap} \cdot L \cdot n_c \cdot m_s \cdot d_{device}$$

(5.3)

Trong đó: P_s là công suất phát [mW]

h_s : Hiệu suất ghép quang [%]

MDP: Độ nhạy máy thu

MDP=-27,5dBm [7]

α_{cap} : Hệ số suy hao cáp và dự phòng cho cáp [dB/km]

L: Khoảng cách giữa phía phát và thu [km]

α_c, α_s : Suy hao connector và suy hao mối hàn [dB]

n, m: Số connector và số mối hàn

α_d : Suy hao ghép sợi quang-bộ thu [dB]

$_{device}$: Suy hao dự phòng cho thiết bị [dB]

Công suất quang tới P_d [dB]:

$$P_d = 10 \log P_s \cdot h_s \cdot L_{cap} \cdot n_c \cdot m_s \cdot d_{device}$$

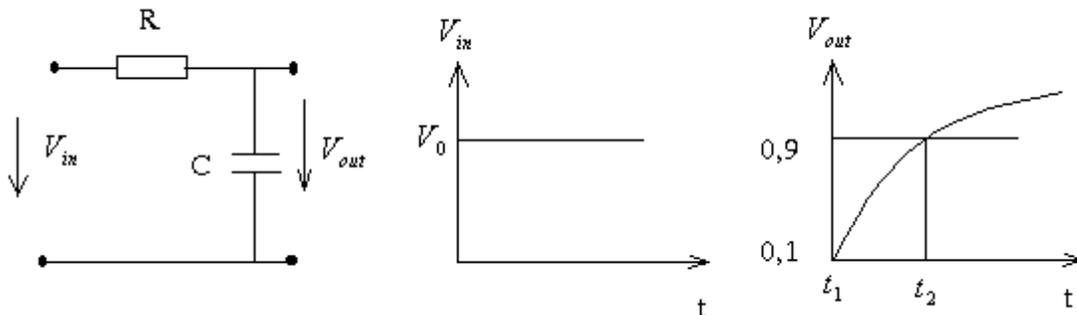
(5.4)

Khi công suất quang tới nằm trong khoảng giữa [MDP đến (MDP+Over)] với Over là hệ số quá tải máy thu. Lúc này tỷ số lỗi bit BER sẽ nhỏ hơn mong muốn và không bị quá tải máy thu.

5.4 Quỹ thời gian lên

Trong một hệ thống thông tin quang, tín hiệu được truyền từ thiết bị phát đến thiết bị thu thông qua môi trường truyền dẫn là sợi quang. Trong quá trình đó, độ rộng xung của tín hiệu bị giãn ra. Do đó, ta có thể xem tín hiệu đi qua hệ thống như là đi qua một bộ lọc thông thấp. Khi đó, thời gian lên của hệ thống được định nghĩa là khoảng thời gian t sao cho biên độ tín hiệu xung tăng từ 10% đến 90% biên độ cực đại của nó.

Ta có thể tính thời gian lên của tín hiệu xung vuông khi đi qua mạch lọc thông thấp RC:



Hình 5.1: Đáp ứng xung của bộ lọc thông thấp.

Tín hiệu vào là xung vuông nên có dạng:

$$V_{in} = V_0 \cdot 1(t) = V_0 \cdot p \left(\frac{V_0}{p} \right)$$

(5.5)

Hàm truyền: $H(p) = \frac{1}{1 + pRC}$ với RC

(5.6)

$$V_{out}(p) = H(p) \cdot V_{in}(p) = \frac{V_0}{p(1 + pRC)}$$

(5.7)

$$V_{out}(t) = V_0 \cdot 1 - \exp(-t/RC)$$

(5.8)

tại t_1 :

$$0,1V_0 = V_0 \cdot 1 - \exp(-t_1/RC)$$

$$\exp(-t_1/RC) = 0,9$$

tại t_2 :

$$0,9V_0 = V_0 \cdot 1 - \exp(-t_2/RC)$$

(5.9)

$$\exp(-t_2/RC) = 0,1$$

(5.10)

Từ (5.9) và (5.10) ta có:

$$\frac{t_2 - t_1}{RC} = \ln 9 = 2,2RC$$

(5.11)

Từ (5.6) ta có:

$$H(f) = \frac{1}{1 + j2\pi fRC}$$

(5.12)

Do đó băng thông của mạch:

$$B = \frac{1}{2RC}$$

(5.13)

Từ (5.11) và (5.13) ta được:

$$t = \frac{2,2}{2B} = \frac{0,35}{B}$$

(5.14)

Băng thông tối thiểu của bộ lọc phải bằng băng thông của tín hiệu thì ta mới có thể thu được tín hiệu, điều này tương ứng với thời gian lên tối đa:

$$t_{\max} = \frac{0,35}{B_{rx}}$$

(5.15)

Với tín hiệu loại NRZ:

$$t_{rx \max} = \frac{0,7}{R}$$

(5.16)

Với loại tín hiệu RZ:

$$t_{\max} = \frac{0,35}{R}$$

(5.17)

khi đó thời gian lên của tuyến:

$$t_t = \sqrt{\sum_{i=1}^N t_i^2}$$

(5.18)

-Thời gian lên của thiết bị thu.

Gọi B là băng tần điện 3dB tính bằng MHz thì thời gian lên của thiết bị thu được tính

$$t_n = \frac{350}{B}$$

(5.19)

-Thời gian lên tán sắc mode của sợi quang

$$t_{mode} = 440 \cdot \frac{L^q}{B_0} \text{ [ns]}$$

(5.20)

Trong đó q: tham số có giá trị từ 0,5 đến 1

B_0 : Băng tần 1 Km cáp sợi quang [MHz]

L: Chiều dài của cáp

-Thời gian lên tán sắc vật liệu dùng ống dẫn sóng

$$t_{VL} = D.L.$$

(5.21)

Trong đó D: Hệ số tán sắc

: Độ rộng nguồn phát

(5.17) có thể được viết lại:

$$t_t = \sqrt{t_{rx}^2 + D.L. \cdot \frac{440L^q}{B_0} + \frac{350}{B_{rx}}}$$

(5.22)

5.5 Nhiễu trong hệ thống thông tin quang

Nhiễu là khái niệm để mô tả các thành phần tín hiệu điện không mong muốn

Có chiều hướng gây rối quá trình truyền dẫn và xử lý tín hiệu trong hệ thống mà chúng ta không kiểm soát đầy đủ. Trong hệ thống tách sóng, độ nhạy của hệ thống phụ thuộc rất nhiều vào các loại nhiễu và hai nguồn nhiễu chính ở đây là nhiễu lượng tử và nhiễu nhiệt.

