Tổng công ty bưu chính viễn thôngviệt nam
học viện công nghệ bưu chính viễn thông

Nguyễn Vĩnh Nam

Nghiên cứu miền công tác của các photodiode trong hệ thống thông tin quang tốc độ cao

Hà nội, 5-2005

Tổng công ty bưu chính viễn thôngviệt nam
học viện công nghệ bưu chính viễn thông

Nguyễn Vĩnh Nam

Nghiên cứu miền công tác của các photodiode trong hệ thống thông tin quang tốc độ cao

luận văn thạc sĩ kỹ thuật

Người hướng dẫn: TS. Hoàng Văn Võ

Hà nội, 5-2005

Mục lục

Chữ viết tắt và ký hiệu 3

Danh sách các hình vẽ 6

LờI CảM ƠN 8

Lời nói đầu 9

Chương 1. Các phần tử biến đổi quang - điện trong hệ thống thông tin quang 12

1.1. Tổng quan về cấu trúc cơ bản và nguyên lý hoạt động của hệ thống thông tin quang 12

1.1.1. Cấu trúc cơ bản của hệ thống thông tin quang 12

1.1.2. Nguyên lý hoạt động của hệ thống thông tin quang 13

1.2. Các phần tử biến đổi quang-điện 14

1.2.1. Một số yêu cầu đối với các phần tử biến đổi quang-điện 14

1.2.2. PIN-Photodiode 14

1.2.3. Diode quang thác APD 16

1.2.4. Đặc tuyến tĩnh của APD & PIN-Photodiode 17

chương 2. mô hình toán học của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao 21

2.1. Các yếu tố xác lập đặc tính động của PIN–Photodiode và APD 21

2.2. Sơ đồ điện tương đương của PIN – Photodiode và APD 22

2.3. Mô hình toán học của PIN – Photodiode và APD 23

2.3.1. Mô hình truyền dẫn tín hiệu 23

2.3.2. Mô hình nhiễu 24

chương 3. Các tham số truyền dẫn của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao 27

3.1. Hệ số khuyếch đại của APD 27

3.2. Hàm truyền dẫn của PIN- Photodiode và APD 27

3.2.1. Hàm truyền dẫn của PIN- Photodiode 27

3.2.2. Hàm truyền dẫn của APD 28

3.3. Hàm trọng lượng của PIN- Photodiode và APD 29

3.3.1. Hàm trọng lượng của PIN- Photodiode 29

3.3.2. Hàm trọng lượng của APD 29

3.4. Hàm quá độ của PIN- Photodiode và APD 29

3.5. Tín hiệu ra của PIN – Photodiode và APD 30

3.5.1. Truyền dẫn analog *30*
3.5.2. Truyền dẫn số *32*
3.6. Nhiễu của PIN – Photodiode và APD 36
3.6.1. Nhiễu và phân loại nhiễu trong PIN-Photodiode và APD *36*
3.6.2. Công suất các nhiễu trong PIN-Photodiode và APD *37*
3.7. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu 46
3.7.1. Một số khái niệm cơ bản *46*
3.7.2. Truyền dẫn analog *47*
3.7.3. Truyền dẫn số *49*

chương 4. miền công tác của các photodiode 56

4.1 Các điều kiện để xác định miền công tác của các Photodiode 56
4.2. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn analog 59
4.3. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn số 61
4.4. Ví dụ tính toán miền công tác của các Photodiode 64
4.4.1. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn analog *64*
4.4.2. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn số *68*

Kết luận và kiến nghị 74

1. Kết luận 74
2. Kiến nghị 76

Tài liệu tham khảo 78

Phụ lục A: Chương trình tính toán miền công tác của photodiode 79

A.1. Lựa chọn ngôn ngữ lập trình 79
A.2. Giới thiệu chương trình tính toán 80
A.3. Tính toán miền công tác của Photodiode 85
A.3.1. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn analog *85*
A.3.2. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn Digital *86*
*A.*4 Một số hình ảnh mô tả kết quả tính toán 88

Phụ lục B. Chứng minh công thức (4-24) 91

Chữ viết tắt và ký hiệu

η	Hiệu suất lượng tử hoá của PIN– Photodiode/APD.
λ	Bước sóng của ánh sáng.
τ_{APD}	Hằng số thời gian đặc trưng cho quá trình biến đổi quang-điện của APD khi công suất luồng quang biến đổi nhanh thì hằng số thời gian của APD trong quá trình biến đổi quang-điện
$\omega_{g\text{-}APD}$	Tần số góc giới hạn của APD
$\omega_{g\text{-}PIN}$	Tần số góc giới hạn của PIN – Photodiode
τ_{LA}	Hằng số thời gian đặc trưng cho quá trình biến đổi quang-điện của APD
τ_{RC}	Hằng số thời gian đặc trưng cho sự biến đổi quang-điện của APD khi công suất luồng quang biến đổi nhanh
α_n	Hệ số ion hoá điện tử trong vùng quang thác
α_p	Hệ số ion hoá lỗ trống trong vùng quang thác
BER_{cp}	Giá trị xác suất sai lầm bit cho phép (đối với truyền dẫn số) để bảo đảm chất lượng truyền dẫn cho phép của hệ thống.
B_R	Băng tần tạp âm của photodiode
c	Vận tốc ánh sáng ($c = 3.10^8$ m/s).
C_c	Điện dung của lớp tiếp giáp PN,
C_T	Điện trở tải của Photodiode,
e	Điện tích của điện tử ($e = 1{,}602.10^{-19}$ As).
F	Hệ số nhiễu do quá trình quang thác (trong APD).
$F(M)$	Hệ số tạp âm phụ thêm của APD
G_c	Điện dẫn của lớp tiếp giáp PN,
G_T	Điện dẫn tải của Photodiode,
g_T	Hàm trọng lượng của Photodiode
$g_{T\text{-}APD}$	Hàm trọng lượng của APD- Photodiode
$g_{T\text{-}PIN}$	Hàm trọng lượng của PIN- Photodiode
h	Hằng số Plank ($h = 6{,}62.10^{-34}$ Ws^2).
$h(t)$	Hàm quá độ của Photodiode
$H_P(j\omega)$	Hàm truyền dẫn của Photodiode (APD/PIN- Photodiode),
H_T	Hàm truyền dẫn của Photodiode
$H_{T\text{-}APD}$	Hàm truyền dẫn của APD Photodiode hoạt động ở tốc độ cao
$H_{T\text{-}PIN}$	Hàm truyền dẫn của PIN Photodiode hoạt động ở tốc độ cao
$h_{T\text{-}APD}$	Hàm quá độ của APD- Photodiode
$h_{T\text{-}PIN}$	Hàm quá độ của PIN- Photodiode
$i_N(t)$	Dòng nhiễu
i_{nC}	Dòng điện nhiệt trên điện trở lớp tiếp giáp PN,
I_{NL}	Dòng nhiễu lượng tử tín hiệu
i_{nT}	Dòng điện nhiệt trên điện trở tải,
I_P	Dòng photo

I_T	Phổ tín hiệu ra
i_r	Dòng điện rò,
i_T	Dòng điện tối,
$i_T(t)$	Dòng tín hiệu ra của photodiode,
I_{T0}	Phổ tín hiệu ra ở tốc độ thấp
$I_{T0\text{-}APD}$	Phổ tín hiệu ra của APD-Photodiode ở tốc độ thấp
$I_{T0\text{-}PIN}$	Phổ tín hiệu ra của PIN-Photodiode ở tốc độ thấp
$i_{T\text{-}APD}$	Dòng ra của photodiode APD
$i_{T\text{-}PIN}$	Dòng ra của photodiode PIN
$I_V(t)$	Tín hiệu vào (tín hiệu diện)
$\overline{\mathrm{I_T}}$	Giá trị trung bình của dòng điện tối
$\overline{I_r}$	Giá trị trung bình của dòng điện tối
k	Hằng số Bolzomal,
$K(j\omega)$	Hàm truyền dẫn của bộ tiền khuếch đại và một hoặc nhiều bộ khuếch đại điện áp,
$L(j\omega)$	Hàm truyền dẫn của bộ lọc thông thấp.
M	Hệ số khuếch đại của APD.
m	Độ sâu điều chế
n	Tham số phụ thuộc vào vật liệu và cấu trúc của APD.
P_N	Công suất một nguồn nhiễu
$P_{N\Sigma}$	Công suất nhiễu tổng
P_{NL}	Công suất nhiễu lượng tử tín hiệu
P_{NN}	Công suất nhiễu nhiệt
P_{Nr}	Công suất nhiễu dòng điện rò
p_{NT}	Công suất nhiễu dòng điện tối
$P_{P(t)}$	Công suất ánh sáng bức xạ của bộ phát quang
$P_T(t)$	Công suất án sáng truyền đến đầu vào bộ thu quang hoặc biên độ chuỗi xung số
$P_{T\text{-}cpmax}$	Giá trị công suất ánh sáng đầu vào bộ thu quang cho phép cực đại
P_{th}	Công suất của tín hiệu ra photodiode
$\overline{\mathrm{P_T}}$	Giá trị trung bình của công suất ánh sáng đến photodiode
R_D	Điện trở dây nối của Photodiode,
R_T	Điện trở tải của Photodiode,
S/N	Tỷ số tín hiệu trên nhiễu
$(S/N)_{APD}$	Tỷ số tín hiệu trên nhiễu của Photodiode APD
$\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}$	Giá trị tỷ số tín hiệu trên nhiễu cho phép (đối với truyền dẫn analog) để bảo đảm chất lượng truyền dẫn cho phép của hệ thống,
$S_N(j\omega)$	Mật độ công suất phổ của dòng nhiễu
$S_{NN}(j\omega)$	Mật độ công suất phổ của nhiễu nhiệt
$S_{Nr}(j\omega)$	Mật độ công suất phổ của nhiễu dòng rò

$S_{NT}(j\omega)$ Mật độ công suất phổ của nhiễu dòng tối

T Chu kỳ chuỗi xung

T^0 Nhiệt độ tuyệt đối.

T_d Độ rộng xung

U Điện áp đặt vào APD.

U_D Điện áp đánh thủng của APD

$u_r(t)$ Tín hiệu ra bộ thu quang (tín hiệu điện).

$u_r(t)$ Điện áp tín hiệu ra sau bộ lọc.

$u_T(t)$ Điện áp tín hiệu ra của bộ khuếch đại,

$$\alpha(m,\omega)=\frac{b_1}{2am^2}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)\left[1+\frac{m}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\right]$$

$$\beta(m,\omega)=\frac{c}{am^2}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)$$

$$\varepsilon=\frac{1}{m}$$

$$a=\frac{1}{2}H_T^2M^2$$

$$A=a\,m^2$$

$$a^*=a_1\left\{1-\exp\left[-\omega_g\left(t_Q-nT\right)\right]\right\}$$

$$a_1=M\,H_P$$

$$b=2.e.M^{2+x}H_T B_R$$

$$B=-b_1\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)\left[1+\frac{m}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\right]$$

$$b_1^*=b_1\left[(\varepsilon-1)+D(t_Q-nT)\right]$$

$$b_2^*=b_1\left[(\varepsilon-1)+L(t_Q-nT)\right]$$

$$b_1=\frac{1}{2}e\,F(M)\,M^2\,H_T\omega_g$$

$$c=\left[2eM^{2+x}(\overline{I_T}+\overline{I_r})+4kT(G_C+G_T)\right]\;B_R$$

$$C=-c\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)$$

$$D(t_{Q-n}-nT)=\left[1-e^{-2\omega_g(t_{Q-n}-nT)}\right]+L(t_{Q-n}-nT)$$

$$L(t_{Q-n}-nT)=\left(e^{2\omega_g T_d}-1\right)\sum_{i=0}^{n-1}b_i e^{-2\omega_g(t_{Q-n}-iT)}$$

Danh sách các hình vẽ

Hình 1.1. Cấu trúc cơ bản của hệ thống thông tin quang sử dụng bộ lặp đường dây (a) và sử dụng các bộ khuếch đại quang (b) 12
Hình 1.2. Cấu tạo của PIN-Photodiode 15
Hình 1.3. Cấu tạo của APD 17
Hình 1.4. Đặc tuyến tĩnh của PIN – Photodiode & APD 19

Hình 2.1. Sơ đồ điện tương đương của PIN-Photodiode (a) và APD (b) 22
Hình 2.2. Mô hình toán học truyền dẫn tín hiệu của PIN (a), APD (b) 24
Hình 2.3. Mô hình nhiễu của PIN – photodiode (a) và APD (b) 25

Hình 3.1. Tín hiệu ánh sáng tới $p_{T\sim}(t)$ 33

Hình 4.1. Mô hình cấu trúc cơ bản của một bộ thu quang trong truyền dẫn analog 64
Hình 4.2. Miền công tác của Photodiode trong truyền dẫn analog 68
Hình 4.3. Mô hình cấu trúc cơ bản của một bộ thu quang trong truyền dẫn số 69
Hình 4.4. Miền công tác của Photodiode trong truyền dẫn Digital 72

Hình A.1. Lưu đồ chương trình thực hiện tính toán miền công tác của Photodiode 81
Hình A.2. Giao diện chính của chương trình 81
Hình A.3. Cửa sổ lựa chọn các trường hợp tính toán 82
Hình A.4. Cửa sổ giao diện chương trình tính toán xác định miền công tác của photodiode 82
Hình A.5. Cửa sổ chương trình tính toán xác định S/N theo tần số với độ nhạy thu xác định 84
Hình A.6. Minh hoạ toàn bộ chương trình 85

Hình A.7. Kết quả tính toán xác định miền công tác của photodiode trong truyền dẫn analog 88
Hình A.8. Kết quả tính toán xác định S/N theo tần số với độ nhạy thu trong truyền dẫn analog 88
Hình A.9. Kết quả tính toán so sánh các đường đặc độ nhạy thu theo tần số trong truyền dẫn analog 89
Hình A.10. Kết quả tính toán xác định miền công tác của photodiode trong truyền dẫn Digital 89
Hình A.11. Kết quả tính toán xác định S/N theo tần số với độ nhạy thu trong truyền dẫn Digital 90
Hình A.12. Kết quả tính toán so sánh các đường đặc tuyến độ nhạy thu theo tần số trong truyền dẫn Digital 90

LỜI CẢM ƠN

Luận án thạc sĩ kỹ thuật "*Nghiên cứu miền công tác của các photodiode trong hệ thống thông tin quang tốc độ cao*" được hoàn thành trong thời gian đào tạo, nghiên cứu tại Học viện công nghệ Bưu chính Viễn thông - Tổng Công ty Bưu chính Viễn thông Việt Nam. Để có được kết quả này, trước hết tôi xin trân trọng cảm ơn TS. Hoàng Văn Võ đã tạo điều kiện, giúp đỡ, tận tình hướng dẫn, giải quyết những vấn đề khoa học trong quá trình thực hiện luận án.

Tôi xin trân trọng cảm ơn Tổng Công ty Bưu chính Viễn thông Việt Nam (VNPT), Học viện công nghệ Bưu chính Viễn thông (PTIT), Viện Khoa học kỹ thuật Bưu điện (RIPT) đã tạo điều kiện, cho phép tôi được tham gia khóa đào tạo nghiên cứu.

Tôi xin chân thành cảm ơn các thầy cô giáo đã truyền thụ những kiến thức bổ ích trong suốt khoá học, các thầy cô giáo Khoa Quốc tế và đào tao sau đại học đã tạo mọi điều kiện tốt nhất để chúng tôi hoàn thành khoá học

Tôi xin chân thành cảm ơn lãnh đạo Học viện, lãnh đạo Viện KHKT Bưu điện, lãnh đạo và tập thể các CBCNV trong phòng Quản lý NCKH&TTTL – Học viện CNBCVT, lãnh đạo và tập thể các CBCNV trong phòng NCKT Thông tin quang - Viện KHKT Bưu điện đã dành cho tôi sự ủng hộ quý giá.

Tôi xin chân thành cảm ơn tất cả các nhà chuyên gia, khoa học, đồng nghiệp đã dành thời gian đọc và góp ý hoàn thiện cho luận án.

Cuối cùng, tôi xin cảm ơn mẹ, vợ và con tôi, cùng tất cả những người thân trong gia đình và bạn bè, đồng nghiệp đã luôn dành cho tôi sự ủng hộ nhiệt tình, cổ vũ, động viên để tôi có điều kiện hoàn thành bản luận án này.

Hà Nội, ngày 18 tháng 05 năm 2005

Nguyễn Vĩnh Nam

Lời nói đầu

Ngày nay, thế giới đang bước sang kỷ nguyên của nền kinh tế tri thức, trong đó thông tin là động lực thúc đẩy sự phát triển của xã hội. Do đó, nhu cầu truyền thông ngày càng lớn với nhiều dịch vụ mới băng rộng và đa phương tiện trong đời sống kinh tế – xã hội của từng quốc gia cũng như kết nối toàn cầu.

Để đáp ứng được vai trò động lực thúc đẩy sự phát triển của kỷ nguyên thông tin, mạng truyền thông cần phải có khả năng truyền dẫn tốc độ cao, băng thông rộng, dung lượng lớn. Một trong giải pháp để tạo ra mạng truyền thông có khả năng truyền dẫn tốc độ cao hay băng rộng với dung lượng lớn và đa dịch vụ, đó là công nghệ truyền dẫn thông tin quang tốc độ cao.

Khi truyền dẫn tín hiệu có tốc độ cao hay băng tần rộng, thì quá trình biến đổi điện – quang của các phần tử phát quang (LED, LD) và quá trình biến đổi quang-điện của các phần tử thu quang (PIN-Photodiode, APD) không tuân theo đặc tuyến tĩnh của nó nữa, mà là hàm số của tần số (đó chính là quá trình biến đổi động của các phần tử phát và thu quang). Khi tốc độ truyền dẫn càng lớn và do đó tần số truyền dẫn của hệ thống càng cao, thì ảnh hưởng của quá trình biến đổi động của các phần tử phát và thu quang đến chất lượng truyền dẫn càng lớn.

Cũng như tất cả các hệ thống viễn thông khác, trong hệ thống thông tin quang một trong những tham số truyền dẫn có tính chất quyết định chất lượng của hệ thống, đó là tỷ số tín hiệu trên nhiễu (đối với truyền dẫn analog) hoặc BER (đối với truyền dẫn số). Để bảo đảm chất lượng truyền dẫn cho phép thì tỷ số tín hiệu trên nhiễu của hệ thống hệ thống thông tin quang (đối với truyền dẫn analog) cần phải lớn hơn một giá trị cho trước hoặc BER (đối với truyền dẫn số) cần phải nhỏ hơn một giá trị cho trước, các giá trị này đã được ITU-T khuyến nghị.

Tham số tỷ số tín hiệu trên nhiễu (đối với truyền dẫn analog) hoặc BER (đối với truyền dẫn số) của hệ thống hệ thống thông tin quang được xác định thông qua các phần tử phát quang, thu quang và sợi quang trong hệ thống. Để hệ thống bảo đảm tỷ số tín hiệu trên nhiễu (đối với truyền dẫn analog) lớn hơn một giá trị cho trước hoặc BER (đối với truyền dẫn số) nhỏ hơn một giá trị cho trước, trước hết các phần tử phát quang, thu quang và sợi quang trong hệ thống cũng phải bảo đảm tỷ số tín hiệu trên nhiễu (đối với truyền dẫn analog) lớn hơn một giá trị cho trước hoặc BER (đối với truyền dẫn số) nhỏ hơn một giá trị cho trước.

Khi truyền dẫn tín hiệu có tốc độ cao hay băng tần rộng, thì tỷ số tín hiệu trên nhiễu (đối với truyền dẫn analog) hoặc BER (đối với truyền dẫn số) của các bộ thu quang không chỉ là hàm số của các tham số cấu trúc mà còn là hàm số của các tham số tín hiệu truyền dẫn tại đầu vào các Photodiode (biên độ và tần số/tốc độ bit của ánh sáng tới).

Vì vậy, cần phải xem xét với điều kiện nào của tín hiệu truyền dẫn tại đầu vào các Photodiode trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao để tỷ số tín hiệu trên nhiễu của Photodiode (đối với truyền dẫn analog) lớn hơn một giá trị cho trước hoặc BER (đối với truyền dẫn số) nhỏ hơn một giá trị cho trước. Giải quyết vấn đề này, sẽ dẫn ta đến việc xác định miền công tác của các Photodiode.

Miền công tác của Photodiode là tập hợp các giá trị (các tham số) của tín hiệu đầu vào Photodiode trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao để tỷ số tín hiệu trên nhiễu của Photodiode (đối với truyền dẫn analog) lớn hơn một giá trị cho trước hoặc BER (đối với truyền dẫn số) nhỏ hơn một giá trị cho trước.

Do đó, việc nghiên cứu xác định được miền công tác của các Photodiode trong hệ thống thông tin quang tốc độ cao là một vấn đề cấp thiết.

Để thực hiện mục tiêu đó, đề tài "Nghiên cứu miền công tác của các photodiode trong hệ thống thông tin quang tốc độ cao" đã được đặt ra và một

chương trình máy tính xác định được miền công tác của các photodiode trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao. Trên cơ sở nghiên cứu đó, đề tài cung cấp các cơ sở khoa học, công cụ tính toán hỗ trợ cho các nhà tính toán thiết kế các hệ thống thông tin quang lựa chọn tối ưu các phần tử của hệ thống hay sử dụng hiệu quả các phần tử thông tin quang hiện có.

Để đạt được mục tiêu đó, đề tài đã thực hiện các nội dung chính sau đây:

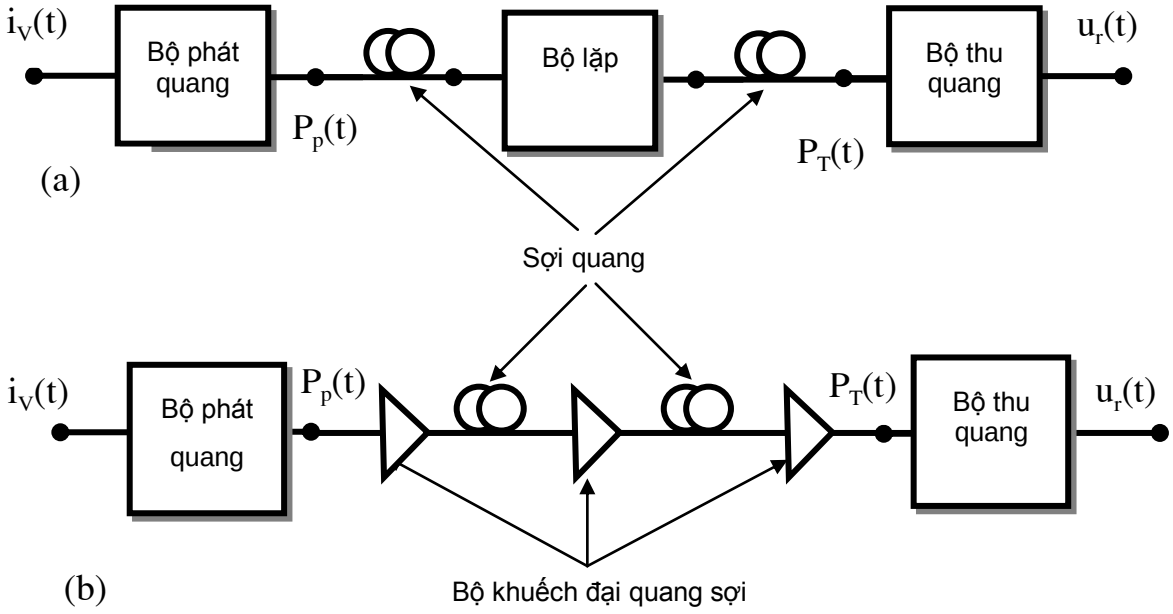
- *Các phần tử biến đổi quang điện trong hệ thống thông tin quang*
- *Mô hình toán học của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao*
- *Các tham số truyền dẫn của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao*
- *Miền công tác của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao*
- *Chương trình phần mềm xác định miền công tác của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao*

Chương 1. Các phần tử biến đổi quang - điện trong hệ thống thông tin quang

1.1. Tổng quan về cấu trúc cơ bản và nguyên lý hoạt động của hệ thống thông tin quang

1.1.1. Cấu trúc cơ bản của hệ thống thông tin quang

Cấu trúc cơ bản của một hệ thống thông tin quang được chỉ ra ở hình 1.1.



Hình 1.1. Cấu trúc cơ bản của hệ thống thông tin quang sử dụng bộ lặp đường dây (a) và sử dụng các bộ khuếch đại quang (b)

Trong đó: $I_V(t)$: tín hiệu vào (tín hiệu diện)

$P_{P(t)}$: Công suất ánh sáng bức xạ của bộ phát quang

$P_T(t)$: Công suất án sáng truyền đến đầu vào bộ thu quang

$u_r(t)$: Tín hiệu ra bộ thu quang (tín hiệu điện).

Cấu trúc cơ bản của hệ một thống thông tin quang bao gồm các phần tử chủ yếu sau: bộ phát quang, bộ thu quang, sợi quang, các bộ khuếch đại quang và các thiết bị lặp.

Ngoài ra, tuỳ theo các điều kiện và các nhu cầu cụ thể trên các tuyến thông tin quang người ta còn sử dụng các bộ khuếch đại quang sợi, các bộ bù tán sắc hoặc các bộ tách ghép bước sóng quang,...

1.1.2. Nguyên lý hoạt động của hệ thống thông tin quang

- Bộ phát quang: biến đổi tín hiệu vào $i_V(t)$ thành tín hiệu ánh sáng $P_p(t)$ để ghép vào sợi quang. Quá trình này gọi là điều biến/ hay điều chế quang.
- Sợi quang: truyền dẫn ánh sáng từ đầu phát đến đầu thu

  Trong quá trình truyền ánh sáng trong sợi quang, ánh sáng bị suy hao và bị tán sắc. Cự ly truyền dẫn càng dài thì ánh sáng càng bị suy hao và tán sắc. Với các tuyến truyền dẫn dài, thì ánh sáng truyền đến đầu thu $P_T(t)$ bị suy giảm lớn và tán sắc lớn nên không đảm bảo để bộ thu khôi phục lại tín hiệu truyền dẫn ban đầu. Do đó, trên tuyến truyền dẫn người ta thường mắc các bộ khuếch đại quang (hình 1.1.a). Khi các tuyến truyền dẫn khá dài, người ta còn phải mắc các bộ lặp đường dây (hình 1.1.b) hoặc kết hợp cả hai bộ khuếch đại quang và bộ lặp đường dây.
- Các bộ lặp (đối với truyền dẫn số) hay các bộ tái sinh tín hiệu (đối với truyền dẫn analog): tái tạo lại tín hiệu do suy hao và các tác động khác của đường truyền.
- Bộ thu quang: biến đổi ánh sáng tới $P_T(t)$ trở thành tín hiệu điện $u_r(t)$. Tín hiệu $u_r(t)$ có dạng giống như tín hiệu truyền dẫn ban đầu $i_V(t)$. Tuy nhiên, có thể có tạp âm và méo kèm theo (đối với truyền dẫn analog) hoặc lỗi bít (đối với truyền dẫn số).

1.2. Các phần tử biến đổi quang-điện

1.2.1. Một số yêu cầu đối với các phần tử biến đổi quang-điện

Trong kỹ thuật thông tin quang, các phần tử biến đổi điện-quang sử dụng trong cần phải thoả mãn một số yêu cầu cơ bản sau:

- Thời gian đáp ứng nhanh,
- Độ nhạy và hiệu suất biến đổi quang điện cao,
- Nhiễu thấp,
- Điều kiện ghép với sợi quang thuận tiện,
- Kích thước nhỏ.

Để đáp ứng các yêu cầu trên, trong kỹ thuật thông tin quang, người ta thường sử dụng các phần tử biến đổi quan-điện:

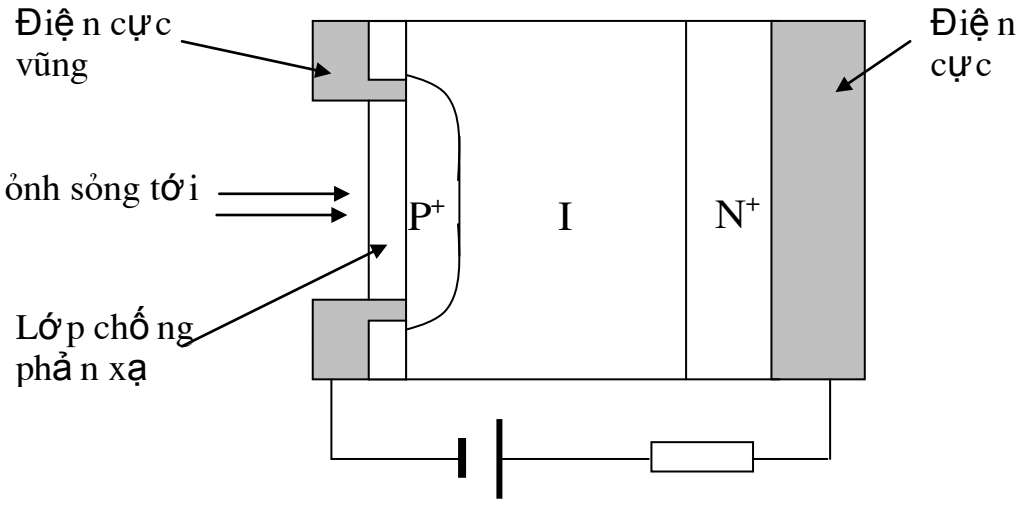
- PIN-Photodiode và
- Diode quang thác APD.

Dưới đây chúng ta sẽ nghiên cứu nguyên lý biến đổi quang-điện, cấu tạo và tính chất của các phần tử này [1, 2, 4, 7, 8, 9].

1.2.2. PIN-Photodiode

❖ Cấu tạo

Nguyên tắc biến đổi quang-điện của PIN-Photodiode dựa vào nguyên lý biến đổi quang-điện của lớp tiếp giáp p-n được phân cực ngược. Cấu trúc cơ bản của PIN-Photodiode được chỉ ra ở hình 1.2



Hình 1.2. Cấu tạo của PIN-Photodiode

Cấu tạo của PIN-Photodiode bao gồm:

- Một tiếp giáp gồm 2 bán dẫn tốt là P^+ và N^+ làm nền, ở giữa có một lớp mỏng bán dẫn yếu loại N hay một lớp tự dẫn I (Intrisic).
- Trên bề mặt của lớp bán dẫn P^+ là một điện cực vòng (ở giữa để cho ánh sáng thâm nhập vào miền I).
- Đồng thời trên lớp bán dẫn P^+ có phủ một lớp mỏng chất chống phản xạ để tránh tổn hao ánh sáng vào.
- Điện áp phân cực ngược để cho dio de không có dòng điện (chỉ có thể có một dòng ngược rất nhỏ, gọi là dòng điện tối).

❖ Nguyên lý hoạt động:

Khi các photon đi vào lớp P^+ có mức năng lượng lớn hơn độ rộng của dải cấm, sẽ sinh ra trong miền P^+, I, N^+ của PIN-Photodiode các cặp điện tử và lỗ trống (chủ yếu ở lớp I).

Các điện tử và lỗ trống trong miền I vừa được sinh ra bị điện trường mạnh hút về hai phía (điện tử về phía N^+ vì có điện áp dương, lỗ trống về miền P^+ vì có điện áp âm).