5.5.1 Nhiễu lượng tử.

Nhiễu lượng tử của photodiode sinh ra do số lượng các hạt tải điện đi qua một khe năng lượng hay vượt qua hàng rào thế năng có tính ngẫu nhiên

theo thời gian gây ra. Dòng chảy của các hạt electron qua tiếp giáp p-n là riêng rẽ và ngẫu nhiên. Các hạt đến không đồng thời nên phát sinh ra nhiễu này.

Giá trị của nhiễu lượng tử phụ thuộc vào các tham số:

$$i_{shot}^2 = 2.e.i.B$$

(5.23)

Trong đó: B là độ rộng băng của bộ thu

I là dòng trung bình đến bộ tách sóng

Giá trị của dòng nhiễu lượng tử là $i_{shot} = \sqrt{2.e.i.B}$, từ biểu thức này ta thấy dòng nhiễu lượng tử tăng theo \sqrt{B} .

5.5.2 Nhiễu nhiệt

Nhiễu nhiệt xuất phát từ điện trở tải bộ tách sóng và các linh kiện điện tử trong bộ khuếch đại, có xu hướng chi phối trong quá trình khuếch đại khi sử dụng photodiode PIN với tỷ số tín hiệu trên nhiễu thấp, có thể đạt được hệ số khuếch đại tối ưu bằng thiết kế cân bằng giữa nhiễu nhiệt và nhiễu lượng tử không phụ thuộc vào hệ số khuếch đại.

Công thức tính toán nhiễu nhiệt: $i^2 = 4KTB/R_L$

(5.24)

Tong đó: K là hằng số Bozman, $K=1,38.10^{23}$

T là nhiệt độ ở đơn vị kenvin, $T = t(^{\circ}c) + 273$

R là điện trở tải

5.6 Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu

5.6.1 Đối với photodiode PIN

Trong hệ thống tách sóng trực tiếp, sử dụng diode tách sóng PIN thì giá trị dòng và công suất tới quan hệ như sau:

$$i_s = \frac{e}{h\nu} P_s$$

(5.25)

Với: i_s là hiệu suất lượng tử

h là hằng số plank, $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js

Mặt khác ta có công suất trên tải:

$$S = i_s^2 \cdot R_L$$

$$S = \left(\frac{e}{h\nu} \cdot P_s \right)^2 \cdot R_L$$

5.26

-Công suất nhiễu lượng tử với dòng bao gồm cả dòng tới:

$$N_{shot} = i_{shot}^2 \cdot R_L = 2 \cdot e I \cdot B \cdot R_L = 2e \left(\frac{e}{h\nu} P_s + i_d \right) \cdot B \cdot R_L$$

5.27

-Dòng và thế của nhiễu nhiệt:

$$i_{nh}^2 = \frac{4KTB}{R_L} \quad ; \quad u_{nh}^2 = 4KTB \cdot R_L$$

Công suất nhiễu nhiệt:

$$N_{nh} = \frac{4KTB}{R_L} R_L = 4KTB$$

5.28

Từ đó ta có tỷ số tín hiệu trên nhiễu ở máy thu sử dụng photodiode PIN:

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} p_s\right)^2 R_L}{2e\left(\frac{e}{h\nu} p_s + i_d\right) B R_L + 4K.B.T}$$

5.29

5.6.2 Đối với photodiode APD

Như đã biết APD bao gồm lớp chuyển đổi quang điện và lớp nhân điện, do vậy nhiễu xuất hiện ở lớp chuyển đổi quang điện $i_{shot}^2 = 2.e.I.B$ cũng nhân được lên lớp nhân với hệ số nhân M.

$$i_{shot}^2 = \left(\frac{e}{h\nu} p_s + i_d\right) M^{2 \cdot x} B$$

5.30

$$N_{shot} = \frac{i_{shot}^2 \cdot R_L}{2eI.BR_L} = \frac{2e\left(\frac{e}{h\nu} p_s + i_d\right) M^{2 \cdot x} \cdot B \cdot R_L}{2eI.BR_L}$$

5.31

Trong biểu thức trên trị số M^x gọi là nhiễu quá mức. Đây là giá trị được sinh ra trong hiệu ứng thác.

Với x là hệ số tạp âm quá mức. Giá trị của x phụ thuộc vào vật liệu chế tạo photodiode APD. Đối với photodiode si = 0.3

photodiode InGAs x = 0.7

photodiode Ge x = 1

Do đó tỷ số tín hiệu trên nhiễu ở máy thu sử dụng photodiode APD là:

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} M \cdot p_s\right)^2 R_L}{2e\left(\frac{e}{h\nu} p_s + i_d\right) M^{2 \cdot x} B R_L + 4K.B.T}$$

(5.32)

Tỷ lệ lỗi bit:

$$BER = \frac{\exp(-q^2/2)}{q\sqrt{2}}$$

(5.33)

Với $q=SN/2$

Tỷ số BER càng nhỏ thì chất lượng của hệ thống càng cao và điều này còn tùy thuộc vào từng hệ thống. Thường $BER = 10^{-9}$ hay $< 10^{-12}$.

5.7 Các giá trị của các thành phần

Thiết bị phát quang: [7]

Tham số	Giá trị
Bước sóng làm việc	1300nm hay 1550nm
Dải sóng làm việc	50nm
Công suất ra	LED: -32 đến 15dBm LD: -12 đến 7dBm
Thời gian lên	LED: 3ns(max) LD: <1ns
Độ rộng phổ	LED: 30 đến 100nm LD: 1 đến 2nm

Cáp sợi quang: [7]

Tham số	Giá trị
Độ rộng băng thông 1km cáp sợi quang	100 đến 2500Mhz
Suy hao của sợi(sh)	MM < 2dB/km SM tại 1300nm: 0.36dB/km SM tại 1550nm: 0.22dB/km
Hệ số tán sắc(D)	MM < 6ps/nm.km SM tại 1300nm < 3,5 ps/nm.km SM tại 1550nm < 18 ps/nm.km

Thiết bị thu:

Tham số	Giá trị
Độ nhạy(S)	PIN: -43 đến 27,1 dBm APD: -41,5 đến 29,6 dBm
Hiệu suất	60%-90%
Dòng i_d, i_L	1nA

Suy hao do hàn nối và bộ nối:

Tham số	Giá trị
Suy hao mỗi hàn	0,3 db(max)
Suy hao bộ nối	0,5 db(max)

Khi tạo tổ hợp các thành phần trong tuyến phải tuân theo các quy tắc sau:

5. LED không được sử dụng với sợi quang đơn mode
6. LED không được sử dụng với điốt quang APD
7. LD không được sử dụng với sợi đa mode
8. LD đơn mode dùng với APD

LDDM: Laser đơn mode

DAMO: Sợi quang đa mode

DMTT: Sợi quang đơn mode thông thường

DMDC: Sợi quang đơn mode dịch chuyển

Do đó các tổ hợp có thể có là:

8. LED-DAMO-PIN
9. LD-DMTT-APD
10. LD-DMDC-PIN
11. LD-DMTT-PIN
12. LD-DMDC-APD
13. LDDM-DMTT-APD
14. LDDM-DMDC-APD

5.8 Bài toán tính toán và thiết kế theo quỹ công suất và thời gian lên

Trong bài toán, hệ thống sử dụng lần lượt 2 thiết bị thu quang là photodiode PIN và photodiode APD, tính toán công suất phát tối ưu.

Việc tính toán dựa trên những thông số cụ thể của các thiết bị có trong tuyến, các thông số này được cho bởi nhà sản xuất.

Yêu cầu cụ thể của tuyến như sau:

- Tuyến A-B với cự ly truyền dẫn: $L = 100 \text{ km}$
- Tốc độ bit : $B_t = 2,5 \text{ Gb/s}$
- Mã sử dụng là mã RZ
- Số conector(mỗi nối) : 2
- Số Slice(mỗi hàn) : 20
- BER cho phép 10^{-10} và không sử dụng bộ khuếch đại quang

5.8.1 Chọn bước sóng làm việc của tuyến.

Chọn bước sóng làm việc của tuyến có liên quan đến rất nhiều tham số khác của tuyến. Có ba vùng cửa sổ để có thể lựa chọn khi thiết kế là 850nm, 1300nm, 1550nm.

Nghiên cứu về cáp quang đã cho thấy rằng, cáp quang có đặc tính tốt hơn ở vùng bước sóng dài. Khi tổn hao truyền dẫn và tán sắc là các nhân tố quyết định để xác định được chiều dài của tuyến.

Bước sóng gần thường dùng để sử dụng ở những hệ thống thông tin hoạt động với tốc độ thấp. Trong vùng bước sóng dài, các hệ thống hoạt động ở bước sóng 1550nm cho mức suy hao thấp nhưng lại có mức tán xạ lớn hơn 1300nm, ở tuyến trên, do chiều dài của tuyến là 100km nên ta cho bước sóng làm việc của tuyến là 1550nm để có mức suy hao thấp.

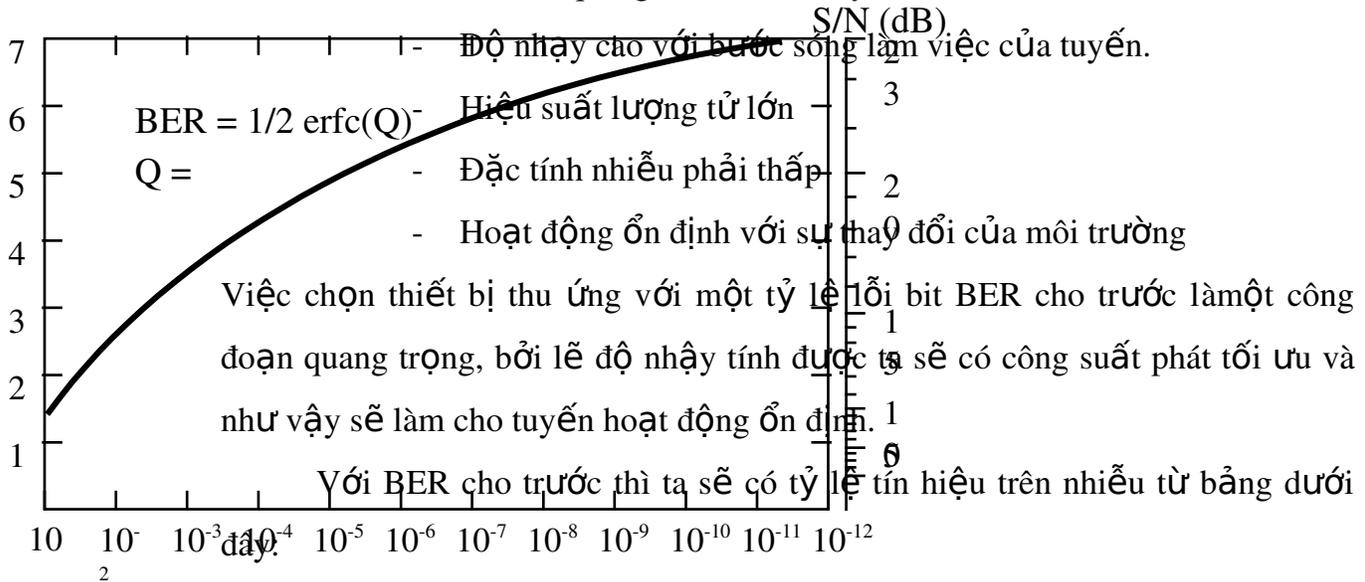
5.8.2 Chọn loại sợi quang

Theo sự trình bày ở phần lý thuyết sợi quang được phân thành 3 loại: đơn mode, đa mode chỉ số bước, đa mode chỉ số lớp. Loại sợi đơn mode có đặc tính tổn hao và tần số rất tốt cho nên loại này được sử dụng phổ biến cho đường dài, dung lượng truyền dẫn cao đòi hỏi băng thông rộng và tổn hao thấp.

Loại sợi quang của tuyến được chọn là: sợi quang đơn mode với chỉ số suy hao là 0,25dB/km và hệ số tán sắc $D=17\text{ps/nm.km}$.