Mặt khác, các điện tử mới sinh ra trong miền P^+ khuếch tán sang miền I nhờ gradien mật độ tại tiếp giáp P^+I, rồi chạy về phía N^+ vì có điện áp dương và lỗ trống mới sinh ra trong miền N^+ khuếch tán sang miền I nhờ gradien mật độ tại tiếp giáp N^+I, rồi chạy về phía về miền P^+ vì có điện áp âm.

Tất cả các phần tử này sinh ra ở mạch ngoài của PIN-Photodiode một dòng điện và trên tải một điện áp.

Có một số điện tử và lỗ trống không tham gia vào quá trình tạo ra dòng điện ngoài, vì chúng được sinh ra ở miền P^+ và N^+ ở cách xa các lớp tiếp giáp P^+I và N^+I không được khuếch tán vào miền I (do ở khoảng cách xa hơn độ dài

khuếch tán của động tử thiểu số), nên chúng lại tái hợp với nhau ngay trong các miền P^+ và N^+.

Trong trường hợp lý tưởng, mỗi photon chiếu vào PIN-Photodiode sẽ sinh ra một cặp điện tử và lỗ trống và giá trị trung bình của dòng điện ra tỷ lệ với công suất chiếu vào. Nhưng thực tế không phải như vậy, vì một phần ánh sáng bị tổn thất do phản xạ bề mặt.

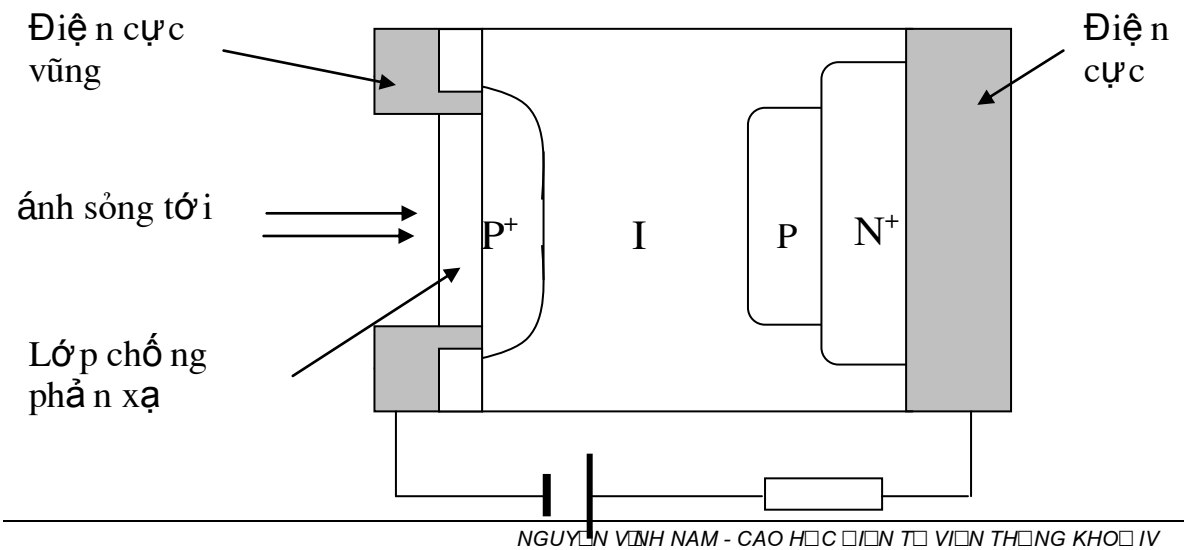
Khả năng thâm nhập của ánh sáng vào các lớp bán dẫn thay đổi theo bước sóng. Vì vậy, lớp P^+ không được quá dầy. Miền I càng dầy thì hiệu suất lượng tử càng lớn, vì xác suất tạo ra các cặp điện tử và lỗ trống tăng lên theo độ dầy của miền này và do đó các photon có nhiều khả năng tiếp xúc với các nguyên tử hơn. Tuy nhiên, trong truyền dẫn số độ dài của xung ánh sáng đưa vào phải đủ lớn hơn thời gian trôi T_d cần thiết để các phần tử mang điện chạy qua vùng trôi có độ rộng d của miền I. Do đó, d không được lớn quá vì như thế tốc độ bit sẽ bị giảm đi.

Khi bước sóng ánh sáng tăng thì khả năng đi qua bán dẫn cũng tăng lên, ánh sáng có thể đi qua bán dẫn mà không tạo ra các cặp điện tử và lỗ trống. Do đó, với các vật liệu phải có một bước sóng tới hạn.

1.2.3. Diode quang thác APD

❖ Cấu tạo

Cấu trúc cơ bản của APD được chỉ ra ở hình 1.3.



Hình 1.3. Cấu tạo của APD

Cấu tạo của APD cơ bản giống như PIN-Photodiode. Ngoài ra trong APD còn có một lớp bán dẫn yếu P được xen giữa lớp I và lớp N^+. Bên trái lớp I bị giới hạn bởi lớp P^+, còn bên phải lớp I bị giới hạn bởi tiếp giáp PN^+.

Điện áp phân cực ngược đặt vào APD rất lớn, tới hàng trăm vôn.

Điện trường thay đổi theo các lớp được chỉ ra bởi hình (b). Trong vùng I, điện trường tăng chậm, nhưng trong tiếp giáp PN^+ điện trường tăng rất nhanh. Lớp tiếp giáp PN^+ là miền thác, ở đây xảy ra quá trình nhân điện tử.

❖ Nguyên lý hoạt động:

Do APD được đặt một điện áp phân cực ngược rất lớn, tới hàng trăm vôn, cho nên cường độ điện trường ở miền điện tích không gian tăng lên rất cao.

Do đó, khi các điện tử trong miền I di chuyển đến miền thác PN^+ chúng được tăng tốc, va chạm vào các nguyên tử giải phóng ra các cặp điện tử và lỗ trống mới, gọi là sự ion hoá do va chạm.

Các phần tử thứ cấp này đến lượt mình lại tạo ra sự sự ion hoá do va chạm thêm nữa, gây lên hiệu ứng quang thác và làm cho dòng điện tăng lên đáng kể.

Thông qua hiệu ứng quang thác này mà với cùng một số lượng photon tới, APD giải phóng ra các điện tử nhiều hơn rất nhiều lần so với PIN-Photodiode.

1.2.4. Đặc tuyến tĩnh của APD & PIN-Photodiode

Đặc tuyến tĩnh của PIN – Photodiode & APD là đặc tuyến mô tả mối quan hệ giữa dòng ra của photodiode và công suất quang một chiều hay công suất quang có tốc độ biến đổi chậm đưa vào photodiode.

Để xác định được mối quan hệ giữa dòng ra của photodiode và công suất quang một chiều hay công suất quang có tốc độ biến đổi chậm đưa vào Photodiode, trước hết cần xác định được dòng pho to của các photodiode (dòng photo chính là dòng do các photon trực tiếp tạo ra).

❖ Dòng photo của PIN – Photodiode & APD

Khi các photon đi vào PIN – Photodiode và APD tạo ra các cặp Điện tử & Lỗ trống, dưới tác dụng của điện trường ngoài, các phần từ này sinh ra ở mạch ngoài một dòng điện. Đó chính là dòng photo của PIN – Photodiode/APD.

Dòng photo I_P của PIN – Photodiode/APD được xác theo công thức:

$$I_P = H_T P_T \quad (1\text{-}1)$$

Trong đó: $$H_T = \eta \frac{\lambda e}{hc} \quad (1\text{-}2)$$

gọi là hệ số biến đổi quang - điện của photodiode.

P_T: là công suất ánh sáng chiếu vào photodiode

$$\eta = \frac{\textit{Số cặp Điện tử \& Lỗ trống sinh ra}}{\textit{Số photon hấp thụ}} \quad (1\text{-}3)$$

là hiệu suất lượng tử hoá của PIN– Photodiode/APD.

λ: bước sóng của ánh sáng.

e: điện tích của điện tử ($e = 1{,}602.10^{-19}$ As).

h: hằng số Plank ($h = 6{,}62.10^{-34}$ Ws^2).

c: vận tốc ánh sáng ($c = 3.10^8$ m/s).

❖ Dòng ra của PIN – Photodiode & APD

- **Đối với PIN- Photodiode**

PIN- Photodiode là photodiode không có hiệu ứng quang thác, do đó dòng ra của nó chính là dòng photo, tức là:

$$i_{T\text{-}PIN} = i_P = H_T P_T \quad (1\text{-}5)$$

- **Đối với APD**

Đối với APD, do có hiệu ứng quang khác mà dòng ra của APD được tăng lên M lần, tức là:

$$i_{T\text{-}APD} = Mi_P = MH_T P_T \,, \quad (1\text{-}6)$$

Trong đó:

$$M = \frac{i_T}{i_P} = \frac{1}{1-\left(\frac{U}{U_D}\right)^n} \quad (1\text{-}7)$$

là hệ số khuyếch đại của APD,

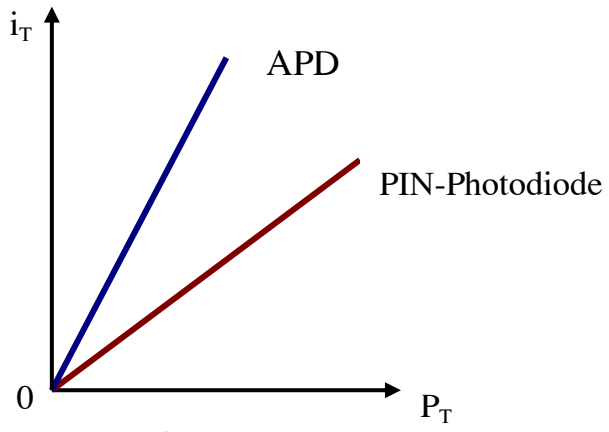
U : điện áp đặt vào APD.

U_D: điện áp đánh thủng của APD

n: nhận các giá trị từ 1,5 ÷ 6, tuỳ thuộc vào vật liệu và cấu trúc của APD.

❖ Đặc tuyến tĩnh của PIN – Photodiode & APD

Từ các công thức (1-5) và (1-6), người ta xác định được đặc tuyến tĩnh của PIN- Photodiode & APD theo hình 1.4.



Hình 1.4. Đặc tuyến tĩnh của PIN – Photodiode & APD

Vì tín hiệu truyền dẫn (công suất ánh sáng) đến bộ thu quang bị suy hao rất lớn bởi đường truyền, nên cường độ ánh sáng tại đầu bộ thu quang thường rất nhỏ. Vì vậy, tính phi tuyến của bộ thu quang thường bỏ qua và đặc tuyến tĩnh của PIN- Photodiode và APD là những đường thẳng. Tuy nhiên, vì có hiệu ứng quang thác nên độ dốc của đặc tuyến tĩnh của APD lớn hơn của PIN-Photodiode.

chương 2. mô hình toán học của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao

Khi truyền dẫn tín hiệu có tốc độ cao, quá trình biến đổi quang-điện của các phần tử thu quang (PIN-Photodiode, APD) không tuân theo đặc tuyến tĩnh của nó nữa, mà là hàm số của tần số. Đó chính là quá trình biến đổi động của các phần tử thu quang.

2.1. Các yếu tố xác lập đặc tính động của PIN–Photodiode và APD

Trong cấu tạo của PIN - Photodiode và APD luôn tồn tại các thành phần:

- Điện dung lớp điện tích không gian (lớp tiếp giáp của các lớp P và N) trong PIN - Photodiode & APD
- Các hiệu ứng ký sinh của PIN – Photodiode & APD, ...

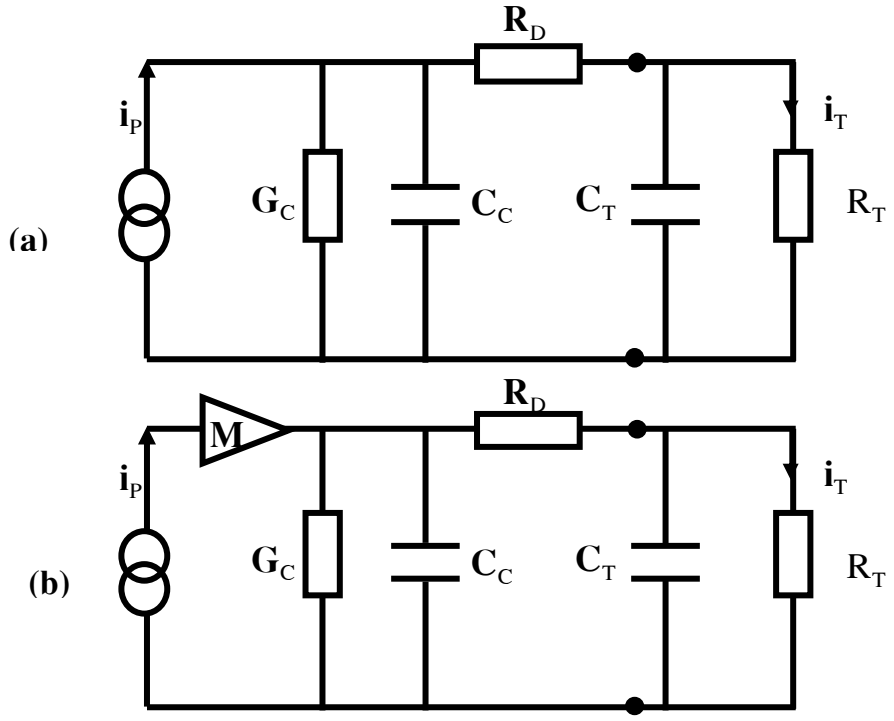
Khi PIN - Photodiode và APD hoạt động ở khu vực tần số thấp (thường nhỏ hơn 1 GHz), tức là khi tín hiệu truyền dẫn là những chuỗi xung có tốc độ bít thấp (đối với truyền dẫn số) hay có tần số thấp (đối với truyền dẫn analog), thì ảnh hưởng của điện dung tiếp giáp của các lớp P – N trong PIN - Photodiode & APD và các hiệu ứng ký sinh có thể bỏ qua trong quá trình biến đổi quang-điện của PIN-Photodiode và APD. Khi đó, dòng photo tạo ra của PIN-Photodiode và APD chỉ là hàm số của cường độ ánh sáng chiếu vào APD & PIN- Photodiode và nó được xác định theo đặc tuyến biến đổi quang-điện tĩnh của PIN- Photodiode và APD (hình 1.4).

Khi PIN-Photodiode và APD hoạt động ở khu vực tần số cao (thường lớn hơn 1 GHz), tức là khi tín hiệu truyền dẫn là những chuỗi xung có tốc độ bít cao (đối với truyền dẫn số) hay có tần số cao (đối với truyền dẫn analog), thì ảnh hưởng của điện dung tiếp giáp của các lớp P – N trong APD & PIN - Photodiode và các hiệu ứng ký sinh sẽ ảnh hưởng đáng kể đến quá trình biến đổi quang-điện của APD & PIN– Photodiode [2, 4]. Khi đó, dòng photo tạo ra của APD & PIN- Photodiode không xác định theo đặc tuyến biến đổi quang-điện tĩnh của APD & PIN–Photodiode nữa và nó được xác định theo một hàm

số không chỉ của cường độ ánh sáng chiếu vào APD & PIN–Photodiode, mà nó còn là hàm số của tần số. Quá trình biến đổi quang-điện của APD & PIN-Photodiode không chỉ phụ thuộc vào cường độ lớn của công suất ánh sáng chiếu vào photodiode, mà còn phụ thuộc vào tần số gọi là quá trình biến động của PIN- Photodiode và APD. Như vậy, đặc tính biến đổi quang-điện của PIN-Photodiode & APDphụ thuộc rất nhiều vào các tham số của công suất ánh sáng chiếu vào.

Ngày nay, người ta thường sử dụng kỹ thuật truyền dẫn thông tin quang tốc độ cao để xây dựng các tuyến siêu xa lộ thông tin phục vụ cho nhu cầu trao đổi thông tin và phát triển nền kinh tế quốc dân. Trong kỹ thuật truyền dẫn thông tin quang, với tốc độ nhỏ hơn hoặc bằng 5 Gbit/s người ta thường sử dụng các phần tử biến đổi quang-điện là APD & PIN - Photodiode. Khi đó, quá trình biến đổi quang-điện của APD & PIN-Photodiode trong trường hợp này là những quá trình biến đổi động.

2.2. Sơ đồ điện tương đương của PIN – Photodiode và APD



Hình 2.1. Sơ đồ điện tương đương của PIN-Photodiode (a) và APD (b)

Khi công suất luồng quang biến đổi nhanh (tần số của luồng quang cao - đối với tuyến dẫn analog hay tốc độ bit/s - đối với truyền dẫn số) thì điện dung của lớp chắn, các hiệu ứng ký sinh của photodiode sẽ ảnh hưởng đáng kể đến quá trình biến đổi quang-điện của photodiode. Quá trình biến đổi quang-điện trong trường hợp này của photodiode gọi là quá trình biến đổi động của nó.

Quá trình biến đổi quang-điện động của PIN - Photodiode & APD được diễn tả bởi các sơ đồ điện tương đương hình 2.1

Trong đó :

i_p- Dòng photo,

G_c - Điện dẫn của lớp tiếp giáp PN,

C_c - Điện dung của lớp tiếp giáp PN,

G_T - Điện dẫn tải của Photodiode,

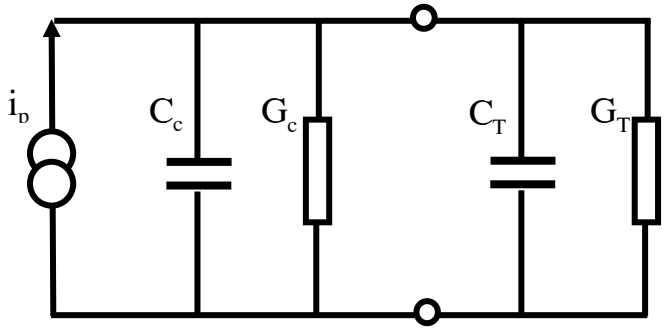
C_T - Điện dung tải của Photodiode,

R_D - Điện trở dây nối của Photodiode,

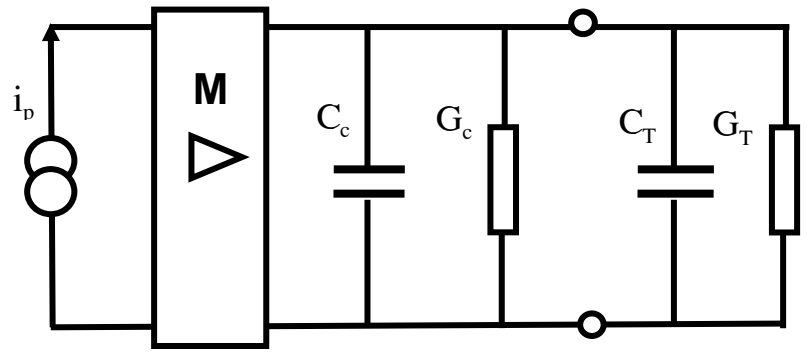
M – Hệ số khuếch đại của APD.

2.3. Mô hình toán học của PIN – Photodiode và APD

2.3.1. Mô hình truyền dẫn tín hiệu



(a)



(b)

Hình 2.2. Mô hình toán học truyền dẫn tín hiệu của PIN (a), APD (b)

Trong kỹ thuật thông tin quang, người ta thường sử dụng PIN-Photodiode và APD chất lượng cao, R_D rất nhỏ, có thể bỏ qua ($R_D = 0$). Do đó, từ các sơ đồ điện tương đương ta xác định được mô hình toán học mô tả quá trình động truyền dẫn tín hiệu của PIN- Photodiode và APD (hình 2.2).

2.3.2. Mô hình nhiễu

Trong quá trình biến đổi quang-điện của PIN- Photodiode và APD còn xuất hiện các nhiễu.

Nhiễu của một phần tử biến đổi quang-điện bao gồm các nhiễu cơ bản sau:

- Nhiễu lượng tử tín hiệu,
- Nhiễu dòng điện tối,
- Nhiễu dòng dò,
- Nhiễu nhiệt,
- Nhiễu do hiệu ứng quang thác sinh ra (chỉ có ở APD).

* Nhiễu lượng tử tín hiệu sinh ra trong quá trình giải phóng ra các cặp điện tử – lỗ trống do các photon chiếu vào photodiode. Các photon chiếu vào photodiode là độc lập thống kê và có phân bố Poispon. Mỗi photon với một xác suất nhất định giải phóng ra một cặp Điện tử & Lỗ trống. Do đó, các điện tử được giải phóng cũng độc lập thống kê và có phân bố Poisson. Vì vậy dòng ra của photodiode có chứa nhiễu. Nhiễu đó gọi là nhiễu lượng tử tín hiệu.

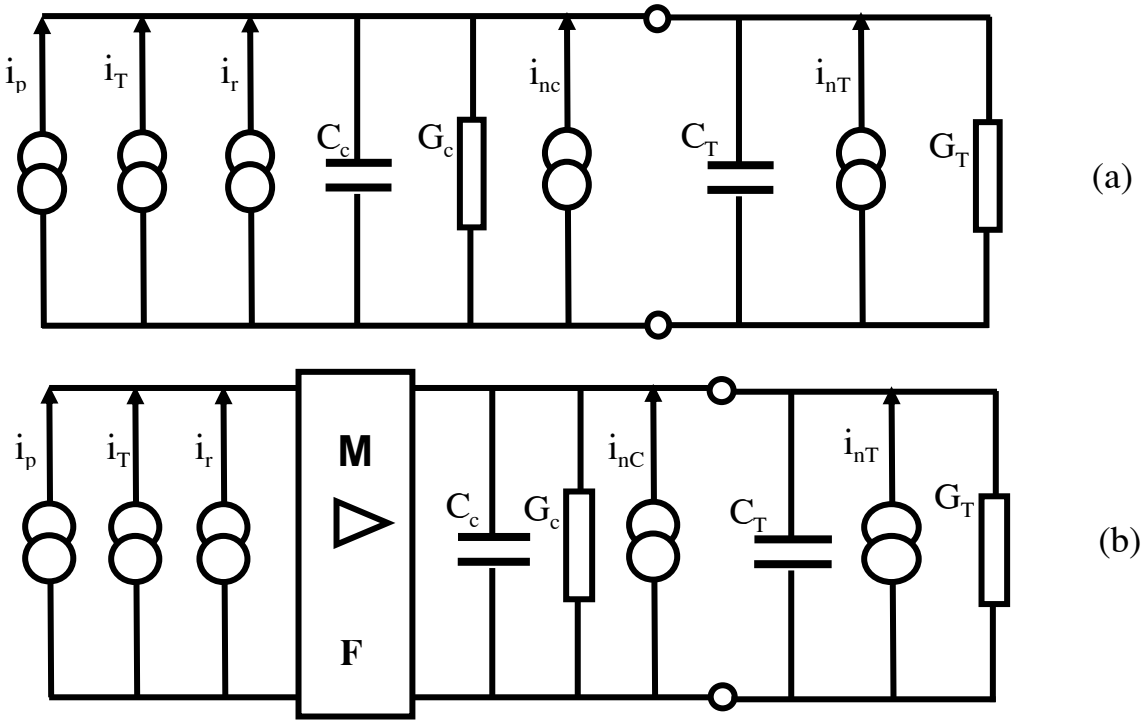
* Dòng điện tối là dòng điện do các dòng sau tạo nên:

- Các điện tích được tạo ra do nhiệt độ trong lớp I của photodiode,
- Các dòng điện bề mặt,
- Các động tử thiểu số tạo ra do nhiệt tử các lớp p và n trôi về lớp I.

Dòng điện tối gồm rất nhiều xung không có quy luật. Người ta chỉ xác định được trị hoặc dụng của nó, phổ biên độ của chúng bằng phẳng ở mọi tần số.

* Dòng điện rò là do các tia sáng phía trong và ánh sáng bên cạnh tạo ra.
* Dòng điện nhiễu nhiệt xuất hiện trong một điện trở, ví dụ điện trở lớp chắn, điện trở tải, do chuyển động nhiệt của các điện tử trong điện trở tạo ra.
* Đối với APD, trong quá trìng quang thác xuất hiện một tạp âm do hiệu ứng quang thác sinh ra. Nhiễu này phụ thuộc vào hệ số khuyếch đại và tỷ lệ với tỷ số giữa hệ số ion hoá lỗ trống và hệ số ion hoá điện tử trong vùng khuyếch đại quang thác. Nhiễu do hiệu ứng quang thác được đặc trưng qua hệ số tạp âm F.

Do đó, từ các sơ đồ điện tương đương ta xác định được mô hình toán học mô tả quá trình động truyền dẫn tín hiệu của PIN- Photodiode và APD (hình 2.2).



Hình 2.3. Mô hình nhiễu của PIN – photodiode (a) và APD (b)

Trong đó :

G_c - Điện dẫn của lớp tiếp giáp PN,

C_c - Điện dung của lớp tiếp giáp PN,

G_T - Điện dẫn tải của Photodiode,

R_T - Điện trở tải của Photodiode,

i_p - Dòng photo,

i_T - Dòng điện tối,

i_r - Dòng điện rò,

i_{nC} - Dòng điện nhiệt trên điện trở lớp tiếp giáp PN,

i_{nT} - Dòng điện nhiệt trên điện trở tải,

F - Hệ số nhiễu do quá trình quang thác (trong APD).

chương 3. Các tham số truyền dẫn của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao

3.1. Hệ số khuyếch đại của APD

Khi công suất luồng quang biến đổi nhanh, hệ số khuếch đại của APD được xác định theo công thức:

$$M(j\omega) = \frac{M}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_{LA}}} \tag{3-1}$$

Trong đó: M được xác định ở công thức (1-7)

$$\omega_{LA} = \frac{1}{(M-1)\tau_{LA}} \tag{3-2}$$

τ_{LA} là hằng số thời gian đặc trưng cho quá trình biến đổi quang-điện của APD, nó có giá trị 0,8 ps đối với Si-APD và 5ps đối với Ge-APD.

3.2. Hàm truyền dẫn của PIN- Photodiode và APD

3.2.1. Hàm truyền dẫn của PIN- Photodiode

Từ các mô hình toán học truyền dẫn tín hiệu (hình 2.2) ta xác định được các hàm truyền dẫn của PIN- Photodiode hoạt động ở tốc độ cao:

$$H_{T-PIN}(j\omega) = \frac{H_{T-PIN}}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_{g-PIN}}} \tag{3-3}$$

Trong đó:

$$\omega_{g-PIN} = \frac{G_C + G_T}{C_C + C_T} \tag{3-4}$$

là tần số góc giới hạn của PIN – Photodiode.

3.2.2. Hàm truyền dẫn của APD

Trong quá trình biến đổi quang-điện của APD, khi công suất luồng quang biến đổi nhanh thì tồn tại 2 hằng số thời gian:

- τ_{LA} là hằng số thời gian đặc trưng cho quá trình biến đổi quang-điện của APD, được xác định ở công thức (3-2).
- τ_{RC} là hằng số thời gian đặc trưng cho sự biến đổi quang-điện của APD khi công suất luồng quang biến đổi nhanh và được xác định theo công thức:

$$\tau_{RC} = \frac{(C_c + C_T)}{(G_c + G_T)} \qquad (3\text{-}5)$$

Do đó, khi công suất luồng quang biến đổi nhanh thì hằng số thời gian của APD trong quá trình biến đổi quang-điện được xác định theo công thức:

$$\tau_{APD} = \tau_{LA} + \tau_{RC} \qquad (3\text{-}6)$$

Khi đó, từ các mô hình toán học truyền dẫn tín hiệu (hình 2.2) ta xác định được các hàm truyền dẫn của APD hoạt động ở tốc độ cao theo công thức:

$$H_{T-APD}(j\omega) = \frac{H_{T-APD} M}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_{g-APD}}} \qquad (3\text{-}7)$$

Trong đó, $\omega_{g\text{-}APD}$ là tần số góc giới hạn của APD và được xác định theo công thức:

$$\omega_{g-APD} = \frac{1}{\tau_{APD}} = \frac{1}{\tau_{LA} + \tau_{RC}} \qquad (3\text{-}8)$$

3.3. Hàm trọng lượng của PIN- Photodiode và APD

3.3.1. Hàm trọng lượng của PIN- Photodiode

Đối với PIN- Photodiode, từ công thức (3-3) thực hiện biến đổi Fourier ta thận được hàm trọng lượng của PIN- Photodiode như sau:

$$g_{T\text{-}PIN}(t) = H_{T\text{-}PIN}\ \omega_{g\text{-}PIN}\ exp\ (-\omega_{g\text{-}PIN}\ t) \quad (3\text{-}9)$$

3.3.2. Hàm trọng lượng của APD

Đối với APD, từ công thức (3-7) thực hiện biến đổi Fourier ta thận được hàm trọng lượng của APD như sau:

$$g_{T-APD}(t) = H_{T-APD} M\omega_{g-APD} \exp(-\omega_{g-APD}\ t) \quad (3\text{-}10)$$

3.4. Hàm quá độ của PIN- Photodiode và APD

Theo định nghĩa, hàm quá độ của PIN – Photodiode và APD sẽ được xác định theo công thức:

$$h_T(t) = \int_0^t g_T(t)dt \quad (3\text{-}11)$$

Từ các công thức (3-9), (3-10), (3-11) và sau một số biến đổi toán học, ta xác định được hàm quá độ của PIN – Photodiode & APD theo các công thức:

* Đối với PIN – Photodiode:

$$h_{T-PIN}(t) = H_T\left[1-\exp\left(-\omega_{g-PIN}\ t\right)\right] \quad (3\text{-}13)$$

* Đối với APD:

$$h_{T-APD}(t) = H_T M\left[1-\exp\left(-\omega_{g-APD}\ t\right)\right] \quad (3\text{-}14)$$

3.5. Tín hiệu ra của PIN – Photodiode và APD

Vì tín hiệu truyền dẫn từ nguồn phát (LD/LED) qua sợi quang bị suy hao, nên khi đến các photodiode thường rất nhỏ, ta có thể bỏ qua tính phi tuyến của các photodiode. Vì vậy, khi phân tích trạng thái của PIN – photodiode & APD trong mối quan hệ với tham số của luồng ánh sáng đến, ta chỉ cần phân tích ảnh hưởng của tần số hay tốc độ bit/s đến các tham số truyền dẫn của các photodiode.

3.5.1. Truyền dẫn analog

Để xác định tín hiệu ra của PIN – Photodiode & APD trong tuyền dẫn analog, ta giả thiết công suất ánh sáng chiếu tới photodiode có dạng:

$$p_T(t) = P_{TO} + p_{T\sim}(t)$$
$$= P_{TO} + P_T \cos \omega t \qquad (3\text{-}16)$$

3.5.1.1. Tần số truyền dẫn thấp

Khi tần số truyền dẫn thấp, quan hệ giữa tín hiệu ra và công suất chiếu vào của nó được xác định theo đặc tuyến tĩnh của các Photodiode. Do đó, từ các công thức (1-1) và (3-16), ta nhận được tín hiệu ra của PIN – Photodiode & APD theo các công thức:

$$i_T(t) = I_{T0} + i_{T\sim}(t)$$
$$= I_{T0} + I_T \cos \omega t \qquad (3\text{-}17)$$

Trong đó:

- Đối với PIN – Diode:

$$I_{T0} = H_T P_{T0} ; \quad I_T = H_T P_T \qquad (3\text{-}18)$$

- Đối với APD:

$$I_{T0} = M H_T P_{T0} ; I_T = M H_T P_T \qquad (3\text{-}19)$$

là thành phần một chiều và biên độ của dòng ra của PIN – Photodiode& APD.

Từ công thức (3-17), ta nhận thấy: khi tần số truyền dẫn thấp tín hiệu ra của APD & PIN – Photodiode có dạng giống như tín hiệu vào và tín hiệu không bị méo.