5.8.3 Thiết bị thu quang

Chọn thiết bị thu quang thỏa mãn các yêu cầu sau:



Hình 5.2 Tỷ số bit BER

Với BER=10⁻¹¹ thì từ hình vẽ ta sẽ có S/N = 22,6dB hay S/N = 182 lần

5.9 Tính toán tổn hao trên đường truyền

Loại tổn hao	Đơn vị	Số lượng	Tổng
Tổn hao sợi	0,25dB/km	100km	25dB
Tổn hao mỗi hàn	0,1dB	20	2dB
Tổn hao mỗi nối	1dB	2	2dB
Dự phòng	5dB		5dB
P _A = 34dB			

5.10 Độ nhạy của máy thu trong trường hợp sử dụng PIN

Ta sẽ có công thức S/N đối với thiết bị thu PIN như sau:

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} p_s\right)^2 R_L}{2e\left(\frac{e}{h\nu} p_s + i_d\right) B \cdot R_L + 4K \cdot B \cdot T}$$

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} p_s\right)^2}{2e\left(\frac{e}{h\nu} p_s + i_d\right) B \cdot \frac{4K \cdot B \cdot T}{R_L}}$$

Với B_r = B = 2,5Gb/s (do mã sử dụng là RZ)

Chọn thiết bị thu là photodiode PIN G6742-003 của Hamamatsu Photonic (có thông số kèm theo)

Các thông số của PIN:

$$R = \frac{e}{h\nu} = 0,95 \text{ A/W}$$

$$R_L = 50$$

$$I_d = 0,3 \cdot 10^{-9} \text{ A}$$

Các hằng số :

$$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}, h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}, c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Thay các giá trị vào ta được phương trình:

$$182 = \frac{0,95 P_s^2}{3,2 \cdot 10^{-19} (0,95 P_s - 0,3 \cdot 10^{-9}) 2,5 \cdot 10^9} - \frac{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2,5 \cdot 10^9}{50}$$

Ta được phương trình theo P_s :

$$0,9025 \cdot P_s - 138,3 \cdot 10^{-9} P_s - 15,1 \cdot 10^{-11} = 0$$

Giải phương trình bậc hai ta được: $P_s = 13 \cdot 10^{-6} \text{ W}$

$$P_s = -12,8 \cdot 10^{-6} \text{ W (loại)}$$

Vậy độ nhạy của máy thu là: $P_s = 13 \cdot 10^{-6} \text{ W}$ hay $P_s = -18,7 \text{ dBm}$

Từ đó ta có công suất phát tối ưu cho laser trong trường hợp sử

dụng PIN: $P_T = P_A + P_s = 34 + (-18,7) = 15,34 \text{ dbm}$

Như vậy chọn thiết bị phát với công suất danh định là: $P_T = 15,12 \text{ mW}$

5.11 Độ nhạy máy thu trong trường hợp sử dụng APD

Ta có công thức S/N đối với thiết bị thu APD như sau:

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} M \cdot p_s\right)^2 R_L}{2e\left(\frac{e}{h\nu} \cdot p_s - i_d\right) M^2 \times B \cdot R_L + 4K \cdot B \cdot T}$$

$$\text{hay } \frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{e}{h\nu} M \cdot p_s\right)^2}{2e\left(\frac{e}{h\nu} \cdot p_s - i_d\right) M^2 \cdot B \cdot 4 \frac{K \cdot B \cdot T}{R_L}}$$

Chọn thiết bị thu là photodiode APD loại Suo020 của sensor Ulimited Inc (có thông số kèm theo)

Các thông số của APD:

$$R = \frac{e}{h\nu} = 0,8 \text{ A/W}$$

$$R_L = 50$$

$$X = 0,7$$

$$M = 10$$

$$I_d = 30 \text{ nA}$$

Các hằng số:

$$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}, \quad h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Thay các giá trị vào ta được phương trình:

182

=

$$\frac{8 P_s^2}{3,2 \cdot 10^{-19} (0,8 P_s - 0,3 \cdot 10^{-9}) \cdot 10^2 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2,5 \cdot 10^9}{50}} =$$

Ta được phương trình theo P_s :

$$64 \cdot P_s^2 - 29,189 \cdot 10^{-6} P_s - 7,717 \cdot 10^{-11} = 0$$

Giải phương trình bậc hai ta được: $P_s = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ W}$

$$P_s = -8,93 \cdot 10^{-6} \text{ W (loại)}$$

Vậy độ nhạy của máy thu là: $P_s = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ W}$ hay $P_s = -28,7 \text{ dBm}$

Từ đó ta có công suất phát tối ưu cho laser trong trường hợp sử dụng PIN: $P_T = P_A + P_S = 34 + (-28,7) = 5,3\text{dBm}$

Như vậy chọn thiết bị phát với công suất danh định là: $P_T = 5,34\text{mW}$

5.12 Tính toán thời gian lên

-Thời gian lên tối đa của hệ thống

$$t_t = 0,7/B_t = 0,7/2,5 \cdot 10^9 = 2,8 \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

-Thời gian lên của thiết bị thu:

$$t_n = 350/B = 350/2,5 \cdot 10^9 = 14 \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

-Thời gian lên tán sắc mode của sợi quang:

$$t_t = 440 \cdot L^q / B_o = 440 \cdot 100^{0,5} / 2,5 \cdot 10^7 = 176 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Trong đó: q là tham số có giá trị từ 0,5 đến 1

B_o : băng tần một km cáp sợi quang (MHz)

L : chiều dài của cáp

- Thời gian lên tán sắc vật liệu ống dẫn sóng:

$$t_{vl} = D.L. = 17 \cdot 0,04 \cdot 100 = 68\text{ps} = 68 \cdot 10^{-12}$$

- Khi đó thời gian lên của tuyến :

$$t_t = \sqrt{t_{tx}^2 + (D.L.)^2 + \frac{440L^q}{B_o} + \frac{350}{B_{rx}}}$$

$$t_t = 2,65 \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

Như vậy thời gian lên của tuyến là: $t_t = 2,65 \cdot 10^{-10} \text{ s}$

5.13 Kết luận chương

Kết quả việc tính toán dựa vào các thông số cho trước của tuyến đã cho thấy rằng, ở APD có hệ số nhân M nên tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu S/N có giá trị lớn hơn nên độ nhạy máy thu được nâng cao hơn so với PIN.

Do đó, việc lựa chọn APD làm thiết bị thu quang sẽ kéo theo thuận lợi là chỉ cần sử dụng diode Laser với công suất phát nhỏ hơn rất nhiều so với khi dùng PIN làm thiết bị thu quang.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI

Đề tài “hệ thống thông tin sợi quang” đã thực sự đem lại cho em nhiều hiểu biết về thông tin sợi quang. Khi tìm hiểu về hệ thống thông tin sợi quang ở chương 1 đã trình bày một cách khái quát về hệ thống và đã giúp cho em có tầm nhìn về hệ thống thông tin sợi quang một cách tổng quát. Các chương tiếp theo sẽ tập trung vào trình bày một cách then chốt các vấn đề như các đặc điểm, cấu tạo chức năng của hệ thống, và từng bộ phận cấu thành nên hệ thống.

Đối với hệ thống thiết kế, tuy còn nhiều hạn chế nhưng hệ thống IM-DD với đặc tính đơn giản đã được ứng dụng rộng rãi và cho những lợi ích to lớn trong thời kỳ mới phát triển thông tin quang.

Với những ưu điểm kể trên việc sử dụng sợi quang làm phương tiện truyền dẫn là cần thiết. Thế nhưng khi sử dụng sợi quang trong thực tế không phải là điều đơn giản cơ chế ánh sáng lan truyền trong sợi quang cũng như độ tổn hao là những yếu tố cần phải tính đến trước tiên khi chọn sợi quang làm phương tiện truyền dẫn tín hiệu.

Tuy nhiên, để tăng tốc độ truyền dẫn, băng thông, dung lượng ... thì vấn đề ghép kênh quang là một tất yếu. Có ba loại ghép kênh quang là ghép kênh quang phân chia theo thời gian (OTDM), ghép kênh phân chia theo tần số (ODFM), ghép kênh quang phân chia theo bước sóng (WDM). Trong cả ba phương pháp trên thì ghép kênh phân chia theo thời gian là đơn giản và phổ biến nhất với các tính năng ưu việt của nó. Việc tính toán, thiết kế tuyến

thông tin quang theo quỹ công suất và thời gian lên đòi hỏi các thông số phải phù hợp, công thức chính xác ..và trên cơ sở đó chương trình sẽ kiểm tra các điều kiện về thời gian lên và quỹ công suất và BER của hệ thống để đưa ra được tuyến phù hợp với nhu cầu thiết kế.

Trong những năm gần đây, các nước phát triển trên thế giới như Mỹ, Nhật Trung quốc, Đức...đang nghiên cứu để đưa ra công nghệ mới :WDM là công nghệ truyền dẫn tốc độ cao vài trăm Gbit đến Tbit. Dùng công nghệ WDM để mở rộng dung lượng là công nghệ truyền dẫn siêu lớn nhất hiện nay. Nó không những mở rộng dung lượng, tiết kiệm được số lượng lớn điểm bộ lặp, bộ tái sinh, giảm giá thành của hệ thống. Nó là nền móng cho sự phát triển lâu dài trong tương lai.

Tuy nhiên, khi hoàn thành đồ án này không thể tránh những sai sót nội dung cũng như trong thiết kế.

PHỤ LỤC

CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN: Thiết kế tuyến thông tin sợi quang theo quỹ công suất và thời gian lên

Kết quả khi chạy chương trình

Thiết kế tuyến thông tin sợi quang theo quỹ công suất và thời gian lên

-----Nhập tham số của tuyến-----

Mã truyền dẫn
 RZ
 NRZ

Bước sóng
 1300nm
 1550nm

Tốc độ bit R [Mbit/s]

Số mới hàn n

Số bộ kết nối m

Chiều dài tuyến L [Km]

Công suất nguồn LED [dBm]

Công suất nguồn LD [dBm]

Công suất nguồn LDDM [dBm]

-----Kết quả-----

-----Chọn tuyến-----

LED-DAMO-PIN
 LD-DMTT-APD
 LD-DMDC-PIN
 LD-DMTT-PIN
 LD-DMDC-APD
 LDDM-DMTT-APD
 LDDM-DMDC-APD

Chi phí cho tuyến được chọn

USD

Bảng giá vật liệu cáp quang và phụ kiện

THOÁT **TÍNH TOÁN**

-----Mô phỏng tuyến thông tin sợi quang-----

Thiết kế tuyến thông tin sợi quang theo quỹ công suất và thời gian lên

Nhập tham số của tuyến

Mã truyền dẫn
 RZ
 NRZ

Bước sóng
 1300nm
 1550nm

Tốc độ bit R: [Mbit/s]

Số mới hàn n:

Số bộ kết nối m:

Chiều dài tuyến L: [Km]

Công suất nguồn LED: [dBm]

Công suất nguồn LD: [dBm]

Công suất nguồn LDDM: [dBm]

Kết quả

Không có tổ hợp nào thoả mãn yêu cầu thiết kế.

Chọn tuyến

- LED-DAMO-PIN
- LD-DMTT-APD
- LD-DMDC-PIN
- LD-DMTT-PIN
- LD-DMDC-APD
- LDDM-DMTT-APD
- LDDM-DMDC-APD

Chi phí cho tuyến được chọn

USD

Bảng giá vật liệu cáp quang và phụ kiện

THOÁT TÍNH TOÁN

Mô phỏng tuyến thông tin sợi quang

Thiết kế tuyến thông tin sợi quang theo quỹ công suất và thời gian lên

Thiết kế tuyến thông tin sợi quang theo quỹ công suất và thời gian lên

Nhập tham số của tuyến

Mã truyền dẫn
 RZ
 NRZ

Bước sóng
 1300nm
 1550nm

Tốc độ bit R: [Mbit/s]

Số mới hàn n:

Số bộ kết nối m:

Chiều dài tuyến L: [Km]

Công suất nguồn LED: [dBm]

Công suất nguồn LD: [dBm]

Công suất nguồn LDDM: [dBm]

Kết quả

Tổ hợp LED-DAMO-PIN :Thoả mãn

Chọn tuyến

- LED-DAMO-PIN
- LD-DMTT-APD
- LD-DMDC-PIN
- LD-DMTT-PIN
- LD-DMDC-APD
- LDDM-DMTT-APD
- LDDM-DMDC-APD

Chi phí cho tuyến được chọn

USD

Bảng giá vật liệu cáp quang và phụ kiện

THOÁT TÍNH TOÁN

Mô phỏng tuyến thông tin sợi quang

CODE:

Option Explicit

Public Cp1 As Variant

Public Cp2 As Variant

Public Cp3 As Variant

Public Cp4 As Variant

Public Cp5 As Variant

Public Cp6 As Variant

Public Cp7 As Variant

'Gia thanh cua he thong [USD]