3.5.1.2. Tần số truyền dẫn cao

Khi tần số truyền dẫn cao, quan hệ giữa tín hiệu ra và công suất chiếu vào của APD & PIN – Photodiode không được xác định theo đặc tuyến tĩnh của các Photodiode mà phải thông qua hàm truyền dẫn hay hàm trọng lượng của chúng.

Khi đó, từ mô hình toán học của các Photodiode, ta nhận được tín hiệu ra của APD & PIN – Photodiode theo các công thức:

- Trong không gian tần số:

$$I_T(j\omega) = P_T(j\omega) \,.\, H_T(j\omega) \qquad (3\text{-}20)$$

Trong đó, $I_T(j\omega)$, $P_T(j\omega)$ và $H_T(j\omega)$ là tương ứng phổ của tín hiệu ra, phổ công suất ánh sáng tới và hàm truyền dẫn của APD & PIN – Photodiode.

Hàm truyền dẫn của PIN – Photodiode được xác định ở công thức (3-3), hàm truyền dẫn của APD được xác định ở công thức (3-7).

- Trong không gian thời gian:

$$i_T(t) = p_T(t) * g_T(t) \qquad (3\text{-}21)$$

Trong đó, $g_T(t)$ là hàm trọng lượng của APD hoặc PIN – Photodiode. Hàm trọng lượng của PIN – Photodiode được xác định ở công thức (3-9), hàm trọng lượng của APD được xác định ở công thức (3-10).

Từ các công thức (3-16), (3-21) và sau một số biến đổi toán học, ta nhận được dòng ra của Photodiode khi tín hiệu ánh sáng đến APD và PIN – Photodiode có dạng hình sin theo công thức:

$$i_T(t) = I_{T0} + I_T(\omega) \cos[\omega t + \varphi_T(\omega)] \qquad (3\text{-}22)$$

Trong đó:

- Đối với PIN –Photodiode:

$$I_{T0\text{-}PIN} = H_{T\text{-}PIN} P_T \tag{3-23}$$

$$I_{T-PIN}(\omega) = \frac{H_T P_T}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2}{\omega_{g-PIN}^2}}} \tag{3-24}$$

$$\varphi_{T-PIN}(\omega) = -arctg \frac{\omega}{\omega_{g-PIN}} \tag{3-25}$$

- Đối với APD:

$$I_{T0\text{-}APD} = H_T M P_{T0} \tag{3-26}$$

$$I_{T-APD}(\omega) = \frac{H_T M P_T}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2}{\omega_{g-APD}^2}}} \tag{3-27}$$

$$\varphi_{T-APD}(\omega) = -arctg \frac{\omega}{\omega_{g-APD}} \tag{3-28}$$

Nhận xét: từ các công thức (3-22) – (3-28) ta nhận thấy, khi tần số truyền dẫn cao thì trong dòng ra của photodiode xuất hiện méo biên độ và méo pha. Các méo này phụ thuộc tần số. Tần số càng cao thì méo pha và méo biên độ của PIN – Photodiode và APD càng lớn.

3.5.2. Truyền dẫn số

Để xác định các tham số truyền dẫn của APD & PIN – Photodiode trong tuyền dẫn số, ta giả thiết công suất ánh sáng đến photodiode có dạng (hình 3-1):

$$p_T(t) = P_{TO} + p_{T\sim}(t) \tag{3-29}$$

$$p_{T\sim}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n \; P_T \; X(t - nT) \tag{3-30}$$

Trong đó:

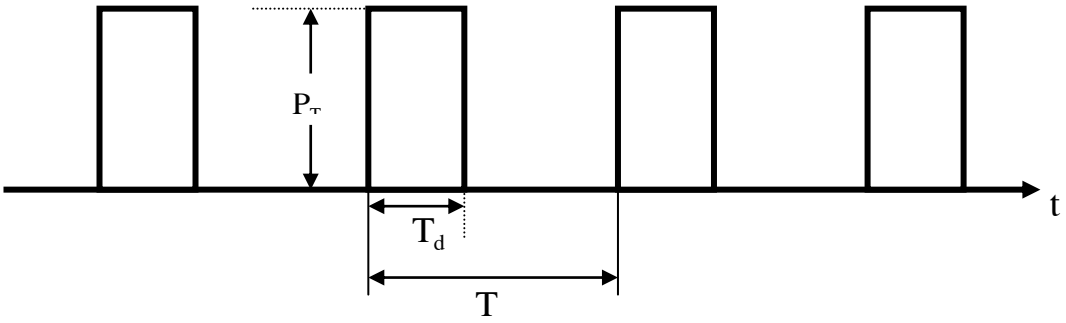
P_T: là biên độ của chuỗi xung,

$$X(t-nT) = \begin{cases} 1 & khi \quad nT \le t \le nT + T_d \\ 0 & \quad\quad t \notin [nT \; ; \; nT + T_d] \end{cases} \tag{3-31}$$

T: chu kỳ chuỗi xung,

T_d: độ rộng xung,

b_n = { 0,1 } tuỳ theo xung truyền dẫn là bit "0" hay bit "1".



Hình 3.1. Tín hiệu ánh sáng tới $p_{T\sim}(t)$

3.5.2.1. Tốc độ truyền dẫn thấp

Khi tốc độ truyền dẫn thấp, quan hệ giữa tín hiệu ra và công suất chiếu vào của APD & PIN – Photodiode được xác định theo đặc tuyến tĩnh của các Photodiode. Do đó, từ các công thức (1-1) và (3-31), ta nhận được tín hiệu ra của APD & PIN – Photodiode theo các công thức:

$$i_T(t) = I_{T0} + i_{T\sim}(t)$$

$$i_{T\sim}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n I_T \, X(t - nT) \tag{3-32}$$

Trong đó:

- Đối với PIN – Photodiode:

$$I_{T0} = H_T P_{T0}\ ,\ \ I_T = H_T P_T \tag{3-33}$$

- Đối với APD:

$$I_{T0} = M\, H_T P_{T0}\ ,\ I_T = M\, H_T P_T \tag{3-34}$$

là thành phần một chiều và biên độ của dòng ra của APD & PIN – Photodiode.

Từ các công thức (3-32)-(3-34), ta nhận thấy: Khi tốc độ truyền dẫn thấp tín hiệu ra của APD & PIN – Photodiode có dạng giống như tín hiệu vào và tín hiệu ra không bị méo.

3.5.2.2. Tốc độ truyền dẫn cao

Khi tốc độ truyền dẫn cao, quan hệ giữa tín hiệu ra và công suất chiếu vào của APD & PIN – Photodiode không được xác định theo đặc tuyến tĩnh của các Photodiode mà phải thông qua hàm truyền dẫn hay hàm trọng lượng của chúng.

Do tín hiệu ánh sáng đến bộ thu quang rất yếu vì bị suy hao trên dường truyền dẫn, nên tính phi tuyến của APD & PIN – Photodiode có thể bỏ qua, nên đáp ứng của APD & PIN – Photodiode đối với chuỗi xung ánh sáng tới sẽ bằng tổng các đáp ứng của từng xung riêng lẻ. Tức là, tín hiệu ra của APD & PIN – Photodiode đước xác định theo công thức:

$$i_T(t) = I_{T0} + i_{T\sim}(t) \tag{3-35}$$

$$i_{T\sim}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n i_{Tn}(t - nT) \tag{3-36}$$

Trong đó i_{Tn} (t-nT) là đáp ứng của xung thứ n.

Khi luồng ánh sáng có tôc độ bít cao (tương ứng với tần số cao) thì của APD & PIN – Photodiode là những phần tử phụ thuộc tần số. Do đó, theo lý thuyết

truyền dẫn ta có đáp ứng của đột biến xung $P_T.1(t)$ của của APD & PIN – Photodiode là :

$$i_T(t) = I_T.\ h_T(t) \qquad (3\text{-}37)$$

Do xung thứ n của luồng ánh sáng tới có biên độ là P_T được tạo nên từ 2 đột biến:

Từ $0 \rightarrow P_T$ tại thời điểm t = nT

Từ $P_T \rightarrow 0$ tại thời điểm $t = nT + T_d$

$$i_{Tn}(t-nT) = \begin{cases} 0 & t < nT \\ H_T P_T h_T(t-nT) & nT \le t \le nT+T_d \\ H_T P_T [h_T(t-nT) - h_T(t-T_d-nT)] & t > nT+T_d \end{cases}$$

Do đó đáp ứng của APD & PIN – Photodiode cho xung thứ n sẽ là :

(3-38)

Từ các công thức (3-13), (3-14) và (3-38) ta có: dòng ra của APD & PIN – Photodiode đối với xung điều khiển thứ n là:

$$i_{Tn-PIN}(t-nT) = \begin{cases} 0 & t < nT \\ H_T P_T \left\{1 - \exp\left[-\omega_{g-PIN}(t-nT)\right]\right\} & nT \le t \le nT + Td \\ H_T P_T \left[\exp\left(\omega_{g-PIN} T_d\right) - 1\right] \exp\left[-\omega_{g-PIN}(t-nT)\right] & t > nT + Td \end{cases}$$

(3-39)

$$i_{Tn-APD}(t-nT) = \begin{cases} 0 & t < nT \\ H_T M P_T \left\{1 - \exp\left[-\omega_{g-APD}(t-nT)\right]\right\} & nT \le t \le nT + T_d \\ H_T M P_T \left[\exp\left(\omega_{g-APD} T_d\right) - 1\right] \exp\left[-\omega_{g-APD}(t-nT)\right] & t > nT + T_d \end{cases}$$

(3-40)

Nhận xét: Từ các công thức (3-39)-(3-40) ta nhận thấy, khi tốc độ truyền dẫn cao thì trong các xung dòng ra của photodiode xuất hiện méo biên độ và méo

pha. Các méo này phụ thuộc tần số. Tần số càng cao thì méo pha và méo biên độ của tind hiệu ra của PIN – Photodiode và APD càng lớn.

3.6. Nhiễu của PIN – Photodiode và APD

3.6.1. Nhiễu và phân loại nhiễu trong PIN-Photodiode và APD

3.6.1.1. Nhiễu trong PIN-Photodiode và APD

Như đã trình bầy ở phần 1.3.3.2., nhiễu của một phần tử biến đổi quang-điện bao gồm các nhiễu cơ bản sau:

- Nhiễu lượng tử tín hiệu,
- Nhiễu dòng điện tối,
- Nhiễu dòng dò,
- Nhiễu nhiệt,
- Nhiễu do hiệu ứng quang thác sinh ra (chỉ có ở APD).

Nhiễu lượng tử tín hiệu sinh ra trong quá trình giải phóng ra các cặp điện tử – lỗ trống do các photon chiếu vào photodiode. Điều đó có nghĩa là: có ánh sáng chiếu vào photodiode, thì trong tín hiệu ra của nó có chứa nhiễu. Nhiễu dòng tối là do dòng điện tối của photodiode sinh ra. Nhiễu dòng rò là do dòng rò của photodiode tạo ra. Nhiễu nhiệt là nhiễu xuất hiện trong một điện trở (điện trở lớp chắn, điện trở tải) do chuyển động nhiệt của các điện tử trong điện trở tạo ra. Đối với APD, ngoài các nhiễu trên, còn có nhiễu do hiệu ứng quang thác sinh ra.

3.6.1.2. Phân loại nhiễu

Trong kỹ thuật thông tin quang, người ta có thể phân loại nhiễu theo 2 quan điểm sau:

- Theo bản chất gây nên nhiễu,
- Theo quan điểm truyền dẫn tín hiệu.

a. Theo bản chất gây nên nhiễu

Theo bản chất gây nên nhiễu, có: nhiễu lượng tử tính hiệu, nhiễu dòng điện tối, nhiễu dòng rò, nhiễu nhiệt và nhiễu do hiệu ứng quang thác (trong APD).

b. Quan điểm truyền dẫn tín hiệu

* *Nhiễu phụ thuộc tín hiệu, gồm có:*

- Nhiễu lượng tử tín hiệu

* *Nhiễu không phụ thuộc tín hiệu, gồm có:*

- Nhiễu dòng tối,
- Nhiễu dòng rò,
- Nhiễu nhiệt.

Ngoài ra, trong kỹ thuật tin quang người ta còn ký hiệu nhiễu gây ra bởi các nhiễu lượng tử tín hiệu, nhiễu dòng tối, nhiễu dòng rò là Shot noise (Nhiễu bắn).

3.6.2. Công suất các nhiễu trong PIN-Photodiode và APD

Khi phân tích, tính toán công suất các nhiễu cũng như nhiễu tổng của APD và PIN-Photodiode trong phần này và những phần sau, ta chỉ phân tích, tính toán công suất các nhiễu và nhiễu tổng của APD. Còn công suất các nhiễu và nhiễu tổng của PIN-Photodiode được suy ra từ các công thức công suất các nhiễu và nhiễu tổng của APD khi: M =1 và thay $\omega_{g\text{-}APD}$ bằng $\omega_{g\text{-}PIN}$.

Để cho gọn các công thức, ta gọi APD là Photodiode và thay:

$$\omega_{g\text{-}APD} = \omega_g,\ H_{T\text{-}APD} = H_T,$$
$$H_{T\text{-}APD}(j\omega) = H_T(j\omega), \qquad (3\text{-}42)$$
$$g_{T\text{-}APD}(t) = g_T(t),\ \ldots$$

Theo lý thuyết truyền tin [2, 3, 6], công suất của một nguồn nhiễu của Photodiode được xác định theo công thức:

$$p_N(t) = i_N(t) * g_T^2(t)$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty} S_N(j\omega).|H_T(j\omega)|^2 d\omega \quad (3\text{-}43)$$

Trong đó:

$i_N(t)$, $S_N(j\omega)$: dòng nhiễu và phổ của nó,

$g_T(t)$, $H_T(j\omega)$: hàm trọng lượng và hàm truyền dẫn của Photodiode.

3.6.2.1. Nhiễu dòng tối

Nhiễu dòng tối là do dòng điện tối của photodiode sinh ra. Dòng điện tối gồm rất nhiều xung không có quy luật. Người ta chỉ xác định được trị hoặc dụng của nó, phổ biên độ của chúng bằng phẳng ở mọi tần số. Theo [11, 12], mật độ công suất phổ của nhiễu dòng tối $S_{NT}(j\omega)$ được xác định thêo công thức:

$$S_{NT}(j\omega) = e \quad F(M) \quad \overline{I_T}$$

Do đó, từ công thức (3-43) ta xác định được công suất nhiễu dòng điện tối p_{NT} theo công thức :

$$p_{NT} = 2e \quad F(M) \quad M^2 \quad \overline{I_T} \quad B_R \quad (3\text{-}44)$$

Trong đó, $\overline{I_T}$ là gía trị trung bình của dòng điện tối, giá trị trung bình này phụ thuộc chất liệu bán dẫn, diện tích bề mặt tiếp xúc P-N và nhiệt độ [10].

$$B_R = \int_0^{\infty} \left|H_T^*(jf)\right|^2 df$$

$$= 0{,}707 \text{ B} \quad (3\text{-}45)$$

Trong công thức (3-45), $H_T^*(j f)$ là hàm truyền dẫn chuẩn hoá của hàm truyền dẫn $H_T(j f)$ và B là băng thông của photodiode.

3.6.2.2. Nhiễu dòng rò

Nhiễu dòng rò là do dòng điện rò của photodiode tạo ra. Dòng điện rò là do các tia sáng phía trong và ánh sáng bên cạnh tạo ra. Trên thực tế người ta chỉ xác định được giá trị trung bình của dòng điện rò. Theo [11, 12], mật độ công suất phổ của nhiễu dòng rò $S_{Nr}(j\omega)$ được xác định thêo công thức:

$$S_{Nr}(j\omega) = e \;\; F(M) \;\; \overline{I_r}$$

Do đó, từ công thức (3-43) ta xác định được công suất nhiễu dòng rò p_r theo công thức :

$$p_{Nr} = 2e \;\; F(M) \;\; M^2 \;\; \overline{I_r} \;\; B_R \qquad (3\text{-}46)$$

Trong đó, $\overline{I_r}$ là giá trị trung bình của dòng điện rò.

3.6.2.3. Nhiễu nhiệt

Nhiễu nhiệt của Photodiode là nhiễu xuất hiện trong điện trở lớp chắn, điện trở tải, do chuyển động nhiệt của các điện tử trong điện trở tạo ra.

Theo [1], mật độ công suất phổ của nhiễu nhiệt $S_{NN}(j\omega)$ trên điện trở R được xác định thêo công thức:

$$S_{NN}(j\omega) = \frac{2\,k\,T}{R}$$

Do đó, theo công thức (3-43) công suất nhiễu nhiệt p_{NN} của photodiode được xác định theo công thức :

$$p_{NN} = 4\,k\,T\,(G_C + G_T)\,B_R \qquad (3\text{-}47)$$

Trong đó: $G_C = \frac{1}{R_C}$ là điện dẫn của điện trở lớp chắn R_C,

$G_T = \frac{1}{R_T}$ là điện dẫn của điện trở tải R_T,

k: hằng số Bolzomal,

T: Nhiệt độ tuyệt đối.

3.6.2.4. Nhiễu do hiệu ứng quang thác

Đối với APD, nhiễu do hiệu ứng quang thác sinh ra phụ thuộc vào hệ số khuyếch đại và tỷ lệ với tỷ số giữa hệ số ion hoá lỗ trống và hệ số ion hoá điện tử trong vùng khuyếch đại quang thác.

Nhiễu do hiệu ứng quang thác được đặc trưng qua hệ số tạp âm F(M) và nó được xác định gần đúng theo công thức:

$$F(M) = 2 - \frac{1}{M} + k_i\left(M - 2 + \frac{1}{M}\right) \quad (3\text{-}48)$$

Trong đó:

M là hệ số khuyếch đại của APD,

$$\mathbf{ki} = \frac{\alpha_n}{\alpha_p} \quad (3\text{-}49)$$

α_n là hệ số ion hoá điện tử trong vùng quang thác,

α_p là hệ số ion hoá lỗ trống trong vùng quang thác.

Trong thực tế, người ta có thể sử dụng gần đúng F(M) bởi:

$$F(M) = M^X \quad (3\text{-}50)$$

Trong đó, giá trị đặc trưng của x = 0,3 – 0,5 đối với Si – APD, x = 0,7 đối với InGaAsP-APD và x=1 đối với Ge-APD

3.6.2.5. Nhiễu lượng tử tín hiệu

Nhiễu lượng tử tín hiệu sinh ra trong quá trình giải phóng ra các cặp điện tử – lỗ trống do các photon chiếu vào photodiode.

Các tạp âm dòng tối, tạp âm dòng rò và tạp âm nhiệt tạp âm là những tạp âm không phụ thuộc tín hiệu của APD và PIN-Photodiode. Còn tạp âm lượng tử tín hiệu là tạp âm phụ thuộc tín hiệu, cần phải được xem xét tín hiệu truyền dẫn tương tự hay số, tín hiệu truyền dẫn biến đổi nhanh hay chậm.

Theo [11, 12], dòng nhiễu do lượng tử tín hiệu gây ra được xác định thêo công thức:

$$i_{NL}(t) = e\,F(M)\,i_p(t) = e\,F(M)\,H_T\;p(t) \qquad (3\text{-}51)$$

❖ Truyền dẫn analog

- *Khi tần số tín hiệu truyền dẫn thấp*

Khi tần số tín hiệu truyền dẫn thấp, quá trình biến đổi quang điện của các

Photodiode không phụ thuộc vào tần số. Do đó, từ các công thức (3-43) và (3-51) ta xác định được công suất nhiễu lượng tử của photodiode trong trường hợp này theo công thức:

$$p_{NL} = 2e\,F(M)\,M^2\,H_T\,\overline{P_T}\,B_R \qquad (3\text{-}52)$$

Trong đó:

$\overline{P_T}$: Giá trị trung bình của công suất ánh sáng đến photodiode

e: điện tích của điện tử

B_R: băng tần tạp âm của photodiode

F(M): hệ số tạp âm phụ thêm của APD

M: hệ số khuyếch đại của APD

H_T: hệ số biến đổi quang điện của photodiode

- *Khi tần số tín hiệu truyền dẫn cao*

Khi tần số tín hiệu truyền dẫn cao, quá trình biến đổi quang điện của các Photodiode phụ thuộc vào tần số. Do đó, từ các công thức (3-43) và (3-51) ta xác định được công suất nhiễu lượng tử trong trường hợp này theo công thức:

$$p_{NL}(t) = e\,F(M)\,M^2\,H_T\;\; p_T(t) * g_T^2(t)$$
$$= e\,F(M)\,M^2\,H_T\;\omega_g^2\,p_T(t) * e^{-2\omega_g^2 t} \qquad (3\text{-}53)$$

Khi ánh sáng tới Photodiode có dạng hình sin, thực hiện thuật toán tích chập ta nhận được công suất nhiễu lượng tử:

$$p_{NL}(t) = e\,F(M)\,M^2\,H_T\;\omega_g^2(P_{0T} + P_T\cos\omega t) * e^{-2\omega_g^2 t}$$

$$p_{NL}(t) = b_1\left[P_{0T} + \frac{P_T}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\cos(\omega t + \varphi_R)\right] \qquad (3\text{-}54)$$

Trong đó:

$$b_1 = \frac{1}{2}e\,F(M)\,M^2\,H_T\omega_g. \qquad (3\text{-}55)$$

$$\varphi_R = -\arctan\frac{\omega}{2\omega_g} \qquad (3\text{-}56)$$

❖ Truyền dẫn digital

- *Khi tốc độ tín hiệu truyền dẫn thấp*

Cũng tương tự như trong truyền dẫn analog, khi tốc độ tín hiệu truyền dẫn thấp thì quá trình biến đổi quang điện của các Photodiode không phụ thuộc vào tần số và công suất nhiễu lượng tử được xác định theo công thức:

- Trong khoảng thời gian [nT, nT+T_d]:

$$p_{NL}(t-nT) = 2e\,F(M)\,M^2\,H_T\left[P_{0T} + P_T\right]B_R \qquad (3\text{-}57)$$

- Trong khoảng thời gian [$nT+T_d$, $(n+1)T$]:

$$p_{NL}(t-nT) = 2e\,F(M)\,M^2\,H_T P_{0T} B_R \qquad (3\text{-}58)$$

- *Khi tốc độ tín hiệu truyền dẫn cao*

Cũng tương tự như trong truyền dẫn analog, khi tốc độ tín hiệu truyền dẫn cao thì quá trình biến đổi quang điện của các Photodiode phụ thuộc vào tần số và công suất nhiễu lượng tử được xác định theo công thức:

- Trong khoảng thời gian [nT, $nT+T_d$]:

$$p_{NL}(t-nT) = b_1\left\{P_{0T} + b_n P_T\left[1-e^{-2\omega_g(t-nT)}\right] + \left(e^{2\omega_g T_d}-1\right)P_T\sum_i b_i e^{-2\omega_g(t-iT)}\right\} \qquad (3\text{-}59)$$

Trong đó, b_1 được xác đinh ở công thức (3-55).

- Trong khoảng thời gian [$nT+T_d$, $(n+1)T$]:

$$p_{NL}(t-nT) = b_1\left\{P_{0T} + \left(e^{2\omega_g T_d}-1\right)P_T\sum_i b_i e^{-2\omega_g(t-iT)}\right\} \qquad (3\text{-}60)$$

3.6.2.6. Nhiễu tổng của photodiode

Trong thực tế, các nguồn nhiễu chỉ ra ở mô hình toán học của photodiode là không tương quan nhau. Do đó, công suất nhiễu tổng của photodiode được tính theo công thức:

$$p_{N\Sigma} = p_{NL} + p_{NT} + p_{Nr} + p_{NN} \qquad (3\text{-}61)$$

❖ Truyền dẫn analog

- *Khi tần số tín hiệu truyền dẫn thấp*

Thay các công thức (3-52), (3-44), (3-46), (3-47) vào (3-61) ta nhận được công suất nhiễu tổng của APD:

$$p_{N\sum-APD} = \left[2eF(M)M^2(H_T\overline{P_T} + \overline{I_T} + \overline{I_r}) + 4kT(G_C + G_T)\right]B_R \qquad (3\text{-}62)$$

Thay công thức (3-50) vào công thức (3-62) và thực hiện biến đổi toán học, ta nhận được công suất nhiễu tổng của APD dưới dạng:

$$p_{N\sum-APD} = \left[2eM^{2+x}(H_T\overline{P_T} + \overline{I_T} + \overline{I_r}) + 4kT(G_C + G_T)\right]B_R \qquad (3\text{-}63)$$

- *Khi tần số tín hiệu truyền dẫn cao*

Thay các công thức (3-53), (3-44), (3-46), (3-47) vào (3-61) ta nhận được công suất nhiễu tổng của APD dưới dạng:

$$p_{N\sum-APD}(t) = eF(M)M^2\left\{H_T\omega_g^2(P_{0T} + P_T\cos\omega t) * e^{-2\omega_g^2 t} + 2(\overline{I_T} + \overline{I_r})B_R\right\}$$
$$+ 4kT(G_C + G_T)B_R \qquad (3\text{-}65)$$

Khi ánh sáng tới Photodiode có dạng hình sin và từ công thức (3-54), ta nhận được công suất nhiễu lượng tử của Photodiode theo công thức:

$$p_{N\sum-APD}(t) = b_1\left[P_{0T} + \frac{P_T}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\cos(\omega t + \varphi_R)\right] + c \qquad (3\text{-}66)$$

Trong đó, ký hiệu:

$$c = \left\{\ 2e\ F(M)\ M^2(\overline{I_T} + \overline{I_r}) + 4kT(G_C + G_T)\ \right\}B_R \qquad (3\text{-}67)$$

❖ Truyền dẫn digital

- *Khi tốc độ tín hiệu truyền dẫn thấp*

Từ các công thức ở phần trên, ta nhận được công suất nhiễu tổng của APD trong trường hợp này là:

- Trong khoảng thời gian [nT, nT+T_d]:

$$p_{N\sum-APD} = \left\{2eF(M)M^2\left[H_T(P_0+P_T)+\overline{I_T}+\overline{I_r}\right]+4kT(G_C+G_T)\right\}B_R \quad (3\text{-}68)$$

- Trong khoảng thời gian [nT+T_d , (n+1)T]:

$$p_{N\sum-APD} = \left[2eF(M)M^2(H_T P_0+\overline{I_T}+\overline{I_r})+4kT(G_C+G_T)\right]B_R \quad (3\text{-}69)$$

- *Khi tốc độ tín hiệu truyền dẫn cao*

Từ các công thức ở phần trên, ta nhận được công suất nhiễu tổng của APD trong trường hợp này là:

- Trong khoảng thời gian [nT, nT+T_d]:

$$p_{N\sum-APD}(t-nT) = b_1\left(P_{0T}+b_n P_T\left[1-e^{-2\omega_g(t-nT)}\right]+\left(e^{2\omega_g T_d}-1\right)P_T\sum_i b_i e^{-2\omega_g(t-iT)}\right)+c \quad (3\text{-}70)$$

Trong đó, c được xác định ở công thức (3-67).

- Trong khoảng thời gian [nT+T_d , (n+1)T]:

$$p_{N\sum-APD}(t-nT) = b_1\left\{P_{0T}+\left(e^{2\omega_g T_d}-1\right)P_T\sum_i b_i e^{-2\omega_g(t-iT)}\right\}+c \quad (3\text{-}71)$$

Trong đó, c được xác định ở công thức (3-67).

3.7. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu

3.7.1. Một số khái niệm cơ bản

- Định nghĩa tỷ số tín hiệu trên nhiễu của photodiode:

Tỷ số tín hiệu trên nhiễu của photodiode là tỷ số của công suất/điện áp tín hiệu trên công suất/điện áp nhiễu của chúng và được biểu diễn dưới dạng công thức:

$$\frac{S}{N} = \frac{\textit{Công suất tín hiệu/điện áp tín hiệu/dòng điện tín hiệu}}{\textit{Công suất nhiễu/điện áp nhiễu/dòng điện nhiễu}} \quad (3\text{-}72)$$

- Công suất tín hiệu:

Công suất của tín hiệu ra của photodiode được xác định theo công thức:

$$P_{Th} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} i_T^2(t)dt \quad (3\text{-}73)$$

Trong đó, $i_T(t)$ là dòng tín hiệu ra của photodiode.

- Công suất nhiễu:

Từ công thức (3-43), công suất của một nguồn nhiễu của Photodiode được xác định theo công thức:

$$p_N(t) = i_T(t) * g_T^2(t)$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega).\left|H_T(j\omega)\right|^2 d\omega \quad (3\text{-}74)$$

Trong đó:

$i_T(t)$, $S(j\omega)$: dòng nhiễu và phổ của nó,

$g_T(t)$, $H_T(j\omega)$: hàm trọng lượng và hàm truyền dẫn của photodiode.

3.7.2. Truyền dẫn analog

3.7.2.1. Tần số tín hiệu truyền dẫn thấp

Tín hiệu ra của photodiode được xác định theo công thức:

$$\begin{aligned} i_{T\sim}(t) &= M H_T p_{T\sim}(t) \\ &= M H_T P_T \cos \omega t \\ &= I_T \cos \omega t \end{aligned} \quad (3\text{-}75)$$

Trong đó:

$$I_T = M H_T P_T \quad (3\text{-}76)$$

Theo lý thuyết truyền dẫn tín hiệu thì công suất của tín hiệu của photodiode được xác định theo công thức:

$$P_{Th} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} M^2 H_T^2 P_T^2(t)dt = \frac{1}{2} M^2 H_T^2 P_T^2 \quad (3\text{-}77)$$

Thay công thức (3-63), (3-77) vào (3-72) và lưu ý $\overline{P_T} = P_{TO}$, ta nhận được tỷ số tín hiệu/nhiễu của photodiode như sau:

$$\frac{S}{N} = \frac{\frac{1}{2} H_T^2 M^2 P_T^2}{\left[2eM^{2+x}(H_T P_{T0} + \overline{I_T} + \overline{I_r}) + 4kT \ (G_C + G_T)\right] B_R} \quad (3\text{-}78)$$

Ta có thể biểu diễn công thức (3-78) dưới dạng:

$$\frac{S}{N} = \frac{aP_T^2}{bP_{TO} + c} \quad (3\text{-}79)$$

Trong đó, đặt:

$$a = \frac{1}{2} H_T^2 M^2 \quad (3\text{-}80)$$

$$b = 2.e.M^{2+x} H_T B_R \tag{3-81}$$

$$c = \left[2eM^{2+x}(\overline{I_T} + \overline{I_r}) + 4kT(G_C + G_T)\right] B_R \tag{3-82}$$

Nhận xét: thành phần một chiều P_{T0} của ánh sáng càng lớn thì nhiễu của photodiode càng lớn và do đó tỷ số tín hiệu nhiễu càng nhỏ.

3.7.2.2. Tần số tín hiệu truyền dẫn cao

Khi tần số tín hiệu truyền dẫn cao, thì tín hiệu ra của photodiode được xác định theo công thức:

$$i_T(t) = I_{T0} + I_T(\omega)\cos[\omega t + \varphi_T(\omega)] . \tag{3-83}$$

Khi đó, từ các công thức (3-73), (3-83) và sau một số biến đổi toán học ta nhận được công suất tín hiệu ra của photodiode theo công thức:

$$P_{T-APD}(\omega) = \frac{1}{2} M^2 H_T^2 \frac{P_T^2}{1 + \dfrac{\omega^2}{\omega_g^2}} \tag{3-84}$$

Thay các công thức (3-66), (3-84) vào (3-72), với lưu ý giá trị cực đại $\cos(\omega t+\varphi_R) = 1$ và sau một số biến đổi toán học, ta nhận được tỷ số tín hiệu trên nhiễu của APD theo công thức:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{APD} = \frac{a\, P_T^2}{\left(1 + \dfrac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)\left[b_1\left(P_{0T} + \dfrac{P_T}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\right) + c\right]} \tag{3-85}$$

Trong đó: a, b_1, c được xác định ở các công thức (3-80), (3-55) và (3-82).

Nếu công suất ánh sáng tới được biểu diễn dưới dạng:

$$p_T(t) = P_{0E}\left(1 + m\cos\omega t\right) \tag{3-86}$$

với $m = \frac{P_T}{P_{0T}}$ (m gọi là hệ số điều chế hay độ sâu điều chế), thì tỷ số tín hiệu trên tạp âm của Photodiode theo công thức (3-85) sẽ được biểu diễn dưới dạng:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{APD} = \frac{a\, m^2 P_{0T}^2}{\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)\left[b_1 P_{0T}\left(1+\frac{m}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\right)+c\right]} \tag{3-87}$$

Nhận xét: Khi tần số cao, tỷ số tín hiệu trên tạp âm của Photodiode không chỉ phụ thuộc vào các tham số cấu trúc (a, b_1, c, ω_g) của Photodiode, phụ thuộc vào thành phần một chiều P_{T0}, độ sâu điều chế; mà còn phụ thuộc vào tần số $f=\omega/2\pi$.

Khi tần số càng lớn, thành phần công suất ánh sáng một chiều càng lớn, độ sâu điều chế càng nhỏ (tức là biên độ tín hiệu hữu ích càng nhỏ) thì tỷ số tín hiệu trên tạp âm càng nhỏ và ngược lại.

3.7.3. Truyền dẫn số

Trong kỹ thuật thông tin quang số người ta thường xác định tỷ số tín hiệu trên nhiễu của bộ thu quang (tại đầu vào bộ quyết định). Bộ thu quang trong truyền dẫn số bao gồm các phần tử cơ bản sau: Photodiode, bộ tiền khuếch đại, bộ khuếch đại điện áp, bộ lọc thấp và bộ quyết định.

Trong phạm vi nghiên cứu, ta muốn xác định tỷ số tín hiệu trên nhiễu của các photodiode. Do đó, ta giả thiết:

- Hàm truyền dẫn của tổng các phần tử: bộ tiền khuếch đại, bộ khuếch đại điện áp, bộ lọc thấp của bộ thu quang là 1 Ω.
- Bỏ qua nhiễu của các phần tử bộ tiền khuếch đại, bộ khuếch đại điện áp, bộ lọc thấp.

Do đó, độ lớn của điện áp tín hiệu và công suất nhiễu của bộ thu quang sẽ được xác định bằng độ lớn của dòng điện tín hiệu (x 1 Ω) và công suất nhiễu của các photođiode.

Để xác định tỷ số tín hiệu trên nhiễu của các photodiode trong truyền dẫn số, người ta cần phải xác định tỷ số tín hiệu trên nhiễu của các photodiode khi truyền bit "1" (có xung truyền dẫn) và tỷ số tín hiệu trên nhiễu của các photodiode khi truyền bit "0" (không có xung truyền dẫn), bởi vì cả tín hiệu truyền dẫn lẫn tạp âm của các photodiode trong các trường hợp khi truyền bit "1" và khi truyền bit "0" là hoàn toàn khác nhau.

Đối với truyền dẫn số, tỷ số tín hiệu trên tạp âm được xác định:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_1 = \frac{U_{1T}(t_Q) - U_Q}{\sqrt{p_{1N\Sigma}(t_Q)}} \qquad (3\text{-}88)$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = \frac{U_Q - U_{0T}(t_Q)}{\sqrt{p_{0N\Sigma}(t_Q)}} \qquad (3\text{-}89)$$

Trong đó: U_Q là ngưỡng của bộ quyết định,

t_Q là thời điểm quyết định, $t_Q \in [nT, nT+T_d]$

$U_{1T}(t_Q)$, $U_{0T}(t_Q)$ là điện áp tín hiệu tại thời điểm quyết định ủa tín hiệu khi truyền bit "1" và khi truyền bit "0".

$p_{1N\Sigma}(t_Q)$, $p_{0N\Sigma}(t_Q)$ là cụng suất nhiễu tổng tại thời điểm quyết định khi truyền bit "1" và khi truyền bit "0".

Các công thức (3-88) và (3-89) tương ứng là tỷ số tín hiệu trên tạp âm của photodiode khi truyền bit "1" và tỷ số tín hiệu trên tạp âm của các photodiode khi truyền bit "0".

Trong trường hợp $(S/N)_1 = (S/N)_0$ điện áp ngưỡng U_S là tối ưu. Khi đó, điện áp ngưỡng được xác định theo công thức:

$$U_{S-opt} = \frac{\sqrt{p_{0N\Sigma}(t_Q)}U_{1T}(t_Q) + \sqrt{p_{1N\Sigma}(t_Q)}U_{0T}(t_Q)}{\sqrt{p_{0N\Sigma}(t_Q)} + \sqrt{p_{1N\Sigma}(t_Q)}} \quad (3\text{-}90)$$

Tỷ số tín hiệu trên nhiễu trong trường hợp ngưỡng tối ưu là:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{U_S=opt} = \frac{U_{1T}(t_Q) - U_{0T}(t_Q)}{\sqrt{p_{0N\Sigma}(t_Q)} + \sqrt{p_{1N\Sigma}(t_Q)}} \quad (3\text{-}91)$$

3.7.3.1. Tốc độ tín hiệu truyền dẫn thấp

Khi luồng ánh sáng tới có tốc độ bit/s thấp thì điện áp tín hiệu và điện áp nhiễu tại thời điểm quyết định của tín hiệu khi truyền bit "1" và khi truyền bit "0" được xác định theo các công thức:

$$U_{T1}(t_Q) = a_1(P_{T0} + P_T) \quad (3\text{-}92)$$

$$U_{T0}(t_Q) = a_1 P_{T0} \quad (3\text{-}93)$$

$$\sqrt{p_{1N\Sigma}(t_Q)} = \sqrt{b(P_{T0} + P_T) + c} \quad (3\text{-}94)$$

$$\sqrt{p_{0N\Sigma}(t_Q)} = \sqrt{b\ P_{T0} + c} \quad (3\text{-}95)$$

Trong đó:

$$a_1 = M\ H_P \quad (3\text{-}96)$$

b, c: được xác định ở các công thức (3-81) và (3-82).

Khi đó, tỷ số tín hiệu trên nhiễu của photodiode được xác định theo công thức:

$$\frac{S}{N} = \frac{a_1 P_T}{\sqrt{bP_T + c} + \sqrt{b(P_{0T} + P_T) + c}} \quad (3\text{-}97)$$

Nếu ký hiệu

$$m = \frac{P_T}{P_{0T} + P_T} \quad (3\text{-}98)$$

gọi là hệ số điều chế hay độ sâu điều chế, thì tỷ số tín hiệu trên tạp âm của photodiode theo công thức (3-97) sẽ được biểu diễn dưới dạng:

$$\frac{S}{N} = \frac{a_1 P_T}{\sqrt{b\left(\frac{1}{m} - 1\right) P_T + c} + \sqrt{b \frac{1}{m} P_T + c}} \quad (3\text{-}99)$$

Hay:

$$\frac{S}{N} = \frac{a_1 P_T}{\sqrt{b(\varepsilon - 1) P_T + c} + \sqrt{b \varepsilon P_T + c}} \quad (3\text{-}100)$$

Trong đó,

$$\varepsilon = \frac{1}{m} \quad (3\text{-}101)$$

Theo lý thuyết truyền dẫn tín hiệu số, BER được xác định theo công thức:

$$BER = \frac{1}{2}\left[1 - erf\left(\frac{S/N}{\sqrt{2}}\right)\right] \quad (3\text{-}102)$$

3.7.3.2. Tốc độ tín hiệu truyền dẫn cao

Khi luồng ánh sáng tới tốc độ bit/s cao thì điện áp tín hiệu ra của Photodiode trong mỗi khoảng [nT, (n+1)T] không chỉ có điện áp tín hiệu ra của xung tín hiệu truyền dẫn thứ n, mà còn có điện áp tín hiệu ra của các xung tín hiệu truyền dẫn trước xung tín hiệu thứ n do quá trình quá độ gây ra.

Từ các công thức (3-36), (3-40), ta nhận được điện áp tín hiệu tại thời điểm quyết định của Photodiode khi luồng ánh sáng tới biến đổi nhanh khi truyền bit "1" (ứng với $b_n = 1$) theo công thức:

$$U_{T1}(t_{Q-n} - nT) = MH_T\left(P_{0T} + P_T\left[1 - e^{-\omega_g(t_{Q-n}-nT)}\right] + \left(e^{\omega_g T_d} - 1\right)P_T \sum_{i=0}^{n-1} b_i e^{-\omega_g(t_{Q-n}-iT)} \right) \quad (3\text{-}103)$$

khi truyền bit "0" (ứng với $b_n = 0$) theo công thức:

$$U_{T0}(t_{Q-n} - nT) = MH_T\left(P_{0T} + \left(e^{\omega_g T_d} - 1\right)P_T \sum_{i=0}^{n-1} b_i e^{-\omega_g(t_{Q-n}-iT)} \right) \quad (3\text{-}104)$$

Còn điện áp nhiễu tại thời điểm quyết định của Photodiode khi truyền bit "1" được xác định theo công thức:

$$\sqrt{p_{1N\Sigma}(t_{Q-n} - nT)} = \sqrt{b_1\left(P_{0T} + P_T\left[1 - e^{-2\omega_g(t_{Q-n}-nT)}\right] + \left(e^{2\omega_g T_d} - 1\right)P_T \sum_{i=0}^{n-1} b_i e^{-2\omega_g(t_{Q-n}-iT)} \right) + c} \quad (3\text{-}105)$$

và khi truyền bit "0" được xác định theo công thức:

$$\sqrt{p_{0N\Sigma}(t_{Q-n} - nT)} = \sqrt{b_1\left(P_{0T} + \left(e^{2\omega_g T_d} - 1\right)P_T \sum_{i=0}^{n-1} b_i e^{-2\omega_g(t_{Q-n}-iT)} \right) + c} \quad (3\text{-}106)$$

Trong đó: b_1, c được xác định ở các công thức (3-55) và (3-82).

Từ các công thức (3-94), (3-103) ÷ (3-106) và sau một số biến đổi toán học, ta nhận được tỷ số tín hiệu trên nhiễu của Photodiode theo công thức:

$$\frac{S}{N}=\frac{a_1 P_T\left[1-e^{-\omega_g(t_{Q-n}-nT)}\right]}{\sqrt{b_1\left[P_{0T}+P_T D(t_{Q-n}-nT)\right]+c}+\sqrt{b_1\left[P_{0T}+P_T L(t_{Q-n}-nT)\right]+c}} \quad (3\text{-}107)$$

Trong đó:

$$D(t_{Q-n}-nT)=\left[1-e^{-2\omega_g(t_{Q-n}-nT)}\right]+L(t_{Q-n}-nT) \quad (3\text{-}108)$$

$$L(t_{Q-n}-nT)=\left(e^{2\omega_g T_d}-1\right)\sum_{i=0}^{n-1} b_i e^{-2\omega_g(t_{Q-n}-iT)} \quad (3\text{-}109)$$

Sử dụng khái niệm độ sâu điều chế - công thức (3-98), thì tỷ số tín hiệu trên tạp âm của photodiode sẽ được biểu diễn dưới dạng:

$$\frac{S}{N}=\frac{a_1 P_T\left[1-e^{-\omega_g(t_{Q-n}-nT)}\right]}{\sqrt{b_1 P_T\left[\left(\frac{1}{m}-1\right)+D(t_{Q-n}-nT)\right]+c}+\sqrt{b_1 P_T\left[\left(\frac{1}{m}-1\right)+L(t_{Q-n}-nT)\right]+c}} \quad (3\text{-}110)$$

Hay:

$$\frac{S}{N}=\frac{a_1 P_T\left[1-e^{-\omega_g(t_{Q-n}-nT)}\right]}{\sqrt{b_1 P_T\left[(\varepsilon-1)+D(t_{Q-n}-nT)\right]+c}+\sqrt{b_1 P_T\left[(\varepsilon-1)+L(t_{Q-n}-nT)\right]+c}} \quad (3\text{-}111)$$

Còn BER vẫn được xác định theo công thức (3-102).

Nhận xét:

Khi Photodiode hoạt động ở tốc độ bit cao (tương ứng với tần số cao), thì tỷ số tín hiệu trên tạp âm (hay BER) của Photodiode không chỉ phụ thuộc vào các tham số cấu trúc (a_1, b_1, c, ω_g) của Photodiode, phụ thuộc vào thành phần một chiều P_{T0}, độ sâu điều chế m; mà còn phụ thuộc vào chu kỳ T, thời gian có xung T_d , tức là phụ thuộc vào tốc độ truyền dẫn của Photodiode (vì tốc độ truyền dẫn càng lớn thì T và T_d càng nhỏ và ngược lại).

Khi tốc độ truyền dẫn càng lớn, thành phần công suất ánh sáng một chiều càng lớn, độ sâu điều chế càng nhỏ (tức là biên độ tín hiệu hữu ích càng nhỏ) thì tỷ số tín hiệu trên tạp âm càng nhỏ và ngược lại.

chương 4. miền công tác của các photodiode

4.1 Các điều kiện để xác định miền công tác của các Photodiode

Cũng như tất cả các hệ thống viễn thông khác, trong hệ thống thông tin quang một trong những tham số truyền dẫn có tính chất quyết định chất lượng của hệ thống, đó là tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N (đối với truyền dẫn analog) hoặc xác suất sai lầm bit (đối với truyền dẫn số). Để bảo đảm chất lượng truyền dẫn cho phép thì tỷ số tín hiệu trên nhiễu của hệ thống hệ thống thông tin quang (đối với truyền dẫn analog) cần phải lớn hơn một giá trị cho trước hoặc xác suất sai lầm bit (đối với truyền dẫn số) cần phải nhỏ hơn một giá trị cho trước, các giá trị này đã được ITU-T khuyến nghị.

Tham số tỷ số tín hiệu trên nhiễu (đối với truyền dẫn analog) hoặc xác suất sai lầm bit (đối với truyền dẫn số) của hệ thống hệ thống thông tin quang được xác định thông qua các phần tử phát quang, thu quang và sợi quang trong hệ thống. Để bảo đảm tỷ số tín hiệu trên nhiễu của hệ thống (đối với truyền dẫn analog) lớn hơn một giá trị cho trước hoặc xác suất sai lầm bit (đối với truyền dẫn số) nhỏ hơn một giá trị cho trước, trước hết các phần tử phát quang, thu quang và sợi quang trong hệ thống cũng phải bảo đảm tỷ số tín hiệu trên nhiễu (đối với truyền dẫn analog) lớn hơn một giá trị cho trước hoặc xác suất sai lầm bit (đối với truyền dẫn số) nhỏ hơn một giá trị cho trước. Tức là:

- Đối với truyền dẫn analog:

$$\frac{S}{N} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \qquad (4\text{-}1)$$

- Đối với truyền dẫn số:

$$BER \leq BER_{cp} \qquad (4\text{-}2)$$

Trong đó:

$\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}$ là giá trị tỷ số tín hiệu trên nhiễu cho phép (đối với truyền dẫn analog) để bảo đảm chất lượng truyền dẫn cho phép của hệ thống,

BER_{cp} giá trị xác suất sai lầm bit cho phép (đối với truyền dẫn số) để bảo đảm chất lượng truyền dẫn cho phép của hệ thống.

Trong khuôn khổ của đề tài với mục tiêu xác định miền công tác của các Photodiode, chúng ta sẽ xem xét điều kiện của tín hiệu truyền dẫn (điều kiện của các tham số của tín hiệu truyền dẫn) tại đầu vào các Photodiode để tỷ số tín hiệu trên nhiễu của Photodiode (đối với truyền dẫn analog) lớn hơn một giá trị cho trước hoặc BER (đối với truyền dẫn số) nhỏ hơn một giá trị cho trước.

Mặt khác, cũng như các hệ thống thông tin khác công suất tín hiệu đầu vào các bộ thu quang cũng cần phải nhỏ hơn mộ giá trị cho trước để tránh quá tải cho bộ thu, tức là trạng thái của bộ thu quang không còn là tuyến tính nữa mà sẽ là phi tuyến. Khi đó, tín hiệu đầu ra của photodiode sẽ rất nhỏ và bị méo vì trong tín hiệu ra có các thành phần sóng hài bậc cao và các thành phần sóng tổ hợp. Ngoài ra, trong kỹ thuật thông tin quang công suất tín hiệu đầu vào các bộ thu quang càng lớn sẽ tạo ra tạp âm lượng tử cũng càng lớn, do đó làm ảnh hưởng đến tỷ số tín hiệu trên nhiễu của Photodiode (đối với truyền dẫn analog) hoặc BER (đối với truyền dẫn số). Do đó, công suất ánh sáng đầu cào bộ thu quang cần phải thoả mãn điều kiện:

$$P_T \le P_{T-cp\max} \qquad (4\text{-}3)$$

Nghiên cứu vấn đề này, chúng ta sẽ xem xét hai trường hợp: truyền dẫn analog và truyền dẫn số.

Đối với truyền dẫn analog, như đã phân tích ở trên miền công tác của các Photodiode được xác định theo các điều kiện từ (4-1) và (4-3). Tức là:

$$\begin{cases} \dfrac{S}{N} \geq \left(\dfrac{S}{N}\right)_{cp} \\ P_T \leq P_{T-cp\max} \end{cases} \quad (4\text{-}4)$$

Đối với truyền dẫn số, miền công tác của các Photodiode được xác định theo các điều kiện từ (4-2) và (4-3). Tức là:

$$\begin{cases} BER \geq BER_{cp} \\ P_T \leq P_{T-cp\max} \end{cases} \quad (4\text{-}5)$$

Như đã trình bầy ở chương III, trong truyền dẫn tín hiệu số BER được xác định theo công thức (3-99). Điều đó có nghĩa là: xác suất sai lầm bit BER và tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N của hệ thống hệ thống có quan hệ chặt chẽ với nhau. Từ tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N của hệ thống hệ thống ta hoàn toàn xác định được xác suất sai lầm bit BER và ngược lại. Do đó, miền công tác của các Photodiode được xác định theo các điều kiện từ (4-14) cũng có thể xác định theo điều kiện (4-4), tức là:

$$\begin{cases} \dfrac{S}{N} \geq \left(\dfrac{S}{N}\right)_{cp} \\ P_T \leq P_{T-cp\max} \end{cases} \quad (4\text{-}6)$$

nhưng với lưu ý: tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N trong điều kiện này được xác định ở hệ thống số (xác định theo công thức (3-107)) .

Trên cơ sở đó, ta sẽ xác định miền công tác của các Photodiode.

4.2. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn analog

Như đã trình bầy ở chương III, trong truyền dẫn analog với tần số tín hiệu truyền dẫn cao tỷ số tín hiệu trên nhiễu của Photodiode được biểu diễn bởi công thức (3-87). Do đó, từ các công thức (3-87) và (4-1) ta có:

$$\frac{a\,m^2\,P_{0T}^2}{\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)\left(b_1\,P_{0T}\left[1+\frac{m}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\right]+c\right)} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \qquad (4\text{-}7)$$

Vì mẫu số của vế trái công thức (4-7) lớn hơn "0", nên ta có thể viết công thức (4-7) dưới dạng:

$$a\,m^2\,P_{0T}^2 - \left(\frac{S}{N}\right)_{cp}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)\left(b_1\,P_{0T}\left[1+\frac{m}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\right]+c\right) \geq 0 \qquad (4\text{-}8)$$

Ta có thể viết lại bất phương trình (4-8) dưới dạng:

$$a\,m^2\,P_{0T}^2 - b_1\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)\left[1+\frac{m}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\right]P_{0T} - c\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right) \geq 0 \qquad (4\text{-}9)$$

Ta có thể biểu diễn bất phương trình (4-9) dưới dạng:

$$A P_{0T}^2 + B P_{0T} + C \geq 0 \tag{4-10}$$

Trong đó:

$$A = a m^2 \tag{4-11}$$

$$B = - b_1 \left(\frac{S}{N} \right)_{cp} \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_g^2} \right) \left[1 + \frac{m}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{2\omega_g} \right)^2}} \right] \tag{4-12}$$

$$C = - c \left(\frac{S}{N} \right)_{cp} \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_g^2} \right) \tag{4-13}$$

Giải bất phương trình (4-10) với lưu ý công suất ánh sáng không âm, ta nhận được:

$$P_{0T} \geq \left(\frac{S}{N} \right)_0 \frac{b_1}{2am^2} \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_g^2} \right) \left[1 + \frac{m}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{2\omega_g} \right)^2}} \right] + \sqrt{\left\{ \left(\frac{S}{N} \right)_0 \frac{b_1}{2am^2} \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_g^2} \right) \left[1 + \frac{m}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{2\omega_g} \right)^2}} \right] \right\}^2 + \left(\frac{S}{N} \right)_0 \frac{c}{am^2} \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_g^2} \right)} \tag{4-14}$$

Ta có thể biểu diễn công thức (4-14) dưới dạng:

$$P_{0T} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \alpha(m,\omega) + \sqrt{\left\{\left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \alpha(m,\omega)\right\}^2 + \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \beta(m,\omega)} \qquad (4\text{-}15)$$

Trong đó ký hiệu:

$$\alpha(m,\omega) = \frac{b_1}{2am^2}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)\left[1+\frac{m}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\right] \qquad (4\text{-}16)$$

$$\beta(m,\omega) = \frac{c}{am^2}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right) \qquad (4\text{-}17)$$

Từ các công thức (4-4) và (4-15), miền công tác của các Photodiode được xác định theo công thức:

$$\begin{cases} P_{0T} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \alpha(m,\omega) + \sqrt{\left\{\left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \alpha(m,\omega)\right\}^2 + \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \beta(m,\omega)} \\ P_{0T} \leq P_{0T-cp\max} \end{cases} \qquad (4\text{-}18)$$

Nhận xét: Khi truyền dẫn tín hiệu với tần số cao, miền công tác của các Photodiode không chỉ phụ thuộc vào các tham số cấu trúc (a, b_1, c, ω_g) của Photodiode, độ sâu điều chế m; mà còn phụ thuộc vào tần số f=ω/2π.

4.3. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn số

Từ các công thức (4-4) và (3-107), ta nhận được:

$$\frac{a_1 P_T \left[1-e^{-\omega_g (t_Q-nT)}\right]}{\sqrt{b_1\left[P_{0T}+P_T D(t_Q-nT)\right]+c} + \sqrt{b_1\left[P_{0T}+P_T L(t_Q-nT)\right]+c}} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \quad (4\text{-}19)$$

Trong đó, $D(t_Q\text{-}nT)$, $L(t_Q\text{-}nT)$ được xác định bởi các công thức (3-108) và (3-109).

Sử dụng công thức (3-98) và sau một số biến đổi toán học, công thức (4-19) sẽ trở thành:

$$\frac{a_1 P_T \left[1-e^{-\omega_g (t_Q-nT)}\right]}{\sqrt{b_1 P_T\left[\left(\frac{1}{m}-1\right)+D(t_Q-nT)\right]+c} + \sqrt{b_1 P_T\left[\left(\frac{1}{m}-1\right)+L(t_Q-nT)\right]+c}} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \quad (4\text{-}20)$$

Sử dụng công thức (3-101), công thức (4-20) sẽ trở thành:

$$\frac{a_1 P_T \left[1-e^{-\omega_g (t_Q-nT)}\right]}{\sqrt{b_1 P_T\left[(\varepsilon-1)+D(t_Q-nT)\right]+c} + \sqrt{b_1 P_T\left[(\varepsilon-1)+L(t_Q-nT)\right]+c}} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \quad (4\text{-}21)$$

Đặt:

$$\begin{aligned} a^* &= a_1\left\{\ 1-\exp\left[-\omega_g\left(t_Q-nT\right)\right]\right\} \\ b_1^* &= b_1\left[(\varepsilon-1)+D(t_Q-nT)\right] \\ b_2^* &= b_1\left[(\varepsilon-1)+L(t_Q-nT)\right] \end{aligned} \quad (4\text{-}22)$$

Khi đó, công thức (4-21) trở thành:

$$\frac{a^* P_T}{\sqrt{b_1^* P_T + c} + \sqrt{b_2^* P_T + c}} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \quad (4\text{-}23)$$

Giải bất phương trình (4-23) (xem phụ lục 1), ta nhận được:

$$P_T \geq \left[\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}}{a^*}\right]^2 \left\{b_1^* + b_2^* + 2\sqrt{b_1^* b_2^* + c\left[\frac{a^*}{\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}}\right]^2}\right\} \quad (4\text{-}24)$$

Từ các công thức (4-4) và (4-24), miền công tác của các Photodiode được xác định theo công thức:

$$\begin{cases} P_T \geq \left[\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}}{a^*}\right]^2 \left\{b_1^* + b_2^* + 2\sqrt{b_1^* b_2^* + c\left[\frac{a^*}{\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}}\right]^2}\right\} \\ P_T \leq P_{T-cp\max} \end{cases} \quad (4\text{-}25)$$

Trong đó, a^*, b_1^*, b_2^* và c được xác định ở công thức (4-22) và (3-82).

Nhận xét: Khi Photodiode hoạt động ở tốc độ bit cao (tương ứng với tần số cao), thì tỷ số tín hiệu trên tạp âm (hay BER) của Photodiode không chỉ phụ thuộc vào các tham số cấu trúc (a_1, b_1, c, ω_g) của Photodiode, phụ thuộc vào thành phần một chiều P_{T0}, độ sâu điều chế m; mà còn phụ thuộc vào chu kỳ T và thời gian có xung T_d, tức là phụ thuộc vào tốc độ truyền dẫn của Photodiode (vì tốc độ truyền dẫn càng lớn thì T và T_d càng nhỏ và ngược lại).

4.4. Ví dụ tính toán miền công tác của các Photodiode

4.4.1. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn analog

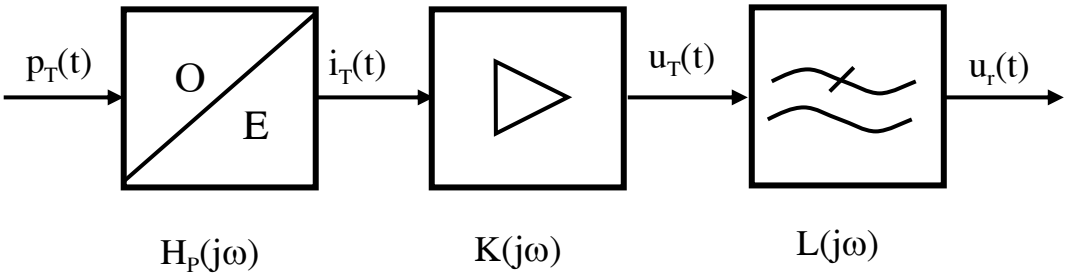
Mô hình cấu trúc bộ thu quang trong truyền dẫn analog

Để xác định miền công tác của các Photodiode, ta càn gắn các Photodiode này vào trong các cấu trúc bộ thu quang cụ thể.

Trong kỹ thuật thông tin quang, cấu trúc cơ bản của một bộ thu quang trong truyền dẫn analog bao gồm:

- Photodiode (APD/PIN- Photodiode)
    - Bộ tiền khuếch đại và một hoặc nhiều bộ khuếch đại điện áp,
    - Bộ lọc thông thấp.

Mô hình cấu trúc cơ bản của một bộ thu quang trong truyền dẫn analog được chỉ ra ở hình 4.1.



Hình 4.1. Mô hình cấu trúc cơ bản một bộ thu quang trong truyền dẫn analog

Trong đó:

$H_P(j\omega)$: Hàm truyền dẫn của Photodiode (APD/PIN- Photodiode),

$K(j\omega)$: Hàm truyền dẫn của bộ tiền khuếch đại và một hoặc nhiều bộ khuếch đại điện áp,

$L(j\omega)$: Hàm truyền dẫn của bộ lọc thông thấp.

$p_T(t)$: Tín hiệu ánh sáng tới photodiode,

$i_T(t)$: Dòng tín hiệu ra của photodiode,

$u_T(t)$: Điện áp tín hiệu ra của bộ khuếch đại,

$u_r(t)$: Điện áp tín hiệu ra sau bộ lọc.

Mục tiêu của đề tài là xác định miền công tác của các Photodiode, nên ta giả thiết bộ thu quang analog gồm các phần tử sau:

* Photodiode Ge-APD với các tham số:

$$M = 50; \quad I_T = 80nA; \quad I_r = 0; \quad G_C = 1\ \Omega^{-1}, \quad C_C = 2\ pF; \quad \tau_{LA} = 5ps \tag{4-26}$$

* Bộ tiền khuếch đại và bộ khuếch đại điện áp với hàm truyền đạt lý tưởng:

$$K(j\omega) = 1, \quad G_K \approx 0, \quad C_K = 3\ pF \tag{4-27}$$

* Bộ lọc với hàm truyền đạt lý lưởng trong băng thông công tác:

$$L(j\omega) = 1 \tag{4-28}$$

Đồng thời, giả thiết:

* Độ sâu điều chế: m = 0,7
* Hiệu suất lượng tử: $\eta = 0,7$
* Bước sóng ánh sáng: $\lambda = 1,5\ \mu m$
* Nhiệt độ công tác: $T = 300^oK$.

(4-29)

Với các giả thiết trên và sử dụng công thức (1-2), ta nhận được hệ số biến đổi quang - điện của photodiode là:

$$H_T = 0,85\ A/W. \tag{4-30}$$

Từ cấu trúc của bộ thu quang, ta thấy trở kháng tải của photodiode chính là trở kháng vào của bộ khuếch đại. Do đó, ta có:

$$G_{T\text{-}APD} = G_K \approx 0, \quad C_{T\text{-}APD} = C_K = 3\ pF. \tag{4-31}$$

Từ công thức (3-4) và giả thiết (4-26), ta nhận được hằng số thời gian đặc trưng cho sự biến đổi quang-điện của APD:

$$\tau_{RC} = 5 \text{ ps.} \quad (4\text{-}32)$$

Từ công thức (4-32) và với lưu ý đối với photodiode Ge-APD thì τ_{LA} =5ps, ta xác định được hằng số thời gian của APD trong quá trình biến đổi quang-điện là:

$$\tau_{APD} = \tau_{RC} + \tau_{LA} = 10 \text{ ps.} \quad (4\text{-}33)$$

Từ các công thức (3-10) và (4-33), ta xác định được tần số góc giới hạn của APD:

$$\omega_{g\text{-}APD} = 10^{11} . \quad (4\text{-}34)$$

Giả thiết băng tần của bộ thu quang từ $0 \div \omega_g$ và theo công thức (3-45), ta nhận được băng tần tạp âm của bộ thu quang là:

$$B_R = 0{,}707 \frac{\omega_g}{2\pi} \quad (4\text{-}35)$$

Thay các giá trị từ (4-26) ÷ (4-35) vào các công thức (3-55), (3-80) và (3-82) ta nhận được:

$$a = 9{,}3 . 10^2 , \quad (4\text{-}36)$$

$$b_1 = 0{,}68 . 10^{-5} , \quad (4\text{-}37)$$

$$c = 13{,}97 . 10^{-10} . \quad (4\text{-}38)$$

Thay các giá trị từ (4-34), (4-36) ÷ (4-38) vào các công thức (4-16) và (4-17) ta nhận được các giá trị $\alpha(m,\omega)$ và $\beta(m,\omega)$ theo các công thức:

$$\alpha(\omega) = 9{,}6.10^{-7}.\left[1+\left(\frac{\omega}{10^{11}}\right)^2\right]\left[1+\frac{0{,}7}{\sqrt{1+\frac{1}{4}\left(\frac{\omega}{10^{11}}\right)^2}}\right] \quad (4\text{-}39)$$

$$\beta(\omega) = 3{,}06.10^{-12}.\left[1+\left(\frac{\omega}{10^{11}}\right)^2\right] \quad (4\text{-}40)$$

Khi đó, miền công tác của các Photodiode theo công thức (4-6) sẽ là hàm số của tần số và tỷ số tín hiệu trên nhiễu và được xác định theo công thức:

$$\begin{cases} P_{0T} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp}\alpha(\omega) + \sqrt{\left\{\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}\alpha(\omega)\right\}^2 + \left(\frac{S}{N}\right)_{cp}\beta(\omega)} \\ P_{0T} \leq P_{0T-cp\max} \end{cases} \quad (4\text{-}41)$$

Trong đó, $\alpha(\omega)$ và $\beta(\omega)$ được xác định ở các công thức (4-39) và (4-40).