Const a = 40

'Gia mot connector

Const b = 15

'Gia mot moi han

Const c_LD = 15450

'Gia mot bo FLX-600

Const c_LED = 12000

'Gia mot bo FLX-600

Const da = 1200

'Gia mot Km soi da mode

Const dmtt = 1390

'Gia mot Km soi don mode thong thuong

Const dmhc = 1410

'Gia mot Km soi don mode tan sac dich chuyen

Const rack = 1600

Const G_ODF = 120

Const M_8FO = 110

'Mang song noi thang cap

Const e = 2.71814

Const q = 0.5

Const MPIN = 1

Const MAPD = 40

'He so tan sac

Const D1_DAMO = 6

'He so tan sac cua soi DAMO

Const D2_DMDC = 0	'He so tan sac cua soi DAMO
Const D2_DMTT = 18	'He so tan sac cua soi DAMO
'Thoi gian len cua may phat	
Const T_LED = 2	'Thoi gian len cua LED
Const T_LD = 1	'Thoi gian len cua LD
Const T_LDDM = 0.7	'Thoi gian len cua LDDM
'Do rong pho nguon	
Const PH_LED = 3 / 1000	'Do rong pho cua LED
Const PH_LD = 1.5 / 1000	'Do rong pho cua LD
Const PH_LDDM = 1 / 1000	'Do rong pho cua LDDM
'Bang tan soi quang	
Const Bo_DAMO = 1400	'Bang tan soi DAMO
Const Bo_DMTT = 1700	'Bang tan soi DMTT
Const Bo_DMDC = 1700	'Bang tan soi DMDC
Const hs = 0.8	'Hieu suat ghep quang
Const Lc = 0.7	'Suy hao connector
Const Ls = 0.4	'Suy hao moi han
Const Pd = 8	'Cong suat du phong
Const MDP = -27.5	'Do nhay may thu
Const T = 300	'Nhiet do
Const RL = 50	'Dien tro tai
Dim Bmt	'Bang thong may thu
'He so tap am troi	
Const M_PIN = 1	
Const M_APD = 40	

Const KB = 1.38E-23 'Hang so Bonzman
Const BERO = 0.0000000001 'BER danh dinh
Public TH1 As Boolean
Public TH2 As Boolean
Public TH3 As Boolean
Public TH4 As Boolean
Public TH5 As Boolean
Public TH6 As Boolean
Public TH7 As Boolean
Public Brx As Double 'Bang thong cua thiet bi thu
Public bNz As Boolean
Public bLamda1 As Boolean
'Tinh thoi gian len cua to hop
Public Function Calc_Tth(ByVal dTmp As Double, ByVal dD As Double, ByVal
dBo As Double, _
 ByVal dBmt As Double, dP As Double, ByVal dL As Double, _
 ByVal dq As Double) As Double
'dTmp thoi gian len cua may may phat
'dD he so tan xa
'dBo bang tan 1km cap soi soi quang
'dBmt bang tan may thu
'dPH do rong pho nguon phat
'dL chieu dai tuyen
'dq Tham so co gia tri 0.5->1
Dim dTth As Double

```

    dTth = Sqr(sqrt(dTmp) + sqrt(dD * dL * dP) + sqrt(440 * Exp(dq * ln(dL)) /
dBo) _
        + sqrt(350 / dBmt))
    Calc_Tth = Format(dTth, "scientific")
End Function

Public Function Calc_Ts(ByVal dR As Double) As Double
'dR toc do bit
Dim Ts As Double
Dim R As Double
R = dR
If bNz Then
    Ts = (0.35 / R) * 1000
Else
    Ts = (0.7 / R) * 1000
End If
    Calc_Ts = Ts
End Function

Private Sub cmdCalc_Click()
'On Error GoTo ErrorHandler
Const MDP = -27.5           'Do nhay may thu
Const KB = 1.38E-23        'Hang so Bonzman
Const T = 300              'Nhiet do
Const RL = 50              'Tro tai
Const BERo = 0.000000000001
Dim R As Double            'Toc do bit
Dim dL As Double           'dL chieu dai tuyen

```

Dim n As Integer	'So connector
Dim m As Integer	'So moi han
'Cong suat nguon phat	
Dim Ps_LED As Double	
Dim Ps_LD As Double	
Dim Ps_LDDM As Double	
Dim Ts As Double	'Thoi gian len cua he thong
Dim Tth1 As Double	'Thoi gian len cua to hop 1
Dim Tth2 As Double	'Thoi gian len cua to hop 2
Dim Tth3 As Double	'Thoi gian len cua to hop 3
Dim Tth4 As Double	'Thoi gian len cua to hop 4
Dim Tth5 As Double	'Thoi gian len cua to hop 5
Dim Tth6 As Double	'Thoi gian len cua to hop 6
Dim Tth7 As Double	'Thoi gian len cua to hop 7
Dim dPr_LED As Double	'Cong suat quang toi cua to hop 1
Dim dPr_LD As Double	'Cong suat quang toi cua to hop 2
Dim dPr_LDDM As Double	'Cong suat quang toi cua to hop 3
Dim BER1 As Double	
Dim BER2 As Double	
Dim BER3 As Double	
Dim BER4 As Double	
Dim Ip_LED As Double	
Dim Ip_LD As Double	
Dim Ip_LDDM As Double	
Dim SN1 As Double	
Dim SN2 As Double	

```
Dim SN3 As Double
Dim SN4 As Double
Dim q1 As Double      'q1=SN1/2
Dim q2 As Double      'q2=SN2/2
Dim q3 As Double      'q3=SN3/2
Dim q4 As Double
OptTH1.Value = False
OptTH2.Value = False
OptTH3.Value = False
OptTH4.Value = False
OptTH5.Value = False
OptTH6.Value = False
OptTH7.Value = False
txtResult.Text = ""
txtResult1.Text = ""
Ps_LED = CDBl(txtPSLED.Text)
Ps_LD = CDBl(txtPSLD.Text)
Ps_LDDM = CDBl(txtPSLDDM.Text)
dL = CDBl(txtL.Text)
R = CDBl(txtR.Text)
m = CInt(txtm.Text)
n = CInt(txtn.Text)
'Tinh thoi gian len cua he thong
Ts = Calc_Ts(R)
If bLamda1 Then
    'Tinh thoi gian len cua to hop
```

```

Tth1 = Calc_Tth(T_LED, D1_DAMO, Bo_DAMO, 2 * R, PH_LED, dL, q)
'Tinh cong suat quang toi
dPr_LED = Calc_Power(hs, Ps_LED, Pd, m, n, Lc, Ls)
Ip_LED = Calc_Ip(dPr_LED)
SN1 = ((sqrt(Ip_LED) / 2) * sqrt(MPIN) * RL / (4 * KB * T * 2 * R)) /
1E+18
q1 = SN1 / 2
dPr_LED = Calc_Power(hs, Ps_LED, Pd, m, n, Lc, Ls)
Cp2 = 0
Cp3 = 0
Cp4 = 0
Cp5 = 0
Cp6 = 0
Cp7 = 0
If (Tth1 <= Ts) Then
dPr_LED = Calc_Power(hs, Ps_LED, Pd, m, n, Lc, Ls)
If (dPr_LED >= MDP) Then
BER1 = Exp(-sqrt(q1) / 2) / (2 * q1 * Sqr(2 * 3.14))
If (BER1 <= BERo) Then
txtResult.Text = "TỔ hợp LED-DAMO-PIN :Thoả mãn"
Cp1 = a * n + b * m + 2 * c_LED + dL * da + M_8FO + rack + _ODF
Else
txtResult.Text = "Không có tổ hợp nào thoả mãn yêu cầu thiết kế." + _
Chr(13) & Chr(10) & "Tăng công suất của nguồn phát"
Cp1 = 0
Cp2 = 0

```

```
Cp3 = 0
Cp4 = 0
Cp5 = 0
Cp6 = 0
Cp7 = 0
txtResult1.Text = ""
Exit Sub 'Thoat khoi thu tuc tinh toan
End If
Else
txtResult.Text = "Không có tổ hợp nào thoả mãn yêu cầu thiết kế." + _
Chr(13) & Chr(10) & "Tăng công suất của nguồn phát."
txtResult1.Text = ""
Cp1 = 0
Cp2 = 0
Cp3 = 0
Cp4 = 0
Cp5 = 0
Cp6 = 0
Cp7 = 0
Exit Sub 'Thoat khoi thu tuc tinh toan
End If
Else
txtResult.Text = "Không có tổ hợp nào thoả mãn yêu cầu thiết kế." ' + _
Chr(13) & Chr(10) & "Tăng công suất của nguồn phát"
txtResult1.Text = ""
Cp1 = 0
```

$$Cp2 = 0$$

$$Cp3 = 0$$

$$Cp4 = 0$$

$$Cp5 = 0$$

$$Cp6 = 0$$

$$Cp7 = 0$$

Exit Sub 'Thoat khoi thu tuc tinh toan

End If

Else

$$Cp1 = 0$$

$$Tth2 = \text{Calc_Tth}(T_LD, D2_DMTT, Bo_DMTT, 2 * R, PH_LD, dL, q)$$

$$Tth4 = \text{Calc_Tth}(T_LD, D2_DMTT, Bo_DMTT, 2 * R, PH_LD, dL, q)$$

$$Tth3 = \text{Calc_Tth}(T_LD, D2_DMDC, Bo_DMDC, 2 * R, PH_LD, dL, q)$$

$$Tth5 = \text{Calc_Tth}(T_LD, D2_DMDC, Bo_DMDC, 2 * R, PH_LD, dL, q)$$

$$Tth6 = \text{Calc_Tth}(T_LDDM, D2_DMTT, Bo_DMTT, 2 * R, PH_LDDM, dL,$$

q)

$$Tth7 = \text{Calc_Tth}(T_LDDM, D2_DMDC, Bo_DMDC, 2 * R, PH_LDDM, dL,$$

q)

$$dPr_LD = \text{Calc_Power}(hs, Ps_LD, Pd, m, n, Lc, Ls)$$

$$dPr_LDDM = \text{Calc_Power}(hs, Ps_LDDM, Pd, m, n, Lc, Ls)$$

$$Ip_LD = \text{Calc_Ip}(dPr_LD)$$

$$Ip_LDDM = \text{Calc_Ip}(dPr_LDDM)$$

$$SN2 = ((\text{sqrt}(Ip_LD) / 2) * \text{sqrt}(MPIN) * RL / (4 * KB * T * 2 * R)) / 1E+18$$

$$SN3 = ((\text{sqrt}(Ip_LD) / 2) * \text{sqrt}(MAPD) * RL / (4 * KB * T * 2 * R)) / 1E+18$$

$$SN4 = ((\text{sqrt}(Ip_LDDM) / 2) * \text{sqrt}(MAPD) * RL / (4 * KB * T * 2 * R)) /$$

1E+18

```

q2 = SN2 / 2
q3 = SN3 / 2
q4 = SN4 / 2
BER2 = Exp(-sqrt(q2) / 2) / (q2 * Sqr(2 * 3.14))
BER3 = Exp(-sqrt(q3) / 2) / (q3 * Sqr(2 * 3.14))
BER4 = Exp(-sqrt(q4) / 2) / (q4 * Sqr(2 * 3.14))
'Khong co to hop nao thoa man dieu kien Tth<Ts
If (Tth2 >= Ts) And (Tth3 >= Ts) And (Tth6 >= Ts) And (Tth7 >= Ts) Then
    txtResult.Text = "Không có tổ hợp nào thỏa mãn yêu cầu thiết kế."
    txtResult1.Text = ""
    Cp1 = 0
    Cp2 = 0
    Cp3 = 0
    Cp4 = 0
    Cp5 = 0
    Cp6 = 0
    Cp7 = 0
    Exit Sub
End If
'Khong co to hop nao thoa man dieu kien P>MDP
If (dPr_LD <= MDP) And (dPr_LDDM <= MDP) Then
    txtResult.Text = "Không có tổ hợp nào thỏa mãn yêu cầu." + _
        Chr(13) & Chr(10) & "Yêu cầu tăng công suất phát."
    txtResult1.Text = ""
    Cp1 = 0
    Cp2 = 0

```

Cp3 = 0

Cp4 = 0

Cp5 = 0

Cp6 = 0

Cp7 = 0

Exit Sub

End If

'Không có tổ hợp nào thỏa mãn điều kiện BER<BERo

If (BER2 >= BERo) And (BER3 >= BERo) And (BER4 >= BERo) Then

txtResult.Text = "Không có tổ hợp nào thỏa mãn yêu cầu ." + _

Chr(13) & Chr(10) & "Yêu cầu tăng công suất phát."

txtResult1.Text = ""

Cp1 = 0

Cp2 = 0

Cp3 = 0

Cp4 = 0

Cp5 = 0

Cp6 = 0

Cp7 = 0

Exit Sub

End If

If (Tth2 <= Ts) And (dPr_LD >= MDP) And (BER2 <= BERo) Then

txtResult.Text = "Tổ hợp LD-DMTT-APD :Thoả mãn "