Và miền công tác của các Photodiode trong trường hợp này được biểu diễn trên hình 4.2.

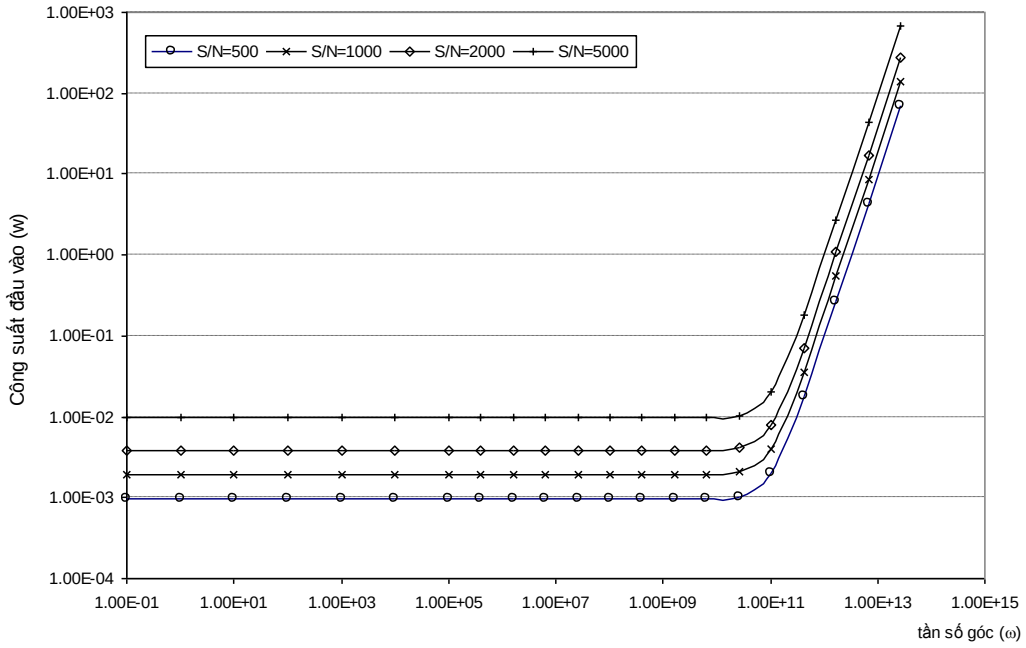
Từ hình 4.2, ta có nhận xét:

Với miền tần số thấp, độ nhạy thu của photodiode gần như không thay đổi. Khi hoạt động ở miền tần số cao, độ nhạy thu của photodiode thay đổi phụ thuộc vào tần số của tín hiệu, tần số tín hiệu tăng, công suất đầu vào của photodiode cũng tăng theo.

Ngoài ra, hoạt động của photodiode cũng phụ thuộc vào tỉ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) yêu cầu đối với hệ thống. Trong ví dụ này sử dụng tính toán với các yêu cầu S/N khác nhau và cho ra các đặc tuyến khác nhau đối với mỗi

trường hợp. Khi yêu cầu về S/N tăng lên thì công suất đầu vào của photodiode cũng tăng lên

Việc xác định điểm hoạt động phù hợp cho hệ thống dựa vào các đường đặc tuyến là một yếu tố rất quan trọng khi hoạt động ở miền tần số cao. Với các hệ thống hoạt động ở tần số thấp, độ nhạy thu không phụ thuộc nhiều vào tần số tín hiệu nên việc xác định điểm hoạt động không giữ vai trò quan trọng, tuy nhiên với hệ thống hoạt động ở tần số cao các tham số độ nhạy thu và tần số lại liên quan đến nhau một cách mật thiết. Việc tăng giảm tốc độ tín hiệu hệ thống sẽ phải trả giá bằng công suất và ngược lại.



Hình 4.2. Miền công tác của Photodiode trong truyền dẫn analog

4.4.2. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn số

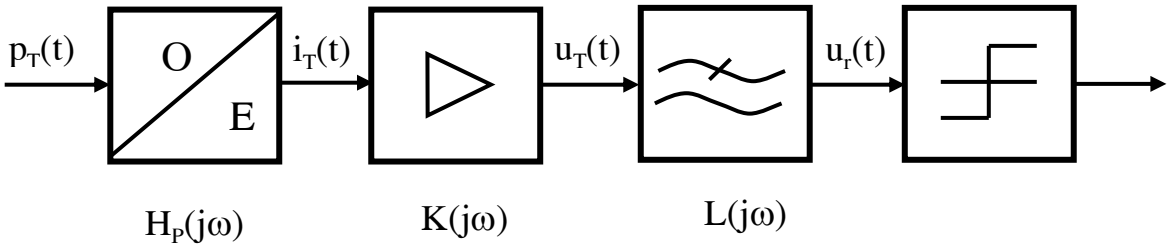
Mô hình cấu trúc bộ thu quang trong truyền dẫn số

Trong kỹ thuật thông tin quang, cấu trúc cơ bản của một bộ thu quang trong truyền dẫn số bao gồm:

- Photodiode (APD/PIN- Photodiode)
    - Bộ tiền khuếch đại và một hoặc nhiều bộ khuếch đại điện áp,
    - Bộ lọc thông thấp,

- Bộ quyết định.

Mô hình cấu trúc cơ bản của một bộ thu quang trong truyền dẫn số được chỉ ra ở hình 4.3.



Hình 4.3. Mô hình cấu trúc cơ bản của một bộ thu quang trong truyền dẫn số

Trong đó:

$H_P(j\omega)$: Hàm truyền dẫn của Photodiode (APD/PIN- Photodiode),

$K(j\omega)$: Hàm truyền dẫn của bộ tiền khuếch đại và một hoặc nhiều bộ khuếch đại điện áp,

$L(j\omega)$: Hàm truyền dẫn của bộ lọc thông thấp.

$p_T(t)$: Tín hiệu ánh sáng tới photodiode,

$i_T(t)$: Dòng tín hiệu ra của photodiode,

$u_T(t)$: Điện áp tín hiệu ra của bộ khuếch đại,

$u_r(t)$: Điện áp tín hiệu ra sau bộ lọc và tại đầu vào bộ quyết định.

Cũng tương tự như trong truyền dẫn analog, với mục tiêu của đề tài là xác định miền công tác của các Photodiode, nên ta giả thiết bộ thu quang số gồm các phần tử sau:

* Photodiode Ge-APD với các tham số xác định ở (4-26)
* Bộ tiền khuếch đại và bộ khuếch đại điện áp với hàm truyền đạt và các tham số xác định ở (4-27)
* Bộ lọc với hàm truyền đạt lý lưởng trong băng thông công tác xác định ở (4-28).

Đồng thời, cũng giả thiết hiệu suất lượng tử η, bước sóng ánh sáng λ và nhiệt độ công tác xác định ở công thức (4-29). Còn độ sâu điều chế ta giả thiết:

$$m = 0,99 . \quad (4\text{-}42)$$

Và do đó, theo (3-101) ε có giá trị:

$$\varepsilon = 1,01. \quad (4\text{-}43)$$

Với các giả thiết trên, ta nhận cũng nhận được hệ số biến đổi quang - điện của photodiode H_T theo công thức (4-30), tần số góc giới hạn của APD $\omega_{g\text{-}APD}$ theo công thức (4-34), băng tần tạp âm của bộ thu quang B_R theo công thức (4-35) và các giá trị a, b_1, c theo các công thức (4-36), (4-37) và (4-38).

Theo (3-96) và (4-30), ta nhận được:

$$a_1 = 42,5. \quad (4\text{-}44)$$

Thay các giá trị từ (4-34), (4-36) ÷ (4-38), (4-44) vào các công thức (4-22) ta nhận được các giá trị a^*, b_1^* và b_2^* theo các công thức:

$$a^* = 42,5\left\{ 1-\exp\left[-10^{11}\left(t_{Q-n}-nT\right)\right]\right\} \quad (4\text{-}45)$$

$$b_1^* = 0,68.10^{-5}\left[0,01+D(t_{Q-n}-nT)\right] \quad (4\text{-}46)$$

$$b_2^* = 0,68.10^{-5}\left[0,01+L(t_{Q-n}-nT)\right] \quad (4\text{-}47)$$

Trong đó:

$$D(t_{Q-n}-nT)=\left\{1-\exp\left[-2.10^{11}(t_{Q-n}-nT)\right]\right\}+L(t_{Q-n}-nT) \quad (4\text{-}48)$$

$$L(t_{Q-n}-nT)=\left[\exp\left(2.10^{11}T_d\right)-1\right]\sum_{i=0}^{n-1}b_i\exp\left[-2.10^{11}\left(t_{Q-n}-iT\right)\right] \quad (4\text{-}49)$$

Khi đó, miền công tác của các Photodiode vẫn được xác định theo công thức (4-25), nhưng a^*, b_1^*, b_2^* và c được xác định ở công thức (4-45),(4-46),(4-47) và (4-38).

Nếu gọi f =1/T là tần số xung (tốc độ bit), trong đó T là chu kỳ của chuỗi xung, thì miền xác định của APD không chỉ là hàm số của các tham số cấu trúc của APD mà còn là hàm số của $(S/N)_{cp}$ và t_Q (thời điểm quyết định khôi phục tín hiệu).

Khi t_Q của các xung nằm ở giữa khoản thời gian có xung (tức là $t_Q = 0,5\ T_d$) và $T_d = 0,5$ T và xét nhóm 4 xung với b_i=1 (truyền bit "1") với i = 0, 1, 2, 3 thì miền xác định của APD vẫn được xác định theo công thức (4-25). Nhưng các đại lượng a^*, b_1^* và b_2^* được xác định theo các công thức:

$$a^* = 42,5\left\{1-\exp\left[-\frac{0,25}{F}\right]\right\} \tag{4-50}$$

$$b_1^* = 0,68.10^{-5}\left[0,01+D(t_{Q-3}-3T)\right] \tag{4-51}$$

$$b_2^* = 0,68.10^{-5}\left[0,01+L(t_{Q-3}-3T)\right] \tag{4-52}$$

Trong đó:

$$D(t_{Q-3}-3T) = \left\{1-\exp\left[-\frac{0,5}{F}\right]\right\}+L(t_{Q-3}-3T) \tag{4-53}$$

$$L(t_{Q-3}-3T) = \left[\exp\left(\frac{1}{F}\right)-1\right]\sum_{i=0}^{2}\exp\left[\frac{2}{F}(3,25-i)\right] \tag{4-54}$$

Trong các công thức trên ta ký hiệu:

$$F = \frac{f}{\omega_g} = 10^{-11} f \tag{4-55}$$

gọi là tần số xung chuẩn hoá (tốc độ bit chuẩn hoá).

Khi $t_{Q-n} = T_d$ và $T_d = 0,5$ T và n=1, b_i=1 (truyền bit "1"), thì miền xác định của APD vẫn được xác định theo công thức (4-25). Trong đó, các đại lượng a^*, b_1^* và b_2^* được xác định theo các công thức:

$$a^* = 42,5\left\{1-\exp\left[-\frac{0,5}{F}\right]\right\} \quad (4\text{-}56)$$

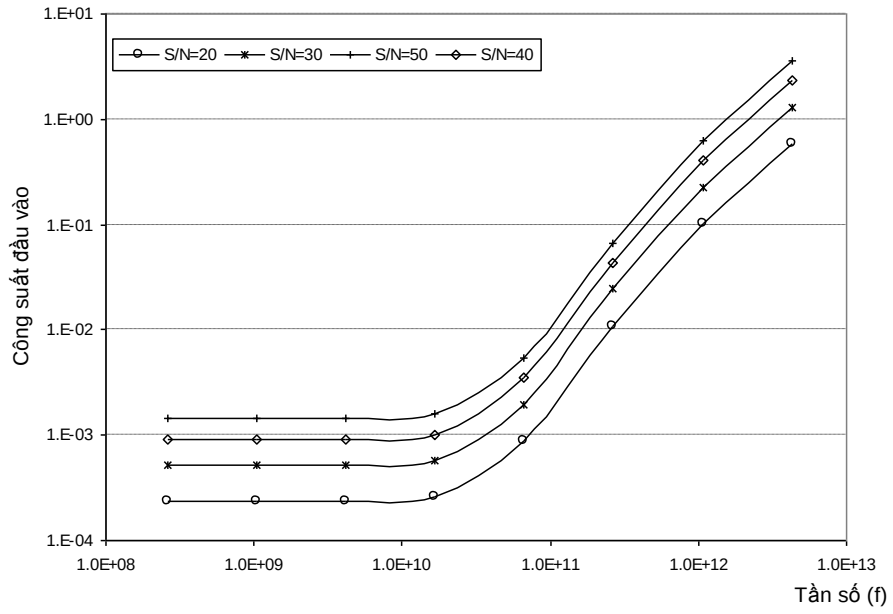
$$b_1^* = 0,68.10^{-5}\left[0,01+D(t_{Q-3}-3T)\right] \quad (4\text{-}57)$$

$$b_2^* = 0,68.10^{-5}\left[0,01+L(t_{Q-3}-3T)\right] \quad (4\text{-}58)$$

Trong đó, các đại lượng $D(t_{Q-3}-3T)$ và $L(t_{Q-3}-3T)$ được xác định theo các công thức:

$$D(t_{Q-3}-3T) = \left\{1-\exp\left[-\frac{1}{F}\right]\right\}+L(t_{Q-3}-3T) \quad (4\text{-}59)$$

$$L(t_{Q-3}-3T) = \left[\exp\left(\frac{1}{F}\right)-1\right]\sum_{i=0}^{2}\exp\left[\frac{2}{F}(3,5-i)\right] \quad (4\text{-}60)$$



Hình 4.4. Miền công tác của Photodiode trong truyền dẫn Digital

Khi đó, miền công tác của các Photodiode trong trường hợp này được biểu diễn trên hình 4.4.

Từ hình 4.4, ta có nhận xét:

Với miền tần số thấp hay tốc độ bít thấp, độ nhạy thu của photodiode gần như không thay đổi. Khi hoạt động ở miền tần số cao, độ nhạy thu của photodiode thay đổi phụ thuộc vào tần số của tín hiệu, tần số tín hiệu càng tăng, công suất đầu vào của photodiode cũng tăng theo.

Hoạt động của photodiode cũng phụ thuộc vào tỉ số tín hiệu trên tạp âm tương ứng với tỉ lệ lỗi bít (S/N, BER) yêu cầu đối với hệ thống. Trong ví dụ này sử dụng tính toán với các yêu cầu S/N khác nhau và cho ra các đặc tuyến khác nhau đối với mỗi trường hợp. Khi yêu cầu về S/N tăng lên thì công suất đầu vào của photodiode cũng tăng lên

Việc xác định điểm hoạt động phù hợp cho hệ thống dựa vào các đường đặc tuyến là một yếu tố rất quan trọng khi photodiode hoạt động ở tốc độ cao. Với các hệ thống hoạt động ở tốc độ thấp, độ nhạy thu không phụ thuộc nhiều vào tốc độ tín hiệu nên việc xác định điểm hoạt động không giữ vai trò quan trọng, tuy nhiên với hệ thống hoạt động ở tốc độ cao, các tham số độ nhạy thu và tần số lại liên quan đến nhau một cách mật thiết. Việc tăng giảm tốc độ tín hiệu hệ thống sẽ phải trả giá bằng công suất và ngược lại.

Kết luận và kiến nghị

1. Kết luận

Khi truyền dẫn tín hiệu có tốc độ cao hay băng tần rộng, thì quá trình biến đổi quang-điện của các Photodiode (PIN-Photodiode, APD) không tuân theo đặc tuyến tĩnh của nó nữa, mà là hàm số của tần số (đó chính là quá trình biến đổi động của các Photodiode). Khi tốc độ truyền dẫn càng lớn và do đó tần số truyền dẫn của hệ thống càng cao, thì ảnh hưởng của quá trình biến đổi động của các Photodiode đến chất lượng truyền dẫn càng lớn.

Để hệ thống bảo đảm tỷ số tín hiệu trên nhiễu (đối với truyền dẫn analog) lớn hơn một giá trị cho trước hoặc BER (đối với truyền dẫn số) nhỏ hơn một giá trị cho trước, trước hết các phần tử thu quang trong hệ thống phải bảo đảm tỷ số tín hiệu trên nhiễu (đối với truyền dẫn analog) lớn hơn một giá trị cho trước hoặc BER (đối với truyền dẫn số) nhỏ hơn một giá trị cho trước.

Khi truyền dẫn tín hiệu có tốc độ cao hay băng tần rộng, thì tỷ số tín hiệu trên nhiễu (đối với truyền dẫn analog) hoặc BER (đối với truyền dẫn số) của các Photodiode không chỉ là hàm số của các tham số cấu trúc mà còn là hàm số của các tham số tín hiệu truyền dẫn tại đầu vào các Photodiode (biên độ và tần số/tốc độ bit của ánh sáng tới).

Vì vậy, việc xem xét điều kiện của tín hiệu truyền dẫn tại đầu vào các Photodiode khi hoạt động ở vùng tốc độ cao hay băng tần rộng để tỷ số tín hiệu trên nhiễu của nó (đối với truyền dẫn analog) lớn hơn một giá trị cho trước hoặc BER (đối với truyền dẫn số) nhỏ hơn một giá trị cho trước, tức là giải bài toán xác định miền công tác của các Photodiode trong hệ thống thông tin quang tốc độ cao, là cần thiết.

Để đạt được mục tiêu đó, đề tài đã thực hiện được các nội dung chính sau:

- *Nghiên cứu các phần tử biến đổi quang điện trong hệ thống thông tin quang*
- *Xây dựng mô hình toán học của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao*
- *Xác định các tham số truyền dẫn của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao*
- *Xây dựng được các biểu thức xác định miền công tác của các photodiode hoạt động ở vùng tần số cao cho 2 trường hợp truyền dẫn analog và truyền dẫn số*
- *Xây dựng được chương trình phần mềm xác định miền công tác của các photodiode hoạt động ở tốc độ cao*

Kết quả đề tài có ý nghĩa lý thuyết và thực tiễn cao:

Về mặt lý thuyết, đề tài đã đề xuất được các công thức mới về S/N của các photodiode trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao và khái niệm mới về độ nhậy thu của các photodiode.

Về S/N của các photodiode trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao, trước đây người ta đưa ra các công thức xác định S/N của các photodiode trong các hệ thống thông tin quang chỉ là hàm số của các tham số cấu trúc, công suất của các nguồn nhiễu của photodiode và công suất ánh sáng tới photodiode. Còn đề tài đã xây dựng được các công thức xác định S/N của các photodiode trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao không chỉ là hàm số của các tham số cấu trúc, công suất của các nguồn nhiễu của photodiode và công suất ánh sáng tới photodiode, mà còn là hàm số của tần số hay tốc độ bit.

Về độ nhậy thu của các photodiode, trước đây người ta xác định độ nhậy thu của các photodiode trong các hệ thống thông tin quang chỉ là giá trị nhỏ nhất của công suất ánh sáng tới photodiode. Còn đề tài đã xây dựng được độ nhậy thu của các photodiode trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao là hàm số của các tham số cấu trúc, công suất của các nguồn nhiễu của photodiode và công suất ánh sáng tới photodiode, và là hàm số của tần số hay tốc độ bit. Từ các công thức này ta đưa ra khái niệm đường cong độ nhậy thu

của các photodiode trong các hệ thống thông tin quang hay khái niệm mới "Miền xác định của các photodiode" thay cho khoảng xác định của photodiode như trước đây.

Về mặt thực tiễn, đề tài đã cung cấp các sở cứ khoa học để tính toán thiết kế hiệu quả các các tuyến thông tin quang trên cơ sở nhu cầu sử dụng tốc độ truyền dẫn hay cự ly truyền dẫn mong muốn. Đồng thời, đề tài còn cung cấp các sở cứ khoa học để tính toán sử dụng hiệu quả các các hệ thống thông tin quang hiện có trên cơ sở nhu cầu sử dụng tốc độ truyền dẫn hay cự ly truyền dẫn mong muốn.

Tóm lại đề tài đã hoàn thành được mục tiêu, nội dung và kết quả của đề cương khoa học đã đăng ký

2. Kiến nghị

Về mặt lý thuyết, đề tài đã đề xuất được các công thức mới về S/N của các photodiode trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao và khái niệm mới về độ nhậy thu của các photodiode.

Về mặt thực tiễn, nhóm thực hiện đề tài xin kiến nghị có thể áp dụng kết quả đề tài trong các lĩnh vực:

Chế tạo linh kiện thu cho các hệ thống thông tin quang tốc độ cao

Tính toán thiết kế hiệu quả các các tuyến thông tin quang trên cơ sở nhu cầu sử dụng tốc độ truyền dẫn hay cự ly truyền dẫn cho các nhà thiết kế.

Tính toán sử dụng hiệu quả các các hệ thống thông tin quang hiện có trên cơ sở nhu cầu sử dụng tốc độ truyền dẫn hay cự ly truyền dẫn mong muốn cho các nhà khai thác.

Tài liệu tham khảo

[1]	Govind P.Agrawal :	Fiber-Optic Comunication Systems, 1999
[2]	Fasshauer, H. :	Optische Nachrichtensysteme: Eigenschaften und Projektierung. Dr Alfred Verlag Heidelberg, 1984.
[3]	GigaComm Corporation:	High-Speed GaAs PIN Photodiode – GPD-G002, 2002
[4]	Hoàng ứng Huyền:	Kỹ thuật thông tin quang – Tổng cục bưu điện 1993
[5]	Vũ Văn San	Hệ thống thông tin quang – NXB BĐ - 2002
[6]	U. Siegner, R. Fluck, G. Zhang and U. Keller :	Ultrafast high-intensity nonlinear absorption dynamics in low-temperature grown gallium arsenide
[7]	Sarah R. Bolton, R. A. Jenks, and C.N. Elkinton:	Nonlinear Dynamics in Ultrafast Lasers - IEEE Journal of selected topics in quantum electronics.Apr 2000
[8]	Chai Yeh:	Handbook of fiber optics theory and applications – Acaddemic Press, 1991
[9]	Gerd Keiser :	Optical Fiber Communications – Mc Graw-Hill, 1991
[10]	G. Guekos :	Photonic Devices for Telecommunications – Berlin – 1999
[11]	Nowak, W. ; Grimm, E.:	Lichtwellenleitertechnik –Dr. Alfred Huethig Verlag Heidelberg-1989.
[12]	Baier, W.:	Analyse digitaler optischer Empfaenger. Nachrichten Electronik, 11 (1985).
[13]	Geckeler, S. :	Lichtwelenleiter fuer die optische Nachrichtenuebertragung: Grundlagen, Eigenschaften und Uebertrangsmedien. Berlin [West], Heidelberg, 1987.

Phụ lục A: Chương trình tính toán miền công tác của photodiode

A.1. Lựa chọn ngôn ngữ lập trình

❖ Một số yêu cầu về lựa chọn ngôn ngữ:

Ngôn ngữ xây dựng chương trình cần phải đáp ứng được một số yêu cầu sau:

- Tính toán được một số tham số đặc tính động quan trọng của các phần tử thu quang từ đó xác định miền công tác của photodiode thu quang dưới tác động của quá trình động và yêu cầu chất lượng truyền dẫn của các phần tử này.
- Giao diện trực quan, thuận tiện cho người sử dụng.
- Kết quả tính toán biểu diễn được dưới dạng nhiều đồ thị mô tả tác động của các tham số.
- Chương trình độc lập, dễ dàng mở rộng, phát triển về sau.
- Tính toán nhanh và chính xác.

❖ Lựa chọn ngôn ngữ:

Hiện nay có rất nhiều ngôn ngữ lập trình phục vụ cho việc xây dựng và phát triển các chương trình phần mềm theo những qui mô và công dụng khác nhau. Ví dụ các ngôn ngữ lập trình đa năng như Basic, Pascal, Fortran, C, Assembler,…hoặc cũng có các phần mềm chuyên dụng phục vụ cho một mục tính toán như Matlab, Excel, MathCad, quản lý cơ sở dữ liệu như FoxPro, Access, SQL…

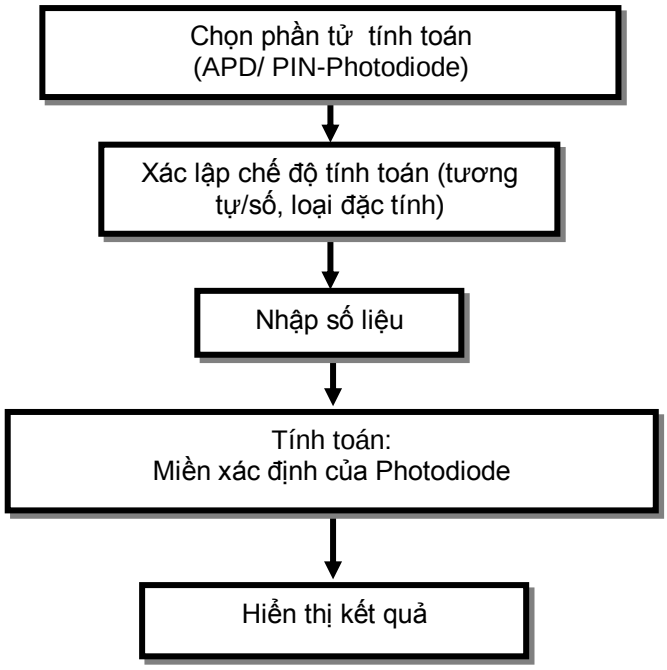
Visual Basic là một trong những ngôn ngữ mạnh để phát triển các ứng dụng trong Windows. Ngôn ngữ Visual Basic được hỗ trợ các hàm xử lý toán học,

có thể tạo các giao diện thân thiện với người sử dụng. Đặc biệt do bản chất toàn diện của mình, việc sử dụng và liên hợp với các tính năng MicroSoft Office như Excel, Access …rất thuận tiện. Từng sản phẩm này tác động như một OLE Server cho ra một số tính chất, phương pháp và sự kiện sẵn có cho thế giới bên ngoài. Chính vì vậy việc kết hợp sử dụng các tính chất sẵn có của Excel như bảng tính, đồ thị, quy chiếu,… với Visual Basic là khả năng lựa chọn phù hợp với các tiêu chí đặt ra ở trên, phục vụ cho chương trình tính toán này.

Chương trình xác định miền công tác các phần tử thu quang được viết trên ngôn ngữ Visual Basic chạy độc lập trên hệ điều hành Windows, chương trình được xây dựng dựa trên giao diện đồ họa và kỹ thuật tính lặp liên tục giúp cho việc sử dụng rất dễ dàng và thuận tiện. Người sử dụng có thể quan sát một cách liên tục sự thay đổi của các hàm đặc trưng của linh kiện theo các thông số cấu trúc lối vào và yêu cầu chất lượng đối với hệ thống.

A.2. Giới thiệu chương trình tính toán

❖ Cấu trúc chương trình:

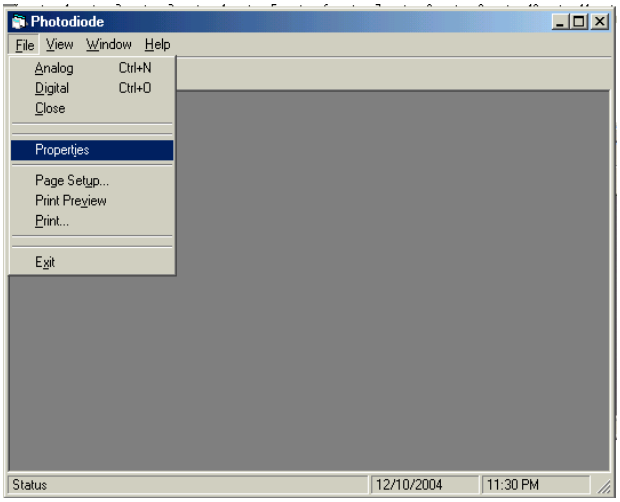


Hình A.1. Lưu đồ chương trình thực hiện tính toán miền công tác của Photodiode

Để đáp ứng được yêu cầu tính toán xác định miền công tác của các Photodiode như đã trình bầy ở các chương trên, cấu trúc chương trình tính toán được xác định như hình A1.

❖ Giao điện chương trình:

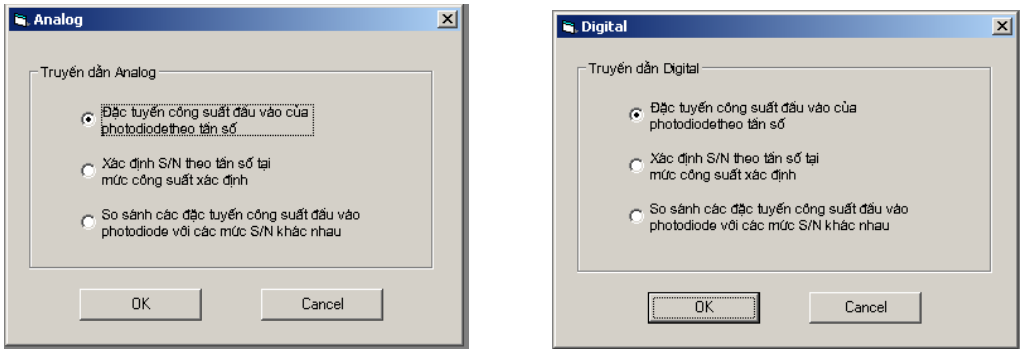
Là chương trình độc lập nên có cửa sổ với menubar quen thuộc. Người sử dụng có thể dễ dàng lựa chọn các trường hợp tính toán phù hợp.