Cp2 = a * n + b * m + 2 * c_LD + dL * dmtt + M_8FO + 2 * rack + G_ODF

Else

Cp2 = 0

```

End If
If (Tth5 <= Ts) And (dPr_LD >= MDP) And (BER2 <= BERo) Then
    txtResult.Text = txtResult.Text & Chr(13) & Chr(10) & "TỔ hợp LD-
DMDC-APD    :Thoả mãn"
    Cp5 = a * n + b * m + 2 * c_LD + dL * dmdc + M_8FO + rack + G_ODF
Else
    Cp5 = 0
End If
If (Tth3 <= Ts) And (dPr_LD >= MDP) And (BER3 <= BERo) Then
    txtResult.Text = txtResult.Text & Chr(13) & Chr(10) & "TỔ hợp LD-
DMDC-PIN    :Thoả mãn"
    Cp3 = a * n + b * m + 2 * c_LD + dL * dmdc + M_8FO + rack + 3 * G_ODF
Else
    Cp3 = 0
End If
If (Tth4 <= Ts) And (dPr_LD >= MDP) And (BER3 <= BERo) Then
    txtResult.Text = txtResult.Text & Chr(13) & Chr(10) & "TỔ hợp LD-
DMTT-PIN    :Thoả mãn"
    Cp4 = a * n + b * m + 2 * c_LD + dL * dmtt + M_8FO + rack + 2 * G_ODF
Else
    Cp4 = 0
End If
If (Tth6 <= Ts) And (dPr_LDDM >= MDP) And (BER4 <= BERo) Then
    txtResult.Text = txtResult.Text & Chr(13) & Chr(10) & "TỔ hợp LDDM-
DMTT-APD    :Thoả mãn"

```

```

    Cp6 = a * n + b * m + 2 * c_LD + dL * dmtt + 5 * M_8FO + rack + 3 *
G_ODF
    Else
        Cp6 = 0
    End If
    If (Tth7 <= Ts) And (dPr_LDDM >= MDP) And (BER4 <= BERo) Then
        txtResult.Text = txtResult.Text & Chr(13) & Chr(10) & "TỔ hợp LDDM-
DMDC-APD :Thoả mãn"
        Cp7 = a * n + b * m + 2 * c_LD + dL * dmdc + 4 * M_8FO + rack + 2 *
G_ODF
    Else
        Cp7 = 0
    End If
End If
'ErrorHandle:
'    Resume Next
End Sub
Private Sub cmdExit_Click()
    Unload Me
End Sub
Private Sub Form_Load()
    OptNZ.Value = True
    OptLamda1.Value = True
End Sub
Private Sub OptLamda1_Click()
    bLamda1 = True

```

```

End Sub
Private Sub OptLamda2_Click()
    bLamda1 = False
End Sub
Private Sub OptNRZ_Click()
    bNz = False
End Sub
Private Sub OptNZ_Click()
    bNz = True
End Sub
Public Sub Input_Enable(KeyAscii As Integer)
'Khong cho phep nhap ky tu
    Select Case KeyAscii
        Case Asc("0") To Asc("9"), vbKeyBack, vbKeyDelete
            KeyAscii = KeyAscii
        Case Else
            KeyAscii = 0
    End Select
End Sub
Public Function Calc_Power(ByVal factor As Double, ByVal Ps As Double, _
    ByVal Pd As Double, ByVal m As Integer, _
    ByVal n As Integer, ByVal Lc As Double, ByVal Ls As Double) As
Double
'factor he so
'Ps cong suat nguon phat
'Pd cong suat du phong

```

```
'm so moi han, n so connector
'Ls suy hao moi han
'Lc suy hao connector
Dim po As Double
    po = factor * Ps - (Pd + n * Lc + m * Ls)
    Calc_Power = po
End Function
Private Sub OptTH1_Click()
    txtResult1.Text = Cp1
    If Cp1 = 0 Then
        txtResult1.Text = ""
    End If
End Sub
Private Sub OptTH2_Click()
    txtResult1.Text = Cp2
    If Cp2 = 0 Then
        txtResult1.Text = ""
    End If
End Sub
Private Sub OptTH3_Click()
    txtResult1.Text = Cp3
    If Cp3 = 0 Then
        txtResult1.Text = ""
    End If
End Sub
Private Sub OptTH4_Click()
```

```
txtResult1.Text = Cp4
If Cp4 = 0 Then
    txtResult1.Text = ""
End If
End Sub
Private Sub OptTH5_Click()
    txtResult1.Text = Cp5
    If Cp5 = 0 Then
        txtResult1.Text = ""
    End If
End Sub
Private Sub OptTH6_Click()
    txtResult1.Text = Cp6
    If Cp6 = 0 Then
        txtResult1.Text = ""
    End If
End Sub
Private Sub OptTH7_Click()
    txtResult1.Text = Cp7
    If Cp7 = 0 Then
        txtResult1.Text = ""
    End If
End Sub
Private Sub txtL_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Call Input_Enable(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txtm_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Call Input_Enable(KeyAscii)
End Sub

Private Sub txtn_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Call Input_Enable(KeyAscii)
End Sub

Private Sub txtPSLD_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Call Input_Enable(KeyAscii)
End Sub

Private Sub txtPSLDDM_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Call Input_Enable(KeyAscii)
End Sub

Private Sub txtPSLED_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Call Input_Enable(KeyAscii)
End Sub

Private Sub txtR_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Call Input_Enable(KeyAscii)
End Sub

Public Function sqrt(ByVal a As Double) As Double
    Dim result As Double
    result = a * a
    sqrt = result
End Function

Public Function ln(ByVal da As Double) As Double
    Dim result As Double
    result = Log(da) / Log(e)
```

```
ln = result
End Function
Public Function Calc_Ip(ByVal dpo1 As Double) As Double
'dp1 la cong suat toi
Const qo1 = 1.6E-19    'dien tich
Const c = 300000000#   'Van toc anh sang
Const h = 6.625E-34   'Hang so blang
Const hs = 0.8        'Hieu suat
Dim Ip As Double
If bLamda1 Then
    Ip = (qo1 * Exp(dpo1 * 0.23) * hs * 0.0013) / (c * h)
Else
    Ip = (qo1 * Exp(dpo1 * 0.23) * hs * 0.00155) / (c * h)
End If
    Calc_Ip = Ip
End Function
Private Sub txtResult1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Call Input_Enable(KeyAscii)
End Sub
```