Hình A.2. Giao diện chính của chương trình

Giao diện chương trình cho phép:

- Lựa chọn để tính toán trong truyền dẫn Analog
- Lựa chọn để tính toán trong truyền dẫn Digital

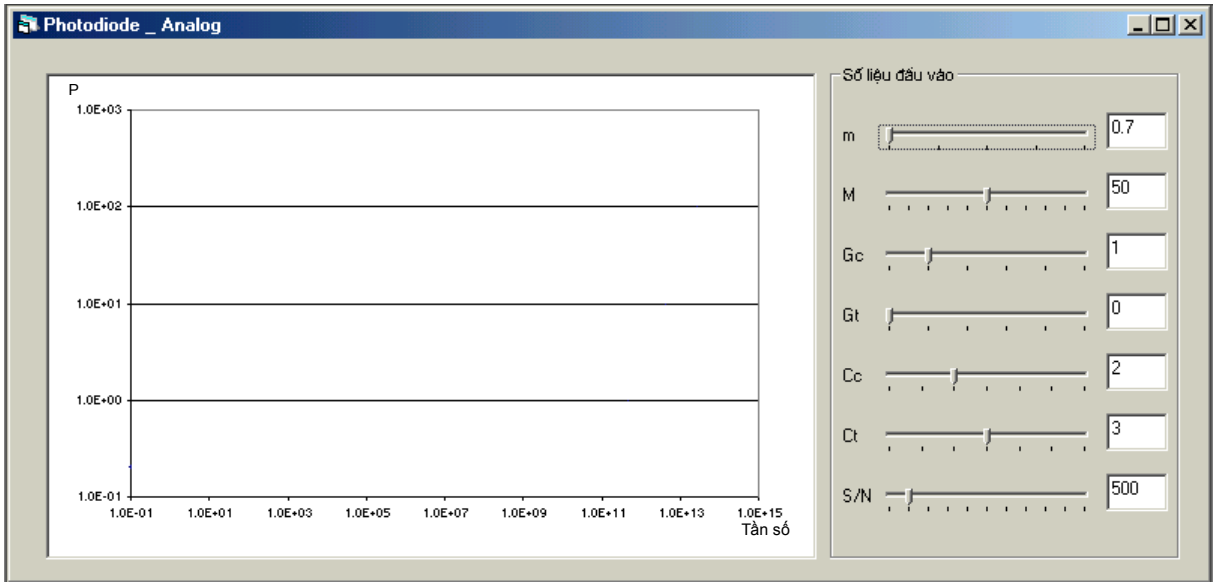


Hình A.3. Cửa sổ lựa chọn các trường hợp tính toán

Trong đó có thể lựa chọn để tính toán cho các trường hợp:

- Đặc tuyến miền công tác của Photodiode
- Xác định S/N theo tần số
- So sánh các đường đặc tuyến độ nhạy thu theo tần số.

Để đảm bảo tính trực quan, thuận tiện cho người sử dụng và biểu diễn kết quả tính toán dưới dạng đồ thị các đặc tuyến mô tả các tham số, giao diện tính toán của chương trình sẽ bao gồm cửa sổ hiển thị hàm xác định miền công tác của photodiode và các cửa sổ soạn thảo để nhập các thông số cấu trúc của linh kiện cần tính toán (hình A.4).

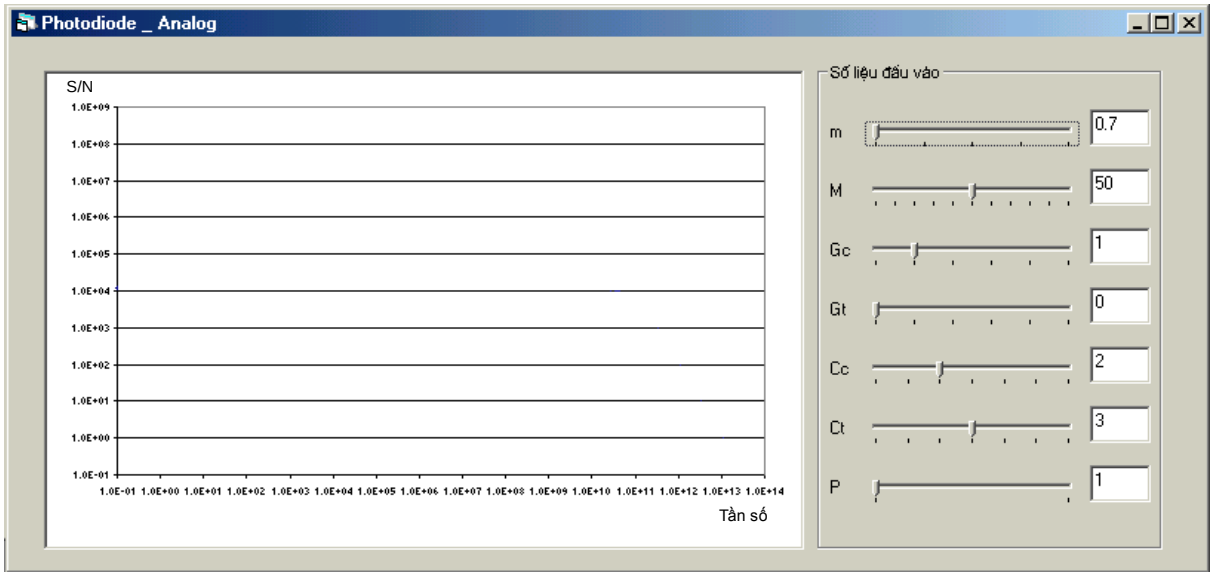


Hình A.4. Cửa sổ giao diện chương trình tính toán xác định miền công tác của photodiode

Các cửa sổ giao diện của chương trình bao gồm:

- Các cửa sổ nhập dữ liệu:
  - Các đại lượng đặc trưng cho quá trình động của APD và PIN-Photodiode:
    + Độ sâu điều chế: m với các giá trị (0,7 ÷ 1)
    + Hệ số khuếch đại tĩnh của APD: M với các giá trị (0 ÷ 50)
    + Điện dẫn G_c lớp tiếp giáp (đơn vị là Ω^{-1}), với các giá trị (0 ÷ 5)
    + Điện dẫn tải G_T (đơn vị là Ω^{-1}), với các giá trị (0 ÷ 5)
    + Điện dung lớp tiếp giáp C_c (đơn vị là pF) , với các giá trị (0 ÷ 6)
    + Điện dung tải C_t (đơn vị là pF) , với các giá trị (0 ÷ 6)
    + Tỉ số tín hiệu trên nhiễu: S/N với các giá trị (0 ÷ 5000)
- Cửa sổ đồ thị biểu diễn miền công tác của phần tử thu quang

Với giao diện được xây dựng ở trên, các thông số cấu trúc có thể được nhập ngay trong cửa sổ soạn thảo hoặc thay đổi vị trí các thanh trượt. Sử dụng chương trình rất đơn giản, chỉ cần nhập các thông số cấu trúc của linh kiện, chương trình sẽ tính toán và hiển thị hàm đặc trưng miền công tác của linh kiện lên các cửa sổ . Việc thay đổi liên tục một thông số cấu trúc sẽ cho ta thấy ảnh hưởng của thông số đó đến đặc trưng của linh kiện.



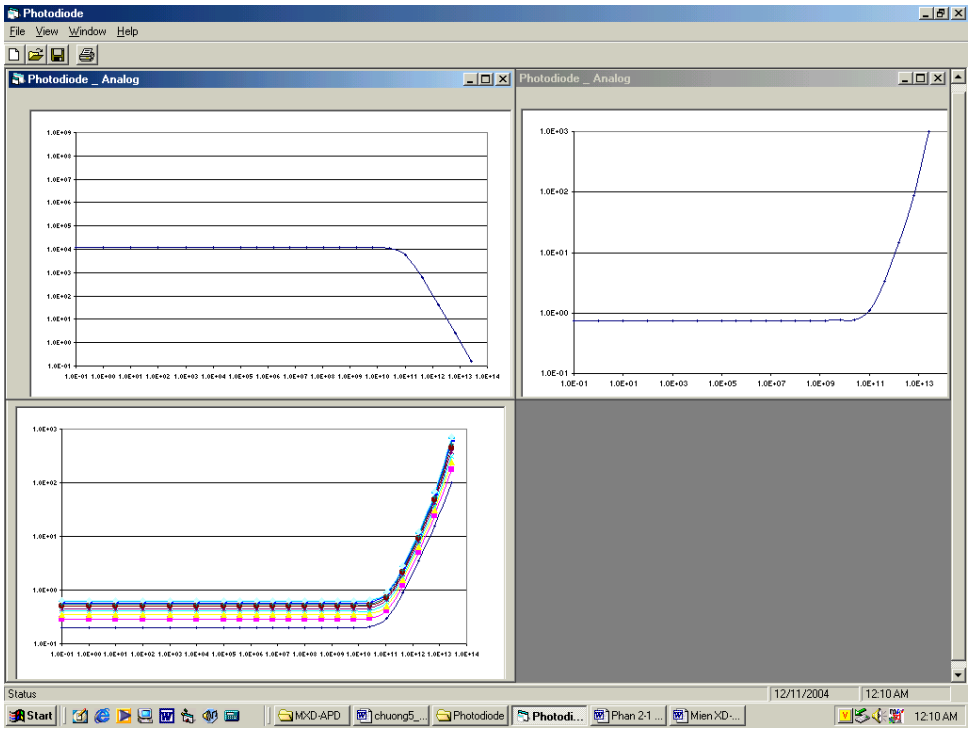
Hình A.5. Cửa sổ chương trình tính toán xác định S/N theo tần số với độ nhạy thu xác định

Ngoài ra chương trình còn có thể tính toán cho các trường hợp truyền dẫn analog và digital với các đường

- Xác định S/N theo tần số
- So sánh các đường đặc tuyến độ nhạy thu theo tần số

Sau khi thay đổi lựa chọn chế độ hoạt động của linh kiện, chương trình sẽ tự động tính toán và hiển thị các hàm đặc trưng trên của linh kiện được tính toán, như vậy ta có thể theo dõi sự thay đổi các đặc tính của linh kiện một cách liên tục theo các thông số cấu trúc đầu vào.

Đồng thời chương trình còn có thể hiện thị cùng lúc tất cả các cửa sổ để có thể tiện theo dõi kết quả



Hình A.6. Minh hoạ toàn bộ chương trình

A.3. Tính toán miền công tác của Photodiode

A.3.1. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn analog

Trên cơ sở mô hình toán học mô tả quá trình động của APD, ta sẽ xác định được công suất tín hiệu và nhiễu tại đầu ra APD. Từ đó miền công tác của các Photodiode được xác định theo công thức:

$$\begin{cases} P_{0T} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \alpha(m,\omega) + \sqrt{\left\{\left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \alpha(m,\omega)\right\}^2 + \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \beta(m,\omega)} \\ P_{0T} \leq P_{0T\max} \end{cases}$$

Trong đó ký hiệu:

$$\alpha(m,\omega)=\frac{b_1}{2am^2}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)\left[1+\frac{m}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)^2}}\right]$$

$$\beta(m,\omega)=\frac{c}{am^2}\left(1+\frac{\omega^2}{\omega_g^2}\right)$$

với

$$a=\frac{1}{2}H_T^2M^2$$

$$b=2.e.M^{2+x}H_TB_R$$

$$c=\left[2eM^{2+x}(\overline{I_T}+\overline{I_r})+4kT(G_C+G_T)\right]\ B_R$$

B_R : Băng tần tạp âm:
H_T: Hệ số biến đổi điện quang
m: Độ sâu điều chế
M: Hệ số khuếch đại tĩnh của APD
G_c: Điện dẫn lớp tiếp giáp
G_T: Điện dẫn tải
C_c: Điện dung lớp tiếp giáp
C_t: Điện dung tải
S/N: Tỉ số tín hiệu trên nhiễu
I_T: Dòng tối
I_r: Dòng rò

A.3.2. Miền công tác của các Photodiode trong truyền dẫn Digital

Trên cơ sở mô hình toán học mô tả quá trình động của APD, ta sẽ xác định được công suất tín hiệu và nhiễu tại đầu ra APD. Từ đó, miền công tác của các Photodiode được xác định theo công thức:

$$\begin{cases} P_T \geq \left[\dfrac{\left(\dfrac{S}{N}\right)_{cp}}{a^*}\right]^2 \left\{ b_1^* + b_2^* + 2\sqrt{b_1^*\, b_2^* + c\left[\dfrac{a^*}{\left(\dfrac{S}{N}\right)_{cp}}\right]^2} \right\} \\ P_T \leq \quad P_{T-cp\,\max} \end{cases}$$

Trong đó:

$$a^* = a_1 \left\{ \; 1 - \exp\left[-\omega_g \left(t_{Qn} - nT\right)\right] \right\}$$

$$b_1^* = b_1\left[\left(\varepsilon - 1\right) + D(t_{Qn} - nT)\right]$$

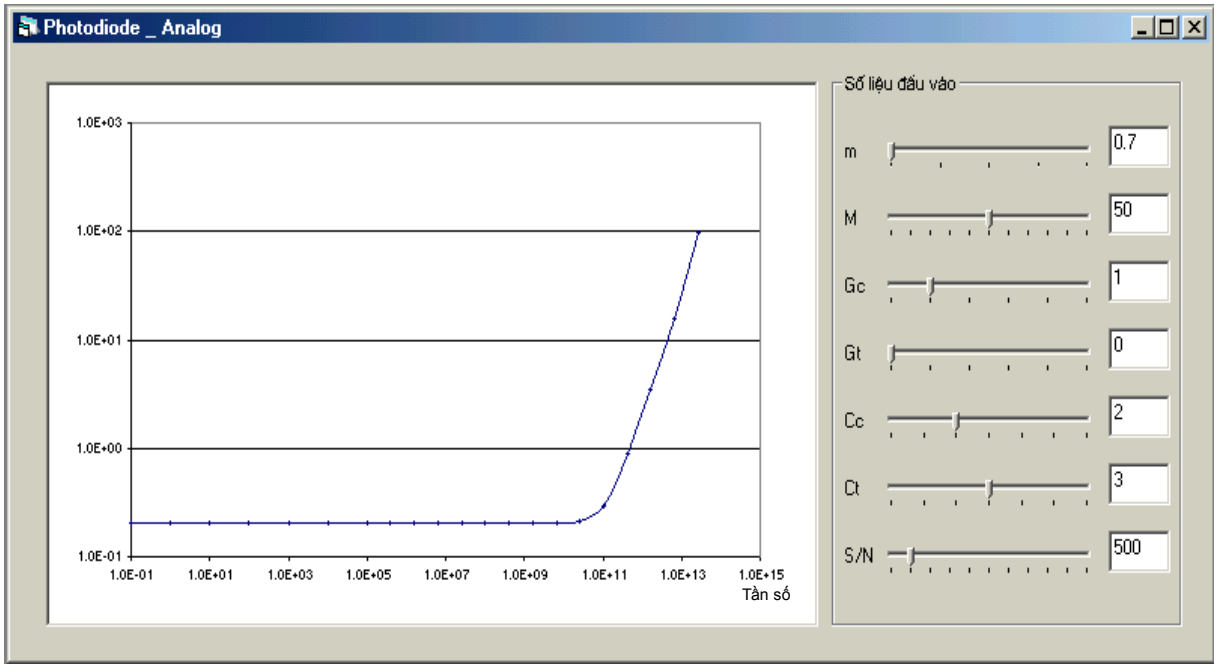
$$b_2^* = b_1\left[\left(\varepsilon - 1\right) + L(t_{Qn} - nT)\right]$$

Với $D(t_Q\text{-}nT)$, $L(t_Q\text{-}nT)$ được xác định bởi các công thức:

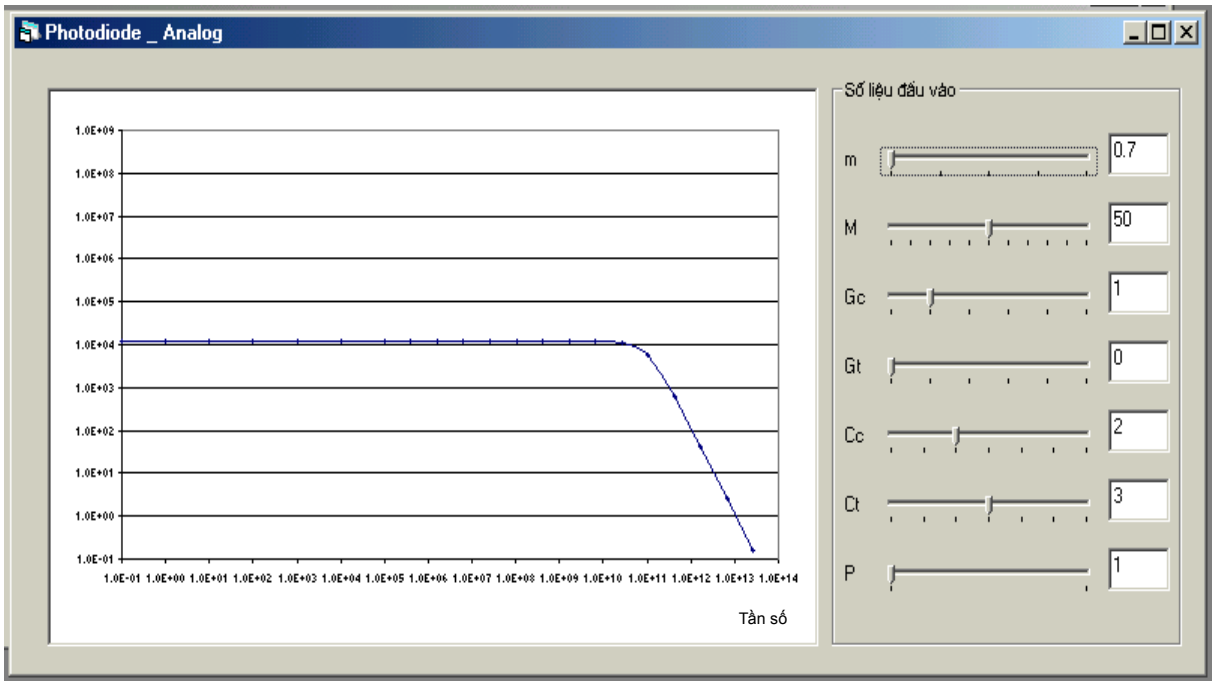
$$D(t_{Qn} - nT) = \left\{1 - \exp[-2\omega_g (t_{Qn} - nT)]\right\} + L(t_{Qn} - nT)$$

$$L(t_{Qn} - nT) = \left[\exp(2\omega_g T_d) - 1\right] \sum_{i=0}^{n-1} b_i \exp[-2\omega_g (t_{Qn} - iT)]$$

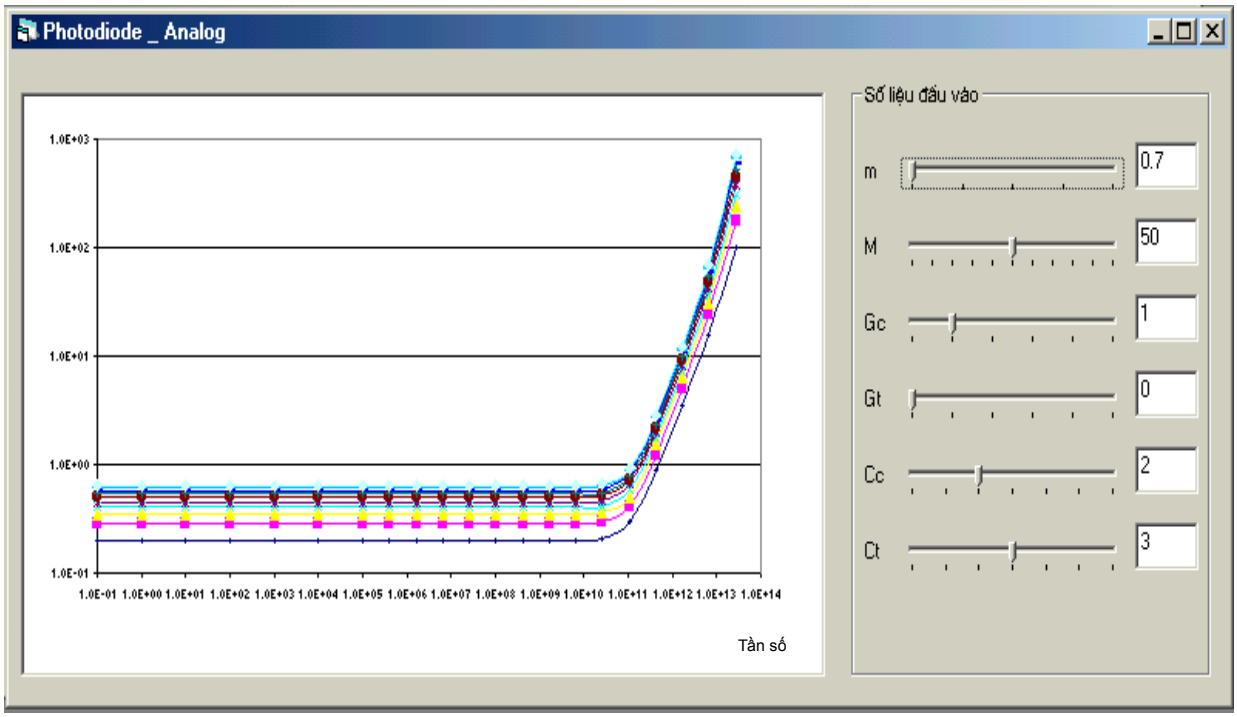
A.4 Một số hình ảnh mô tả kết quả tính toán



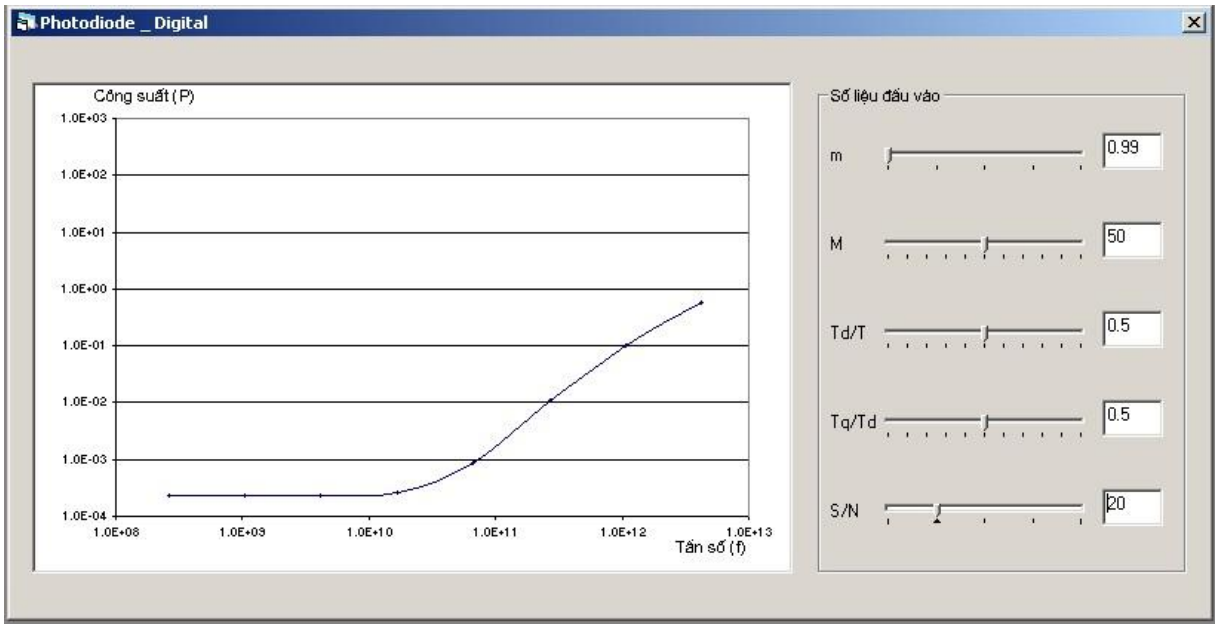
Hình A.7. Kết quả tính toán xác định miền công tác của photodiode trong truyền dẫn analog



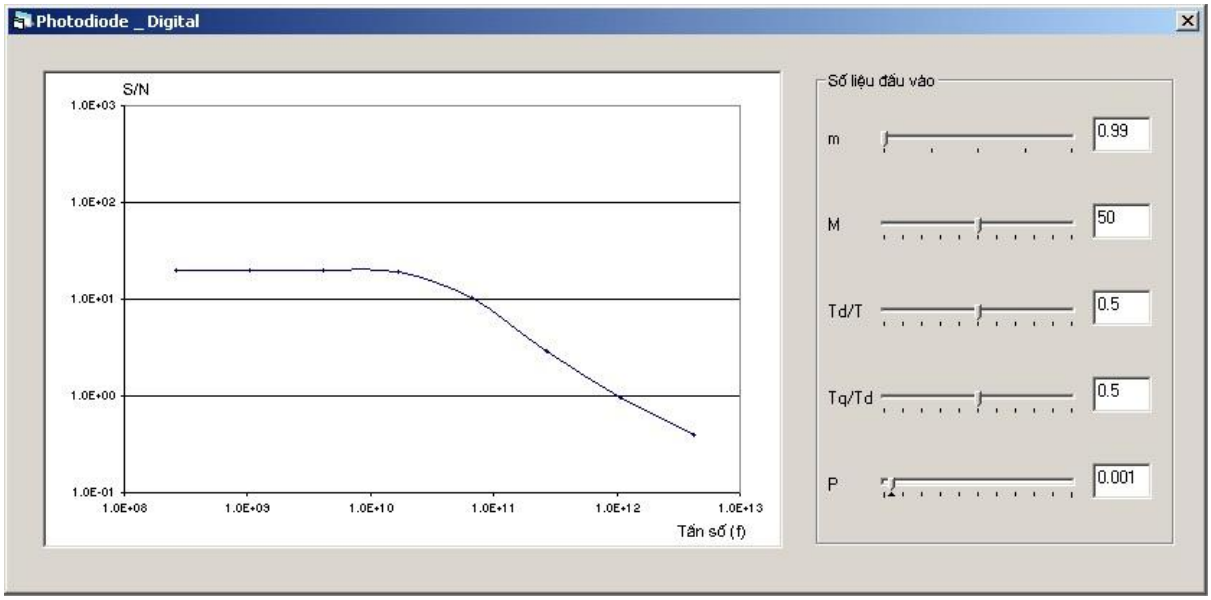
Hình A.8. Kết quả tính toán xác định S/N theo tần số với độ nhạy thu trong truyền dẫn analog



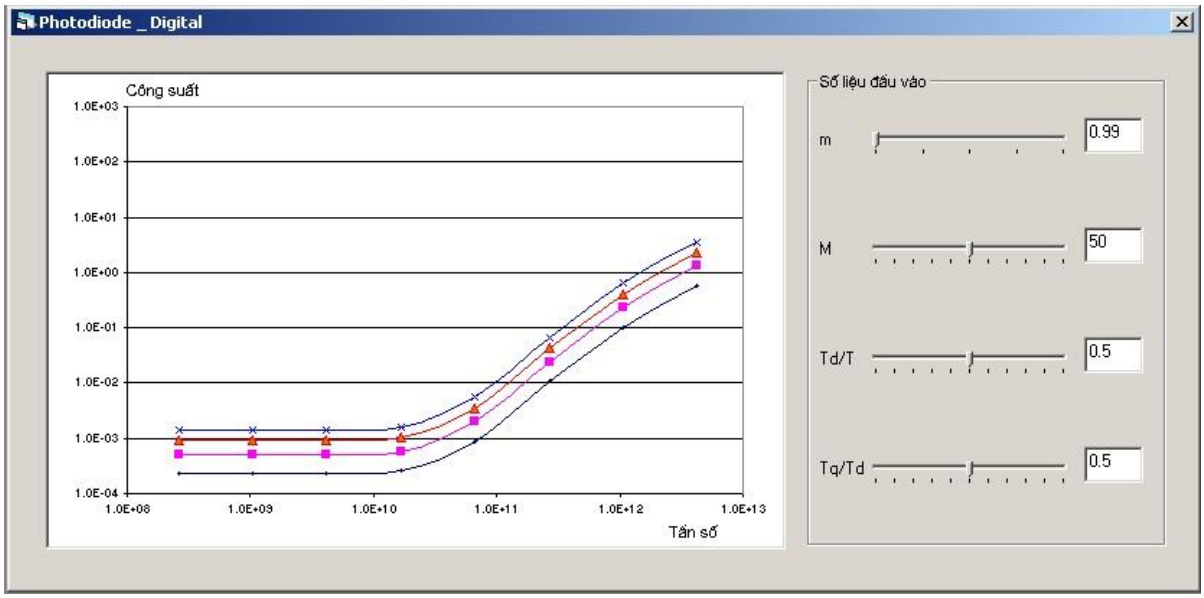
Hình A.9. Kết quả tính toán so sánh các đường đặc độ nhạy thu theo tần số trong truyền dẫn analog



Hình A.10. Kết quả tính toán xác định miền công tác của photodiode trong truyền dẫn Digital



Hình A.11. Kết quả tính toán xác định S/N theo tần số với độ nhạy thu trong truyền dẫn Digital



Hình A.12. Kết quả tính toán so sánh các đường đặc tuyến độ nhạy thu theo tần số trong truyền dẫn Digital

Phụ lục B. Chứng minh công thức (4-24)

Từ công thức (4-21):

$$\frac{a^* P_T}{\sqrt{b_1^* P_T + c} + \sqrt{b_2^* P_T + c}} \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \quad \text{(B1)}$$

Vì mẫu số của vế trái công thức (B1) lớn hơn "0", nên ta có thể viết công thức (B1) dưới dạng:

$$a^* P_T \geq \left(\frac{S}{N}\right)_{cp} \left(\sqrt{b_1^* P_T + c} + \sqrt{b_2^* P_T + c}\right) \quad \text{(B2)}$$

Đặt:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{cp} = \rho_{cp} \quad \text{(B3)}$$

Ta có thể viết lại bất phương trình (B2) dưới dạng:

$$\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right) P_T \geq \sqrt{b_1^* P_T + c} + \sqrt{b_2^* P_T + c} \quad \text{(B4)}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2 P_T^2 \geq (b_1 + b_2) P_T + 2c + 2\sqrt{(b_1^* P_T + c)(b_2^* P_T + c)}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2 P_T^2 - \left[(b_1 + b_2) P_T + 2c\right] \geq 2\sqrt{b_1 b_2 P_T^2 + c(b_1 + b_2) P_T + c^2}$$

$$\Rightarrow \left\{\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2 P_T^2 - \left[(b_1 + b_2) P_T + 2c\right]\right\}^2 \geq 4 b_1 b_2 P_T^2 + c(b_1 + b_2) P_T + c^2$$

$$\Rightarrow \left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^4 P_T^4 + \left[(b_1+b_2)P_T\right]^2 - 2\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2 P_T^2\left[(b_1+b_2)P_T\right] \geq 4c\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2 P_T^2 + 4(b_1b_2)P_T^2$$

$$\Rightarrow \left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^4 P_T^2 - 2\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2 P_T(b_1+b_2) + (b_1+b_2)^2 \geq 4\left[b_1b_2 + c\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2\right]$$

$$\Rightarrow \left[\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2 P_T - (b_1+b_2)\right]^2 \geq 4\left[b_1b_2 + c\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2\right]$$

$$\Rightarrow \left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2 P_T - (b_1+b_2) \geq 2\sqrt{b_1b_2 + c\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2 P_T \geq (b_1+b_2) + 2.\sqrt{b_1b_2 + c\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2}$$

$$\Rightarrow P_T \geq \left(\frac{\rho_{cp}}{a^*}\right)^2\left[(b_1+b_2) + 2.\sqrt{b_1b_2 + c\left(\frac{a^*}{\rho_{cp}}\right)^2}\right] \qquad \text{(B5)}$$

Thay công thức (B3) vào (B5), ta nhận được:

$$P_T \geq \left[\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}}{a^*}\right]^2 \left\{b_1^* + b_2^* + 2\sqrt{b_1^* b_2^* + c\left[\frac{a^*}{\left(\frac{S}{N}\right)_{cp}}\right]^2}\right\} \quad \text{(B6)}$$

Công thức (B6) chính là công thức (4-24) ở chương 4.

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

KỸ THUẬT THÔNG TIN QUANG 1

(Dùng cho sinh viên hệ đào tạo đại học từ xa)

Lưu hành nội bộ

HÀ NỘI - 2009

KỸ THUẬT
THÔNG TIN QUANG 1

Biên soạn: TS. LÊ QUỐC CƯỜNG
THS. ĐỖ VĂN VIỆT EM
THS. PHẠM QUỐC HỢP

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT THÔNG TIN QUANG

GIỚI THIỆU

Kỹ thuật thông tin quang ngày càng sử dụng rộng rãi trong viễn thông, truyền số liệu, truyền hình cáp, … Trong chương này chúng ta sẽ tìm hiểu sự ra đời và phát triển của thông tin quang, cấu trúc tổng quát của hệ thống thông tin quang, các ưu điểm và nhược điểm của cáp sợi quang, và các lĩnh vực ứng dụng công nghệ thông tin sợi quang.

1.1 LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG

Việc thông tin liên lạc bằng ánh sáng đã sớm xuất hiện trong sự phát triển loài người khi con người trước đó đã liên lạc với nhau bằng cách ra dấu (Hand signal). Liên lạc bằng cách ra dấu cũng là một dạng của thông tin quang: bởi vì không thể ra dấu trong bóng tối. Ban ngày, mặt trời là nguồn ánh sáng cho hệ thống này (hệ thống "Hand signal"). Thông tin được mang từ người gởi đến người nhận dựa vào sự bức xạ mặt trời. Mắt là thiết bị thu thông điệp này, và bộ não xử lý thông điệp này. Thông tin truyền theo kiểu này rất chậm, khoảng cách lan truyền có giới hạn, và lỗi rất lớn.

Một hệ thống quang sau đó, có thể có đường truyền dài hơn, là tín hiệu khói (Smoke signal). Thông điệp được gởi đi bằng cách thay đổi dạng khói phát ra từ lửa. Mẫu khói này một lần nữa được mang đến phía thu bằng ánh sáng mặt trời. Hệ thống này đòi hỏi một phương pháp mã hóa phải được đặt ra, mà người gởi và người thu thông điệp phải được học nó. Điều này có thể có thể so sánh với hệ thống mã xung (pulse codes) sử dụng trong hệ thống số (digital system) hiện đại.

Trải qua một thời gian dài từ khi con người sử dụng ánh sáng mặt trời và lửa để làm thông tin liên lạc đến nay lịch sử của thông tin quang đã qua những bước phát triển và hoàn thiện có thể tóm tắt bằng những mốc chính sau đây:

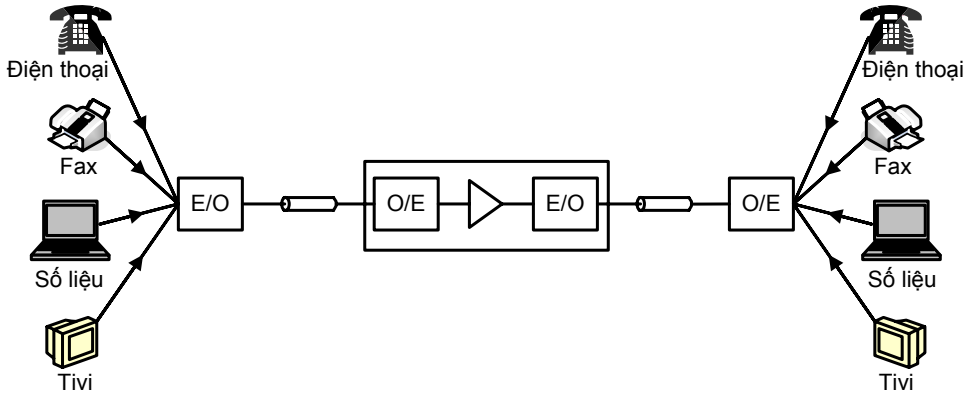
- Năm 1775: Paul Revere đã sử dụng ánh sáng để báo hiệu quân đội Anh từ Boston sắp kéo tới.
- Năm 1790: Claude Chappe, kỹ sư người Pháp, đã xây dựng một hệ thống điện báo quang (optical telegraph). Hệ thống này gồm một chuỗi các tháp với các đèn báo hiệu trên đó. Thời đó tin tức được truyền với tín hiệu này vượt chặng đường 200 Km trong vòng 15 phút.
- Năm 1854: John Tyndall, nhà vật lý tự nhiên người Anh, đã thực hiện thành công một thí nghiệm đáng chú ý nhất là ánh sáng có thể truyền qua một môi trường điện môi trong suốt.
- Năm 1870: cũng John Tyndall đã chứng minh được rằng ánh sáng có thể dẫn được theo một vòi nước uốn cong dựa vào nguyên lý phản xạ toàn phần.
- Năm 1880: Alexander Graham Bell, người Mỹ, đã phát minh ra một hệ thống thông tin ánh sáng, đó là hệ thống photophone. Ông ta đã sử dụng ánh sáng mặt trời từ một gương phẳng mỏng đã điều chế tiếng nói để mang tiếng nói đi. Ở máy thu, ánh sáng mặt trời đã được điều chế đập vào tế bào quang dẫn, selen, nó sẽ biến đổi thông điệp thành dòng điện. Bộ thu máy điện thoại hoàn tất hệ thống này. Hệ thống photophone chưa bao giờ đạt được thành công trên

thương mại, mặc dù nó đã làm việc tốt hơn, do nguồn nhiễu quá lớn làm giảm chất lượng đường truyền.

- Năm 1934: Norman R.French, kỹ sư người Mỹ, nhận được bằng sáng chế về hệ thống thông tin quang. Phương tiện truyền dẫn của ông là thanh thủy tinh.
- Vào những năm 1950: Brian O'Brien, Harry Hopkins và Nariorger Kapany đã phát triển sợi quang có hai lớp, bao gồm lớp lõi (Core) bên trong (ánh sáng lan truyền trong lớp này) và lớp bọc (Cladding) bao xung quanh bên ngoài lớp lõi, nhằm nhốt ánh sáng ở lõi. Sợi này sau đó được các nhà khoa học trên phát triển thành Fibrescope uốn cong (một loại kính soi bằng sợi quang), một thiết bị có khả năng truyền một hình ảnh từ đầu sợi đến cuối sợi. Tính uốn cong của fiberscope cho phép ta quan sát một vùng mà ta không thể xem một cách bình thường được. Đến nay, hệ thống fiberscope vẫn còn được sử dụng rộng rải, đặc biệt trong ngành y dùng để soi bên trong cơ thể con người.
- Vào năm 1958: Charles H.Townes đã phát minh ra con Laser cho phép tăng cường và tập trung nguồn sáng để ghép vào sợi.
- Năm 1960: Theodor H.Maiman đưa laser vào hoạt động thành công, làm tăng dung lượng hệ thống thông tin quang rất cao.
- Năm 1966: Charles K.Kao và George Hockham thuộc phòng thí nghiệm Standard Telecommunication của Anh thực hiện nhiều thí nghiệm để chứng minh rằng nếu thủy tinh được chế tạo trong suốt hơn bằng cách giảm tạp chất trong thủy tinh thì sự suy hao ánh sáng sẽ đượ giảm tối thiểu. Và họ cho rằng nếu sợi quang được chế tạo đủ tinh khiết thì ánh sáng có thể truyền đi xa nhiều Km.
- Năm 1967: suy hao sợi quang được báo cáo là $\alpha \approx 1000$ dB/Km.
- Năm 1970: hãng Corning Glass Works đã chế tạo thành công sợi SI có suy hao $\alpha < 20$ dB/Km ở bước sóng $\lambda = 633$ nm.
- Năm 1972: loại sợi GI được chế tạo với suy hao $\alpha \approx 4$ dB/Km.
- Năm 1983: sợi SM (Single Mode) được sản xuất ở Mỹ.
- Năm 1988: Công ty NEC thiết lập một mạng đường dài mới có tốc độ 10 Gbit/s trên chiều dài 80,1 Km dùng sợi dịch tán sắc và Laser hồi tếp phân bố.
- Hiện nay, sợi quang có suy hao $\alpha \leq 0,2$ dB/Km ở bước sóng 1550 nm, và có những loại sợi đặc biệt có suy hao thấp hơn giá trị này rất nhiều.

1.2 GIỚI THIỆU HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG ĐIỂN HÌNH

1.2.1 Sơ đồ khối cơ bản hệ thống thông tin quang

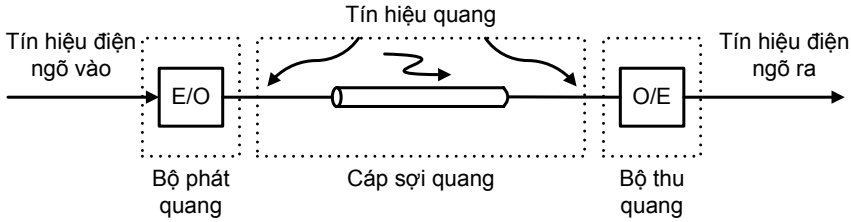


Hình 1.1 Cấu hình của một hệ thống thông tin quang.

Hình 1.1 biểu thị cấu hình cơ bản của một hệ thống thông tin quang. Nói chung, tín hiệu điện từ máy điện thoại, từ các thiết bị đầu cuối, số liệu hoặc Fax được đưa đến bộ **E/O** để chuyển thành tín hiệu quang, sau đó gởi vào **cáp quang**. Khi truyền qua sợi quang, công suất tín hiệu (ánh sáng) bị suy yếu dần và dạng sóng bị rộng ra. Khi truyền tới đầu bên kia sợi quang, tín hiệu này được đưa vào bộ **O/E** để tạo lại tín hiệu điện, khôi phục lại nguyên dạng như ban đầu mà máy điện thoại, số liệu và Fax đã gởi đi.

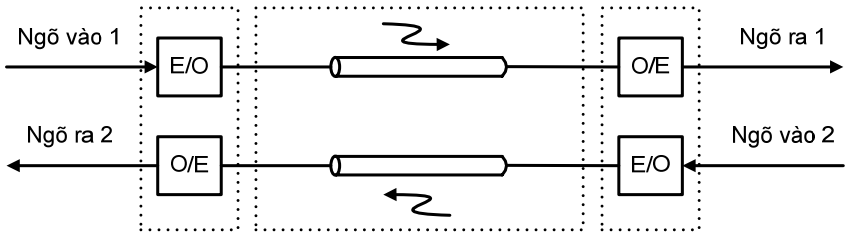
Như vậy, cấu trúc cơ bản của một hệ thống thông tin quang có thể được mô tả đơn giản như hình 1.2, gồm:

- Bộ phát quang.
- Bộ thu quang.
- Môi trường truyền dẫn là cáp sợi quang.



Hình 1.2 Cấu trúc cơ bản của một hệ thống thông tin quang.

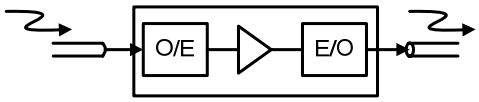
Trên hình 1.2 chỉ mới minh họa tuyến truyền dẫn quang liên lạc theo một hướng. Hình 1.3 minh họa tuyến truyền dẫn quang liện lạc theo hai hướng.



Hình 1.3 Minh họa tuyến truyền dẫn quang theo hai hướng.

Như vậy, để thực hiện truyền dẫn giữa hai điểm cần có hai sợi quang.

Nếu cự ly thông tin quá dài thì trên tuyến có thể có một hoặc nhiều trạm lặp (Repeater). Cấu trúc đơn giản của một trạm lặp (cho một hướng truyền dẫn) được minh họa ở hình 1.4.



Hình 1.4 Cấu trúc đơn giản của một trạm lặp quang.

- **Khối E/O**: bộ phát quang có nhiệm vụ nhận tín hiệu điện đưa đến, biến tín hiệu điện đó thành tín hiệu quang, và đưa tín hiệu quang này lên đường truyền (sợi quang). Đó là chức năng chính của khối E/O ở bộ phát quang. Thường người ta gọi khối E/O là nguồn quang. Hiện nay linh kiện được sử dụng làm nguồn quang là **LED** và **LASER**.
- **Khối O/E**: khi tín hiệu quang truyền đến đầu thu, tín hiệu quang này sẽ được thu nhận và biến trở lại thành tín hiệu điện như ở đầu phát. Đó là chức năng của khối O/E ở bộ thu quang. Các linh kiện hiện nay được sử dụng để làm chức năng này là **PIN** và **APD**, và chúng thường được gọi là linh kiện tách sóng quang (photo-detector).
- **Trạm lặp**: khi truyền trên sợi quang, công suất tín hiệu quang bị suy yếu dần (do sợi quang có độ suy hao). Nếu cự ly thông tin quá dài thì tín hiệu quang này có thể không đến được đầu thu hoặc đến đầu thu với công suất còn rất thấp đầu thu không nhận biết được, lúc này ta phải sử dụng trạm lặp (hay còn gọi là trạm tiếp vận). Chức năng chính của trạm lặp là thu nhận tín hiệu quang đã suy yếu, tái tạo chúng trở lại thành tín hiệu điện. Sau đó sửa dạng tín hiệu điện này, khuếch đại tín hiệu đã sửa dạng, chuyển đổi tín hiệu đã khuếch đại thành tín hiệu quang. Và cuối cùng đưa tín hiệu quang này lên đường truyền để truyền tiếp đến đầu thu. Như vậy, tín hiệu ở ngõ vào và ngõ ra của trạm lặp đều ở dạng quang, và trong trạm lặp có cả khối O/E và E/O.

1.2.2 Ưu nhược điểm của hệ thống thông tin quang

a) Ưu điểm

- **Suy hao thấp.** Suy hao thấp cho phép khoảng cách lan truyền dài hơn. Nếu so sánh với cáp đồng trong một mạng, khoảng cách lớn nhất đối với cáp đồng được khuyến cáo là 100 m, thì đối với cáp quang khoảng cách đó là 2000 m.

  Một nhược điểm cơ bản của cáp đồng là suy hao tăng theo tần số của tín hiệu. Điều này có nghĩa là tốc độ dữ liệu cao dẫn đến tăng suy hao công suất và giảm khoảng cách lan truyền thực tế. Đối với cáp quang thì suy hao không thay đổi theo tần số của tín hệu.
- **Dải thông rộng.** Sợi quang có băng thông rộng cho phép thiết lập hệ thống truyền dẫn số tốc độ cao. Hiện nay, băng tần của sợi quang có thể lên đến hàng THz.
- **Trọng lượng nhẹ.** Trọng lượng của cáp quang nhỏ hơn so với cáp đồng. Một cáp quang có 2 sợi quang nhẹ hơn 20% đến 50% cáp Category 5 có 4 đôi. Cáp quang có trọng lượng nhẹ hơn nên cho phép lắp đặt dễ dàng hơn
- **Kích thước nhỏ.** Cápsợi quang có kích thước nhỏ sẽ dễ dàng cho việc thiết kế mạng chật hẹp về không gian lắp đặt cáp.
- **Không bị can nhiễu sóng điện từ và điện công nghiệp.**

– **Tính an toàn.** Vì sợi quang là một chất điện môi nên nó không dẫn điện.

Bảng 1.1. So sánh giữa cáp quang và cáp đồng.

Đặc tính	Cáp đồng	Cáp quang	
		Sợi đa mode	Sợi đơn mode
Dải thông	100 MHz	1 GHz	> 100 GHz
Cự ly truyền dẫn	100 m	2000 m	40.000 m
Xuyên kênh	Có	Không	
Trọng lượng	Nặng hơn	Nhẹ hơn	
Kích thước	Lớn hơn	Nhỏ hơn	

– **Tính bảo mật.** Sợi quang rất khó trích tín hiệu. Vì nó không bức xạ năng lượng điện từ nên không thể bị trích để lấy trộm thông tin bằng các phương tiện điện thông thường như sự dẫn điện bề mặt hay cảm ứng điện từ, và rất khó trích lấy thông tin ở dạng tín hiệu quang.

– **Tính linh hoạt.** Các hệ thống thông tin quang đều khả dụng cho hầu hết các dạng thông tin số liệu, thoại và video.

b) Nhược điểm

– **Vấn đề biến đổi Điện-Quang**. Trước khi đưa một tín hiệu thông tin điện vào sợi quang, tín hiệu điện đó phải được biến đổi thành sóng ánh sáng.

– **Dòn, dễ gẫy.** Sợi quang sử dụng trong viễn thông được chế tạo từ thủy tinh nên dòn và dễ gẫy. Hơn nữa kích thước sợi nhỏ nên việc hàn nối gặp nhiều khó khăn. Muốn hàn nối cần có thiết bị chuyên dụng.

– **Vấn đề sửa chữa.** Các quy trình sửa chữa đòi hỏi phải có một nhóm kỹ thuật viên có kỹ năng tốt cùng các thiết bị thích hợp.

– **Vấn đề an toàn lao động.** Khi hàn nối sợi quang cần để các mảnh cắt vào lọ kín để tránh đâm vào tay, vì không có phương tiện nào có thể phát hiện mảnh thủy tinh trong cơ thể. Ngoài ra, không được nhìn trực diện đầu sợi quang hay các khớp nối để hở phòng ngừa có ánh sáng truyền trong sợi chiếu trực tiếp vào mắt. Ánh sáng sử dụng trong hệ thống thông tin quang là ánh sáng hồng ngoại, mắt người không cảm nhận được nên không thể điều tiết khi có nguồn năng lượng này, và sẽ gây nguy hại cho mắt.

1.3 ỨNG DỤNG VÀ XU THẾ PHÁT TRIỂN

1.3.1.Ứng dụng trong Viễn thông

– Mạng đường trục quốc gia.

– Đường trung kế.

– Đường cáp thả biển liên quốc gia.

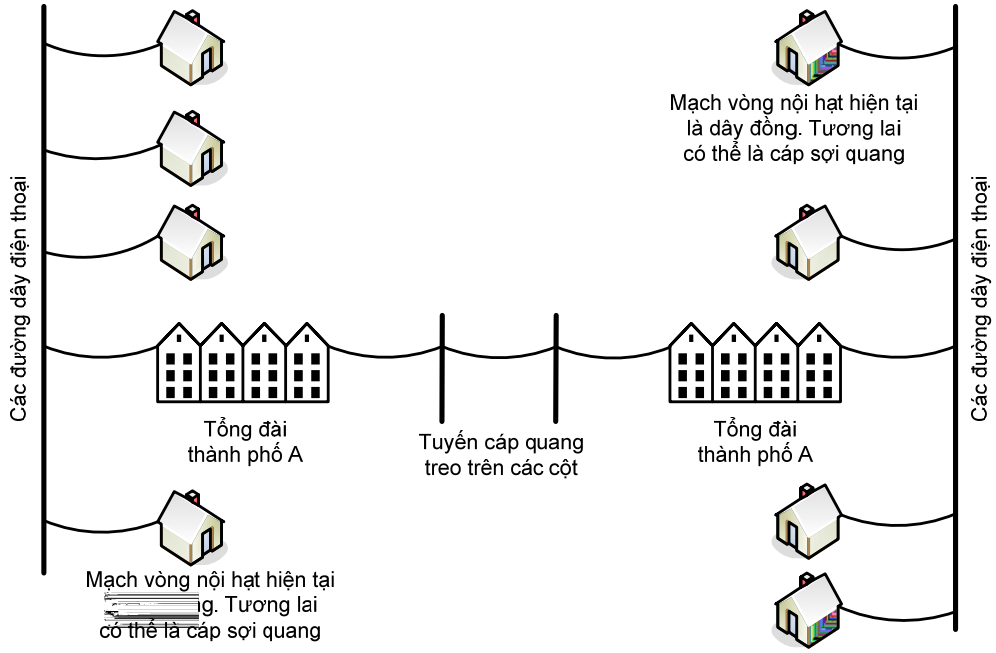
1.3.2.Ứng dụng trong dịch vụ tổng hợp.

– Truyền số liệu.

– Truyền hình cáp.

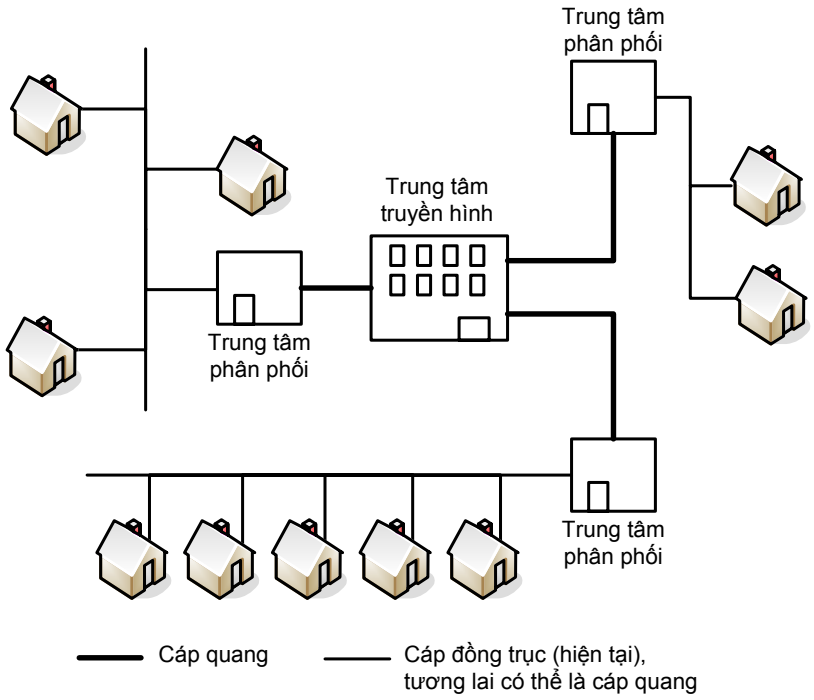
Dưới đây minh họa một vài ứng dụng sử dụng cáp sợi quang.

Cáp sợi quang hiện nay được sử dụng cho rất nhiều ứng dụng khác nhau. Chẳng hạn, nhiều công ty điện thoại đang sử dụng các tuyến cáp quang để truyền thông giữa các tổng đài, qua các thành phố, qua các nước khác nhau và qua những tuyến dài trên biển (xem hình 1.5). Hiện nay ở một số nước đã có kế hoạch mở rộng cáp quang đến các hộ gia đình để cung cấp các dịch vụ videophone chất lượng cao.



Hình 1.5 Kết nối các tổng đài bằng cáp sợi quang.

Các công ty truyền hình cáp đang triển khai các đường cáp quang để truyền tải những tín hiệu chất lượng cao từ trung tâm đến các vị trí trung chuyển phân bố xung quanh các thành phố (hình 1.6). Sợi quang nâng cao được chất lượng của các tín hiệu truyền hình và làm tăng số kênh khả dụng. Trong tương lai cáp quang có thể nối trực tiếp đến các hộ gia đình cung cấp nhiều dịch vụ mới cho người sử dụng. Những dịch vụ dựa trên cáp quang như truyền hình tương tác, giao dịch ngân hàng tại gia, hay làm việc từ một hệ thống văn phòng tại gia đã được đưa vào kế hoạch sử dụng trong tương lai.



Hình 1.6 Mạng truyền hình cáp quang.

Sợi quang là phương tiện lý tưởng cho truyền số liệu tốc độ cao. Tín hiệu không bị méo bởi nhiễu từ môi trường xung quanh. Tính cách điện của sợi quang tạo ra một giao tiếp an toàn giữa các máy tính, các thiết bị đầu cuối, và các trạm làm việc. Rất nhiều trung tâm máy tính đang sử dụng cáp sợi quang để cung cấp các đường truyền số liệu tốc độ cao ở các mạng LAN.

TÓM TẮT

Với đặc tính suy hao thấp, băng thông rộng, kích thước nhỏ, nhẹ, không bị cang nhiễu sóng điện từ và điện công nghiệp làm cho sợi quang được sử dụng trong nhiều lĩnh vực như lĩnh vực viễn thông: viễn thông đường dài, viễn thông quốc tế sử dụng cáp quang vượt đại dương, mạng trung kế, mạng nội hạt thuê bao; lĩnh vực công nghiệp: đường truyền tín hiệu điều khiển tự động trong hệ thống tự động, công nghiệp dệt; lĩnh vực y học; lĩnh vực quân sự. Sợi quang chỉ có thể truyền tín hiệu dưới dạng ánh sáng nên các nguồn tín hiệu điện được chuyển thành ánh sáng bằng cách sử dụng LED hoặc LASER. Quá trình này được xử lý và diễn ra ở đầu phát, và được gọi là bộ phát quang. Tín hiệu quang này được ghép vào sợi và truyền đến bộ thu quang. Sau khi đến đầu thu, các tín hiệu này được chuyển trở lại thành tín hiệu điện thông qua linh kiện PIN hoặc APD. Mặc dù sợi quang có suy hao thấp nhưng tín hiệu vẫn bị suy yếu, do đó đôi lúc trên hệ thống cũng cần bộ lặp quang, còn gọi trạm tiếp vận.

Với tiềm năng về băng thông nên hệ thống truyền dẫn sợi quang đã và đang phát triển trong hệ thống truyền dẫn số đường dài, tốc độ cao từ hàng trăm Mega bit/s đến hàng Tera bit/s nhờ sử dụng công nghệ ghép kênh theo bước sóng quang WDM.

CÂU HỎI ÔN TẬP VÀ BÀI TẬP

1.1. Trình bày cấu trúc tổng quát của một hệ thống thôngtin quang.

1.2. Mô tả chức năng các thành phần trên hệ thống thông tin quang.

1.3. Nêu các ưu điểm của sợi quang.

1.4. Nêu các nhược điểm của sợi quang.

1.5. Trình bày các ứng dụng của thông tin bằng sợi quang.

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM

1.6. Cấu trúc cơ bản của một hệ thống thông tin quang bao gồm:

a. Máy phát, máy thu và môi trường truyền dẫn.

b. Máy phát quang, máy thu quang và cáp đồng trục.

c. Máy phát quang, máy thu quang và cáp sợi quang.

d. Cả a, b, c đều đúng

1.7. Tín hiệu truyền trên sợi quang là:

a. Dòng điện

b. .Điện áp.

c. Ánh sáng

d. .Cả a, b, c đều đúng.

1.8. Linh kiện tách sóng quang có nhiệm vụ:

a. Khuếch đại ánh sáng.

b. Biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện.

c. Biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang.

d. Sửa dạng tín hiệu quang

1.9. Nguồn quang có nhiệm vụ:

a. Biến đổi tín hiệu điện sang tín hiệu quang.

b. Biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện.

c. Khuếch đại ánh sáng.

d. Sửa dạng tín hiệu quang

1.10. Một tuyến truyền dẫn quang cần sử dụng ít nhất mấy sợi quang?

a. 1 sợi quang

b. 4 sợi quang

c. 2 sợi quang

d. 8 sợi quang

1.11. Sợi quang có ưu điểm gì ?

a. Dễ gẫy

b. Suy hao thấp

c. Băng thông hẹp

d. Dễ bị nhiễu

1.12. Bộ E/O có chức năng gì?

a. Chuyển đổi tín hiệu điện thành ánh sáng

b. Chuyển đổi ánh sáng thành tín hiệu điện

c. Khuếch đại ánh sáng

d. Chia tín hiệu ánh sáng

1.13. Bộ O/E có chức năng gì?

a. Chuyển đổi tín hiệu điện thành ánh sáng

b. Chuyển đổi ánh sáng thành tín hiệu điện

c. Khuếch đại ánh sáng

d. Chia tín hiệu ánh sáng

TAI LIỆU THAM KHẢO

[1] **J. M. Senior**. *Optical Fiber Communications: Principles and Practice*. Second edition, Prentice Hall, 1993.

[2] **G. Keiser.** *Optical Fiber Communications* **.** Third edition, McGraw-Hill, 2000.

[3] **J. Gowar**. *Optical Communication Systems*. Second edition, Prentice-Hall, 1993.

[4] **G. P. Agrawal.** *Fiber-Optic Communication Systems*. Second edition, John Wiley & Sons, 1997.

[5] **Max Ming – Kang Liu**. *Principles and Applications of Optical Communications*, 2001.

[6] **Vũ Văn San**. *Hệ thống Thông Tin Quang, tập 1*. Nhà xuất bản Bưu Điện, 7-2003.

[7] **John G. Proakis**. *Digital Communications*. Third edition, McGrawHill, 1995.

[8] **Herbert Taub, Donald L.** Schilling. Principles of Communications Systems. McGraw-Hill, 1986.

CHƯƠNG 2

SỢI QUANG

GIỚI THIỆU

Sợi quang là một môi trường thông tin đặc biệt có thể so sánh với các môi trường khác như cáp đồng hoặc không gian tự do. Một sợi quang cung cấp một môi trường truyền dẫn suy hao thấp trên một dãi tần số rộng lớn ít nhất là 2.5 THz, hay cao hơn với các loại sợi quang đặc biệt, dãi thông của nó rộng hơn dải thông của cáp đồng hay bất cứ môi trường truyền dẫn nào. Dải thông này có thể truyền hàng trăm triệu cuộc gọi đồng thời, hoặc hàng chục triệu trang web trong một giây. Đặc tính suy hao thấp cho phép truyền tín hiệu ở khoảng cách dài với tốc độ cao trước khi chúng được khuếch đại. Với hai đặc tính suy hao thấp và dải thông cao nên hệ thống thông tin sợi quang đã được sử dụng rộng rãi ngày nay.

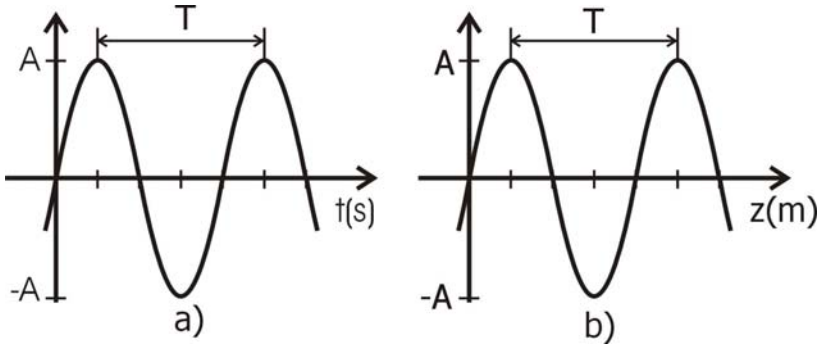
Khi hệ thống truyền dẫn phát triển ở khoảng cách xa hơn và tốc độ bit cao hơn, độ tán sắc trở thành một hệ số giới hạn quan trọng. Taùn saéc laø hieän töôïng caùc thaønh phaàn khaùc nhau cuûa tín hieäu di chuyeån vôùi vaän toác khaùc nhau trong sôïi quang. Đặc biệt, tán sắc màu là hiện tượng các thành phần tần số (hoặc bước sóng) của tín hiệu di chuyển với vận tốc khác nhau. Nói chung, tán sắc dẫn đến việc xung bị trải rộng ra và vì vậy đáp ứng xung của các bit gần nhau giao thoa với nhau. Trong hệ thống thông tin, điều này dẫn đến sự chồng xung của các bit gần nhau. Hiện tượng này được gọi là giao thoa giữa các kí tự gần nhau (InterSymbol Interference - ISI). Khi một hệ thống phát triển lên một số lượng lớn bước sóng, khoảng cách và tốc độ bit cao hơn, các hiệu ứng phi tuyến trong sợi quang bắt đầu xảy ra. Như chúng ta sẽ thấy, có sự tương tác phức tạp của các hiệu ứng phi tuyến với tán sắc màu.

Chúng ta bắt đầu chương này bằng cách thảo luận các nguyên lý cơ bản của sự lan truyền ánh sáng trong sợi quang, bắt đầu từ mô hình quang hình học đơn giản tới mô hình lý thuyết sóng chung dựa vào phương trình Maxwell. Sau đó chúng ta phần còn lại của chương này để tìm hiểu các cơ sở tán sắc màu và các hiện tượng phi tuyến trong sợi quang.

2.1. MỘT SỐ VẤN ĐỀ CƠ BẢN VỀ ÁNH SÁNG

2.1.1. Sóng điện từ

Ánh sáng như là sóng điện từ. Hình 2.1 là hình ảnh tĩnh của một sóng điện từ.



Hình 2.1 Sóng điện từ: hình tĩnh:

(a) Theo thời gian: T - chu kỳ, f = 1/T - tần số (Hz);

(b) Theo không gian: λ - bước sóng (m).

Trong môi trường không gian tự do, ánh sáng là sóng điện từ ngang (TEM). Khái niệm ngang (transverse) có nghĩa là cả hai véc tơ - điện trường E và từ trường H - vuông góc với phương truyền, trục z trong hình 2.1.

- *Tần số:*
  - Ký hiệu: f .
  - Đơn vị: Hz (Hertz), hay cps (cycle per second).
- *Bước sóng:*
  - Ký hiệu: λ
  - Đơn vị: m (μm, nm).

Giữa tần số và bước sóng có mối quan hệ sau:

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ hay } f = \frac{c}{\lambda} \tag{2.1}$$

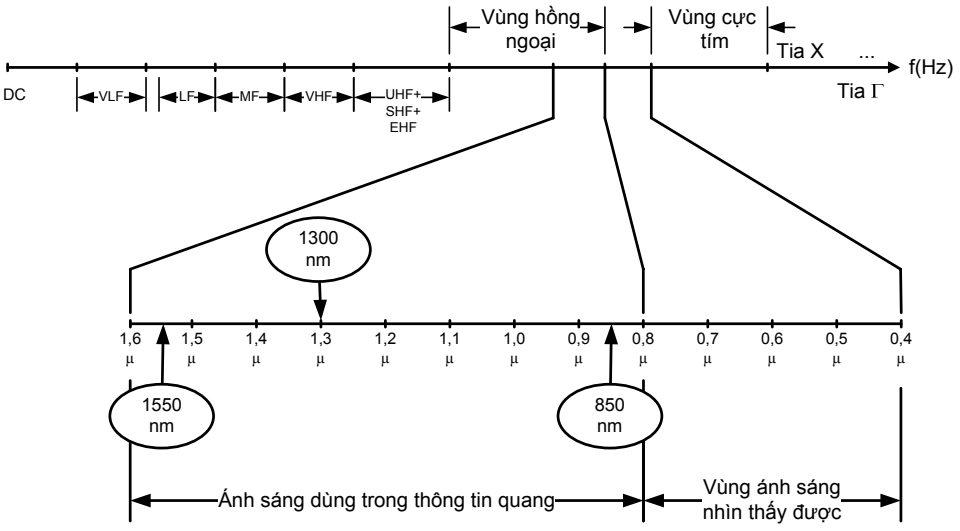
Với c là vận tốc ánh sáng trong chân không, c = 3.108 m/s.

- *Khoảng cách tần số (Δf) và khoảng cách bước sóng (Δλ)*

Lấy đạo hàm (2.1) theo tần số trung tâm λ_0, ta thu được mối quan hệ giữa khoảng cách tần số và khoảng cách bước sóng

$$\Delta f = \frac{c}{\lambda_0^2}\Delta\lambda \tag{2.2}$$

- *Phổ sóng điện từ:*



Hình 2.2 Phổ sóng điện từ

Bảng 2.1 Các băng sóng vô tuyến

Băng tần	Tần số (f)	Bước sóng (λ)
VLF	3 Kz ÷ 30 Kz	100 Km ÷ 10 Km
LF	30 Kz ÷ 300 Kz	10 Km ÷ 1 Km
MF	300 Kz ÷ 3 Mz	1 Km ÷ 100 m
HF	3 Mz ÷ 30 Mz	100 m ÷ 10 m
VHF	30 Mz ÷ 300 Mz	10 m ÷ 1 m
UHF	300 Mz ÷ 3 Gz	1 m ÷ 1 dm
SHF	3 Gz ÷ 300 Gz	1 dm ÷ 1 cm
EHF	30 Gz ÷ 300 Gz	1 cm ÷ 1mm

- Vùng ánh sáng nhìn thấy được: chiếm dải phổ từ 380 nm đến 780nm.
- Vùng hồng ngoại: chia làm 3 phần:
  - Vùng hồng ngoại gần: 780 nm ÷ 1400 nm.
  - Vùng hồng ngoại giữa: 1,4 μm ÷ 6 μm.
  - Vùng hồng ngoại xa: 6 μm ÷ 1 mm.
- Ánh sáng dùng trong thông tin quang: 800 nm (1600 nm (như vậy nằm trong vùng hồng ngoại gần và một phần vùng hồng ngoại giữa).
- Ba bước sóng ánh sáng thông dụng dùng trong các hệ thống thông tin quang được gọi là 3 cửa sổ quang:
  - Cửa sổ 1: $\lambda_1 = 850$ nm.
  - Cửa sổ 2: $\lambda_2 = 1300$ nm.
  - Cửa sổ 3: $\lambda_3 = 1550$ nm.
  - Cửa sổ 4: $\lambda_4 = 1625$ nm.

2.1.2. Quang hình

2.1.2.1. Chiết suất khúc xạ (Refractive index)

Ánh sáng có thể xem như là một chùm tia sáng. Các tia sáng lan truyền trong các môi trường khác nhau với vận tốc khác nhau. Có thể xem các môi trường khác nhau cản trở sự lan truyền canh sáng bằng các lực khác nhau. Điều này được đặc trưng bằng chiết suất khúc xạ của môi trường.

Chiết suất của một môi trường trong suốt (n) được xác định bởi tỉ số giữa vận tốc ánh sáng lan truyền trong chân không với vận tốc của ánh sánh lan truyền trong môi trường ấy.

$$n = \frac{c}{v} \tag{2.3}$$

Với:

n: chiết suất của môi trường, không có đơn vị.

v: vận tốc ánhsáng trong môi trường, (m/s).

c: vận tốc ánh sáng trong chân không, (m/s).

Chiết suất của một vài môi trường thông dụng:

- Không khí: n = 1,00029 ≈ 1,0.
- Nước: n = 4/3 ≈1,33.
- Thủy tinh: n = 1,48.

Vì v ≤ c nên n ≥ 1.

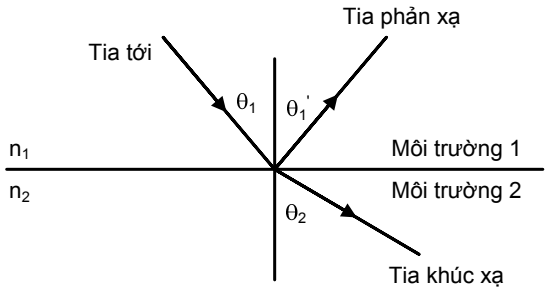
2.1.2.2. Phản xạ, khúc xạ, phản xạ toàn phần và định luật Snell

Ánh sáng truyền thẳng trong môi trường đồng nhất, bị phản xạ và khúc xạ tại biên ngăn cách hai môi trường đồng nhất khác nhau.

Như vậy, ba đặc điểm cơ bản của ánh sáng là:

- Truyền thẳng.
- Phản xạ.
- Khúc xạ.

Tổng quát, khi một tia sáng tới mặt ngăn cách giữa hai môi trường, tia sáng này bị tách ra làm hai phần: một phần dội lại môi trường đầu (hiện tượng phản xạ), một phần truyền tiếp qua môi trường hai. Tia truyền tiếp bị lệch hướng truyền so với tia ban đầu (hiện tượng khúc xạ). Điều này được minh họa ở hình 2.3.



Hình 2.3 Hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng

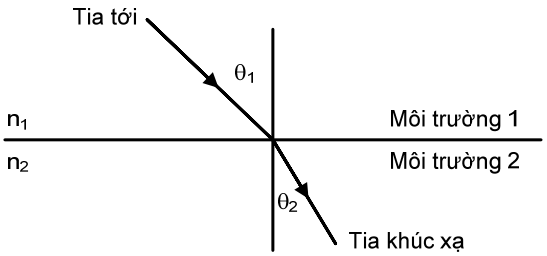
- ***Định luật phản xạ ánh sáng:*** được phát biểu tóm tắt như sau:
  - Tia phản xạ nằm trong mặt phẳng tới.
  - Góc phản xạ bằng góc tới ($\theta_1' = \theta_1$).
- ***Định luật khúc xạ ánh sáng:***
  - Tia khúc xạ nằm trong mặt phẳng tới.
  - Góc khúc xạ và góc tới liên hệ nhau theo công thức Snell:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \qquad (2.4)$$

- ***Phản xạ toàn phần***

Xét hai trường hợp sau:

a) $n_1 < n_2$:

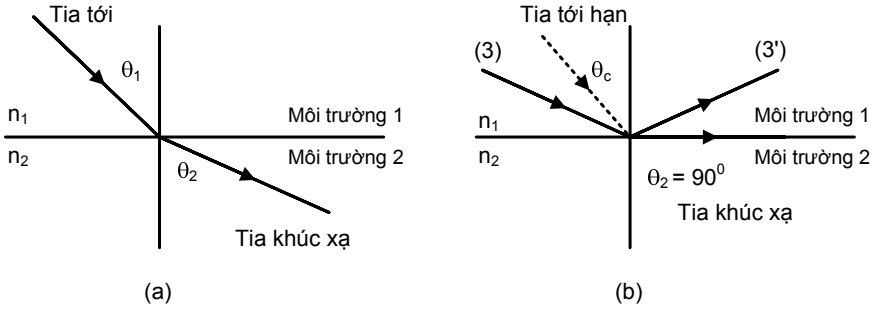


Hình 2.4 Ánh sáng đi từ môi trường chiết suất nhỏ sang môi trường chiết suất lớn.

Từ phương trình (2.5) kết hợp $n_1 < n_2$ suy ra $\theta_1 > \theta_2$ (xem hình 2.4).

Như vậy, khi ánh sáng đi từ môi trường có chiết suất nhỏ sang môi trường có chiết suất lớn hơn, tia khúc xạ lệch về phía gần pháp tuyến hay lệch xa mặt ngăn cách giữa hai môi trường 1 và 2.

b) $n_1 > n_2$:



Hình 2.5 Hiện tượng phản xạ toàn phần.

(a): còn tia khúc xa

(b): xuất hiện tia phản xạ (tia 3)

Từ phương trình (2.4) kết hợp $n_1 > n_2$ suy ra $\theta_1 < \theta_2$ (xem hình 2.5 (a)).

Như vậy, khi ánh sáng đi từ môi trường có chiết suất lớn sang môi trường có chiết suất nhỏ hơn tia khúc xạ lệch về phía xa pháp tuyến hay lệch gần về phía mặt ngăn cách giữa hai môi trường 1 và 2.

Cho nên khi tăng góc tới $\theta_1 = \theta_c < 90°$ thì $\theta_2 = 90°$ (hình 2.5 (b)).

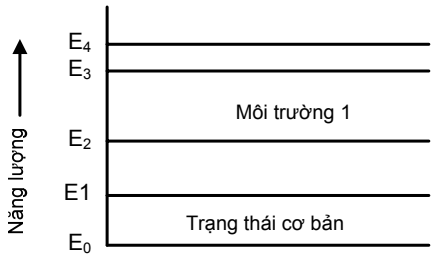
Và khi $\theta_1 > \theta_c$ thì tia tới bị phản xạ hoàn toàn về môi trường 1, và được gọi là hiện tượng phản xạ hoàn toàn (total reflection).

θ_c được gọi là góc giới hạn (critical angle). Từ phương trình (2.4) suy ra:

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \tag{2.5}$$

2.1.3. Lượng tử

- Mỗi nguyên tử chỉ có thể chiếm một số mức năng lượng rời rạt. Điều này được diễn tả bằng sơ đồ mức năng lượng như trên hình 2.6.



Hình 2.6 Sơ đồ mức năng lượng

- Nguyên tử có khuynh hướng tồn tại ở mức năng lượng thấp nhất.
- Để kích thích nguyên tử nhảy lên mức năng lượng cao hơn, chúng phải được cung cấp một năng lượng bên ngoài. Quá trình này gọi là "bơm".
- Khi nguyên tử nhảy lên mức năng lượng cao hơn, nó hấp thụ một lượng năng lượng từ bên ngoài. Lượng này đúng bằng độ chênh lệch về năng lượng giữa hai mức cao và thấp xảy ra việc nhảy này.
- Khi nguyên tử rơi từ mức năng lượng cao xuống một mức năng lượng thấp hơn, nó bức xạ ra một lượng tử năng lượng điện từ gọi là photon (Điều này chỉ đúng đối với chuyển tiếp có bức xạ).
- Photon là hạt cơ bản di chuyển với vận tốc ánh sáng **c**, và mang một lượng tử năng lượng:

$$E_p = hf \quad \text{hay} \quad E_p = \frac{1{,}24}{\lambda(\mu m)}(eV) \tag{2.6}$$

trong đó h là hằng số Planck (6.6261×10^{-34} J.s) và f là tần số của photon.

- Ánh sáng là dòng photon. Màu sắc của nó được xác định bởi tần số photon, f, đó cũng là bước sóng, λ, bởi vì $\lambda f = c$, trong đó **c** là vận tốc của ánh sáng trong chân không.
- Năng lượng của photon, E_P, bằng khe (độ chênh lệch) năng lượng giữa mức bức xạ cao và mức năng năng lượng thấp, tần số photon (bước sóng) được xác định qua mức năng lượng của vật chất được sử dụng.
- Các mức năng lượng đã tồn tại tự nhiên; vì vậy chúng ta có thể đạt các màu ánh sáng khác nhau bằng cách sử dụng các mức năng lượng cùng vật liệu hoặc dùng các vật liệu khác nhau.
- Photon được hấp thụ bởi vật liệu mà các khe năng lượng của chúng đúng bằng năng lượng photon. Để làm cho môi trường trong suốt, chúng ta phải lựa chọn hoặc các photon khác, tức là ánh sáng màu sắc khác, hoặc môâi trường khác.

2.2. MÔ TẢ QUANG HÌNH QUÁ TRÌNH TRUYỀN ÁNH SÁNG TRONG SỢI QUANG

2.2.1. Cấu tạo cơ bản sợi quang

Ứng dụng hiện tượng phản xạ toàn phần, sợi quang được chế tạo cơ bản gồm có hai lớp:

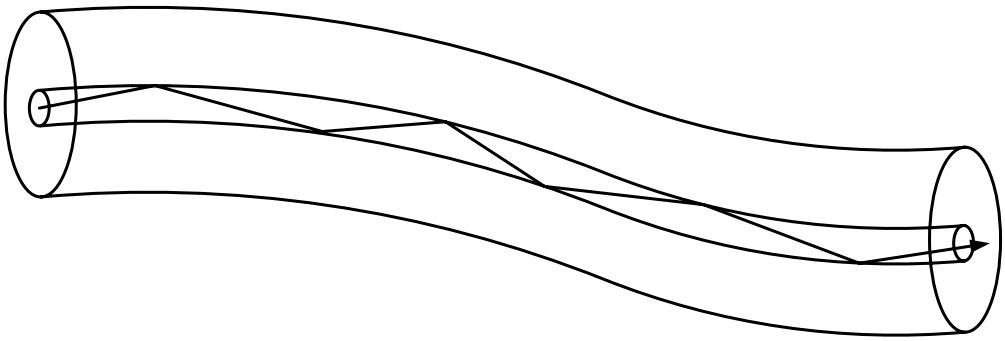
- Lớp trong cùng có dạng hình trụ tròn, có đường kính d = 2a, làm bằng thủy tinh có chiết suất n_1, được gọi là lõi (core) sợi.

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

Cấu trúc tổng quát này được minh họa ở hình 2.7.

Hình 2.7 Cấu trúc cơ bản sợi quang, gồm lõi (core) và lớp bọc (cladding)

Ánh sáng truyền từ đầu này đến đầu kia sợi quang bằng cách phản xạ toàn phần tại mặt ngăn cách giữa lõi-lớp bọc, và được định hướng trong lõi.



Hình 2.8 Ánh sáng lan truyền trong sợi quang

2.2.2. Khẩu độ số NA (Numerical Aperture)

Sự phản xạ toàn phần sẽ xảy ra trong lõi sợi quang chỉ đối với những tia sáng có góc tới ở đầu sợi quang nhỏ hơn θ_{max}. Khẩu độ số của sợi quang được định nghĩa:

$$NA = sin\theta_{max} \tag{2.7}$$

Đối với sợi SI ta tính được:

$$NA = \sin\theta_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1\sqrt{2\Delta} \tag{2.8}$$

Với:

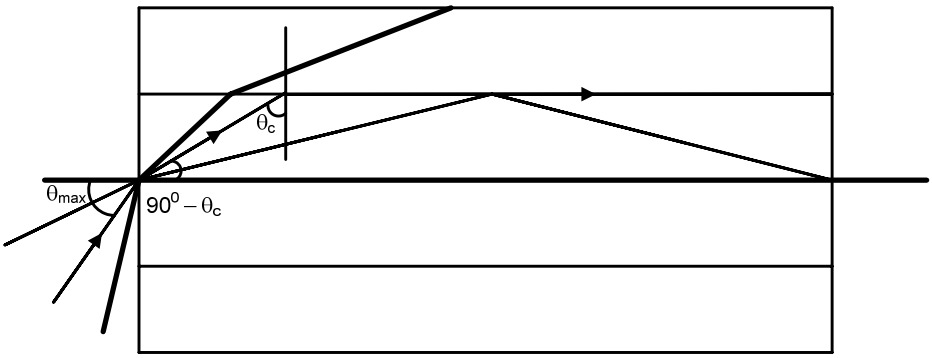
n_1: chiết suất lõi sợi quang;

n_2: chiết suất lớp bọc sợi quang;

$\Delta = \dfrac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$: độ chênh lệch chiết suất tương đối.

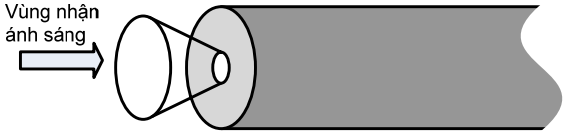
Có thể tính Δ đơn giản hơn như sau [3]:

$\Delta = (n_1-n_2)/n$ với $n = (n_1+n_2)/2$.



(a) Minh họa 3 tình huống khi chiếu ánh sáng vào sợi quang

(b) Góc nhận ánh sáng bằng 2θ



(c) Vùng nhận ánh sáng có dạng hìnhnón

Hình 2.6 Khẩu độ số sợi quang

Ví dụ 1: Một sợi quang SI có: $n_1 = 1,50$ $n_2 = 1,485$. Tính khẩu độ số của sợi quang này.

Giải :

Áp dụng công thức (2.8), ta có

$$NA = \sin\theta_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1,50^2 - 1,485^2} \approx 0,21$$

Suy ra $\theta_{max} \approx 12°$.

Từ đây suy ra góc tiếp nhận ánh sáng $2\theta_{max} = 2\times12° = 24°$.

Ví dụ 2:

Một sợi quang SI có:NA = 0,12 $n_2 = 1,450$. Tính chiết suất lớp bọc của sợi quang này.

Giải :

Áp dụng công thức (2.8), ta có

$$NA = \sin\theta_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0,12$$

Suy ra :

$$n_1^2 - n_2^2 = 0,144$$

Ta tính được $n_1 = 0,1455$.

Khẩu độ số cho ta biết điều kiện đưa ánh sáng vào sợi quang. Đây là thông số cơ bản ảnh hưởng đến hiệu suất ghép ánh sáng từ nguồn quang vào sợi quang.

2.2.3. Phân loại sợi quang

2.2.3.1. Sự phân bố chiết suất trong sợi quang

Chiết suất của lớp bọc không đổi và bằng n_2.

Chiết suất của lõi nói chung thay đổi theo bán kính của sợi quang (tâm nằm trên trục của lõi). Sự biến thiên chiết suất theo bán kính được viết dưới dạng tổng quát sau [1]:

$$n(r) = \begin{cases} n_1\left[1-\Delta\left(\frac{r}{a}\right)^g\right] & r \le a \\ n_2 & a \le r \le b \end{cases} \tag{2.9}$$

Với:

- n_1: chiết suất lớn nhất ở lõi, tức tại r = 0. Hay $n(0) = n_1$.
- n_2: chiết suất lớp bọc.
- r: khoảng cách tính từ trục sợi đến điểm tính chiết suất.
- a: bán kính lõi sợi quang.
- b: bán kính lớp bọc sợi quang.
- g: hệ số mũ. Giá trị của g quyết định dạng phân bố chiết suất của sợi quang, $g \ge 1$.

  g = 1: dạng tam giác

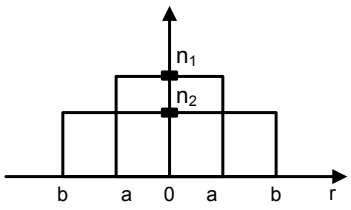
  g = 2: dạng parabol

  g = ∞: dạng bậc thang.

2.2.3.2. Sợi chiết suất bậc SI (Step-Index)

Sợi SI là sợi đơn giản nhất. Có dạng phân bố chiết suất như sau:

$$n = \begin{cases} n_1 & r \le a \\ n_2 & a \le r \le b \end{cases} \tag{2.10}$$



Hình 2.7 Dạng phân bố chiết trong lõi sợi SI.

Ánh sáng đi trong sợi SI như hình 2.8.

ĐỀ TÀI

TỔNG QUANG VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG COHERENT

A) Nội dung :

- Giới thiệu chung :
- cấu trúc cơ bản của của hệ thống:
- Các dạng điều chế quang coherent:
- Máy thu coherent:
- Tỉ số lỗi bit trong máy thu
- Các yếu tố ảnh hưởng đến độ nhạy máy thu
- Những ưu điểm của hệ thống coherent

Giới thiệu chung :

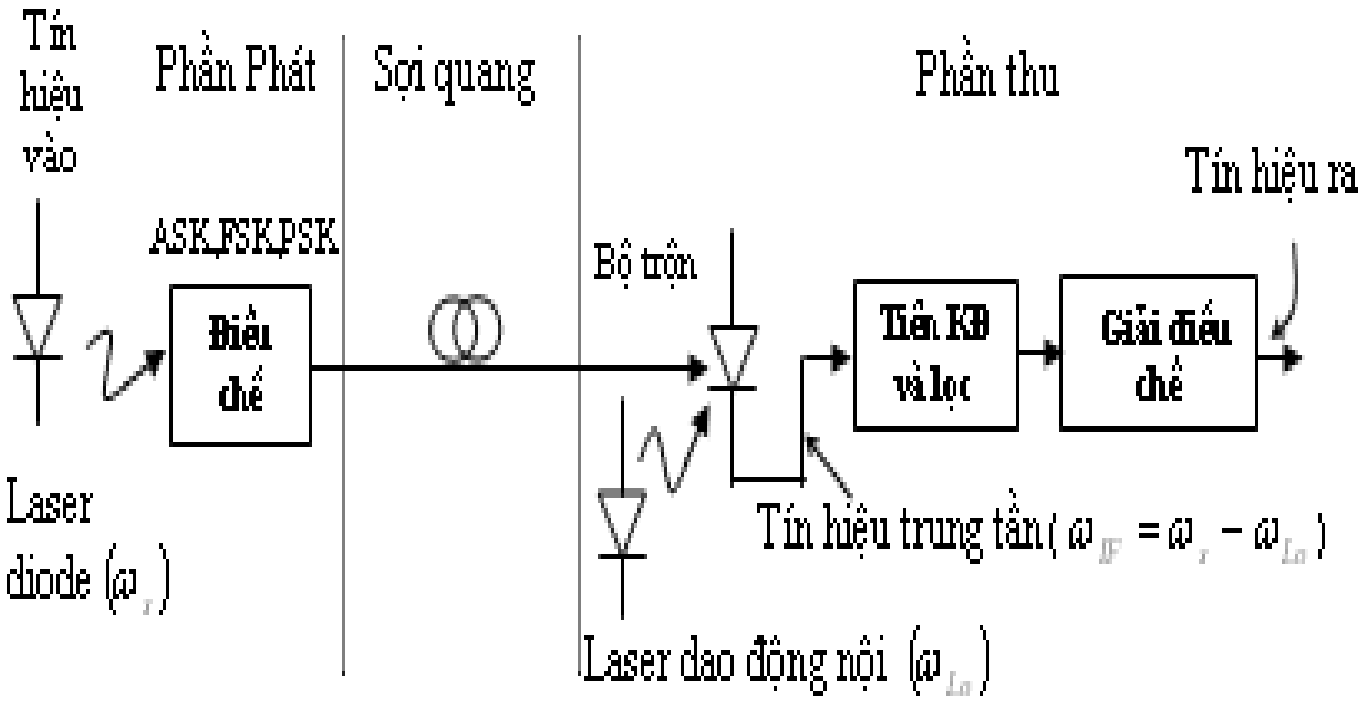
- IM-DD đã đóng một vai trò rất quan trọng trong ngành viễn thông, đem lại hiệu quả kinh tế to lớn và còn đang được sử dụng rộng rãi nhờ có ưu điểm là đơn giản và giá thành rẽ.
- Tuy nhiên hệ thống này có một số nhược điểm cơ bản như tỉ số tín hiệu trên nhiễu nhận được tại đầu ra bộ tách sóng thấp, độ nhạy của máy thu không cao làm khoảng cách truyền dẫn bị hạn chế.

- Đồng thời do đặc điểm thu tín hiệu theo nguyên lý tách sóng trực tiếp (không qua đổi tần) nên tự máy thu không thể lựa chọn các kênh quang tuỳ ý trong môi trường đa kênh mà phải kết hợp thêm các bộ lọc quang.
- Việc này hạn chế khả năng sử dụng chúng trong các mạng truyền dẫn và phân phối đa kênh quang đến trực tiếp các thuê bao trong tương lai.

- Trong bối cảnh đó việc sử dụng máy thu mới có nguyên lý hoạt động khác - máy thu Coherence - nhằm nâng cao độ nhạy và có thể chọn kênh trong môi trường phân phối đa kênh là một yêu cầu cấp thiết và mang tính hấp dẫn cao.

- Hệ thống thông tin coherence ra đời và khắc phục được các nhược điểm của hệ thống IM-DD và là hệ thống thông tin của tương lai. Hiện nay, bước đầu nó đang được áp dụng ở các nước tiên tiến để nhanh chóng đưa vào sử dụng, khai thác rộng rãi trong một tương lai gần, đây là một bước tiến quan trọng trong lĩnh vực viễn thông.

cấu trúc cơ bản của của hệ thống:



Hình 2.1 Sơ đồ khối của HTTTQ Coherence.

Các dạng điều chế

- A) **Kỹ thuật điều chế trong thông tin quang Coherence:**
- **a) Điều chế khoá dịch biên độ (ASK)** :điều chế trực tiếp của một diode laser bán dẫn là không thích hợp trong hệ thống với tốc độ dữ liệu cao bởi vì nó tạo ra hiệu ứng Chirp, làm thay đổi tần số của tín hiệu ánh sáng, gây khó khăn cho tách sóng đồng tần hoặc tách sóng đổi tần. Do đó, thông thường người ta sử dụng phương pháp điều chế ngoài.

b) **Điều chế khoá dịch tần FSK**

- Vì độ rộng băng tần tổng cộng rất rộng cho nên không thích hợp với các hệ thống có tốc độ cao, nhưng có thể dùng cho các hệ thống đơn giản và rẽ tiền. Có thể giải điều tín hiệu IF bằng phương pháp tách sóng đổi tần đồng bộ hoặc đường bao.

c) Điều chế khoá dịch pha PSK

- Điều chế PSK sử dụng bộ điều chế ngoài như bộ điều chế pha LiNbO3. Tại máy thu, tín hiệu PSK được giải điều chế bằng hệ thống tách sóng đồng tần hoặc đổi tần, tín hiệu trung tần IF được giải điều chế đồng bộ hoặc không đồng bộ

d) Điều chế khoá dịch pha vi phân DPSK

- Dạng phổ DPSK giống PSK, chỉ khác ở quy luật mã vì trong DPSK, thông tin được mã hoá theo hiệu pha giữa hai tín hiệu kế tiếp nhau.
- Phương pháp này thường được sử dụng trong thực tế vì không cần các bộ giải điều phức tạp mà vẫn cho đặc tính tốt, được dùng trong hệ thống đổi tần và giải điều chế phân biệt tần số bằng đường dây trễ.

e) Điều chế phân cực PoLSK

- Máy phát có một bộ điều chế phân cực và máy thu có một bộ chia phân cực để tách và giải điều cả hai trạng thái phân cực trực giao. Tại máy thu, sóng của tín hiệu kết hợp với sóng của dao động nội trong bộ trộn quang, tín hiệu đầu ra của nó đưa đến bộ chia phân cực, trường tín hiệu được chia thành hai thành phần trực giao. sử dụng phương pháp điều chế phân cực và ở máy thu thực hiện tách phân cực, giải điều đường bao gồm hai nhánh đối xứng nhau. Thành phần phân cực dọc được đưa đến bộ tách sóng phía trên và thành phần phân cực ngang được đưa đến bộ tách sóng dưới.

f) Kỹ thuật điều chế ngoài laser

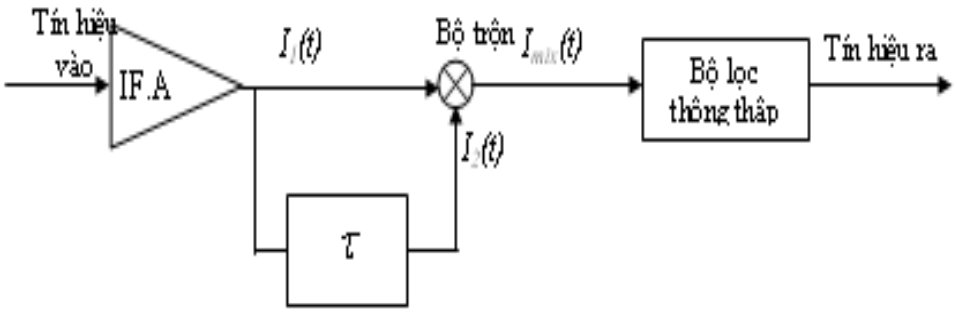
- + Điều chế trong: là bơm trực tiếp dòng tín hiệu vào laser. Phương pháp này phù hợp với các hệ thống thông tin tốc độ thấp, vì laser diode bộc lộ những hạn chế như suy giảm phổ v à dịch chuyển tần số khi điều chế ở tốc độ cao.
- + Điều chế ngoài: là phương pháp điều chế ánh sáng bên ngoài laser. Phương pháp này có nhiều ưu điểm và được ứng dụng nhiều trong kỹ thuật giải điều chế

B) Các kỹ thuật giải điều chế:

- a) **Giải điều chế tín hiệu ASK:**
  - **Giải điều chế ASK đổi tần đồng bộ**
  - **Giải điều chế đường bao ASK (ASK đổi tần không đồng bộ)**
- b) **Giải điều chế FSK** :
  - **Giải điều chế FSK đổi tần đồng bộ**
  - **Giải điều chế FSK lọc kép**
  - **Giải điều chế FSK lọc đơn**
  - **Giải điều chế CPFSK vi phân**

c) Phương pháp giải điều chế PSK

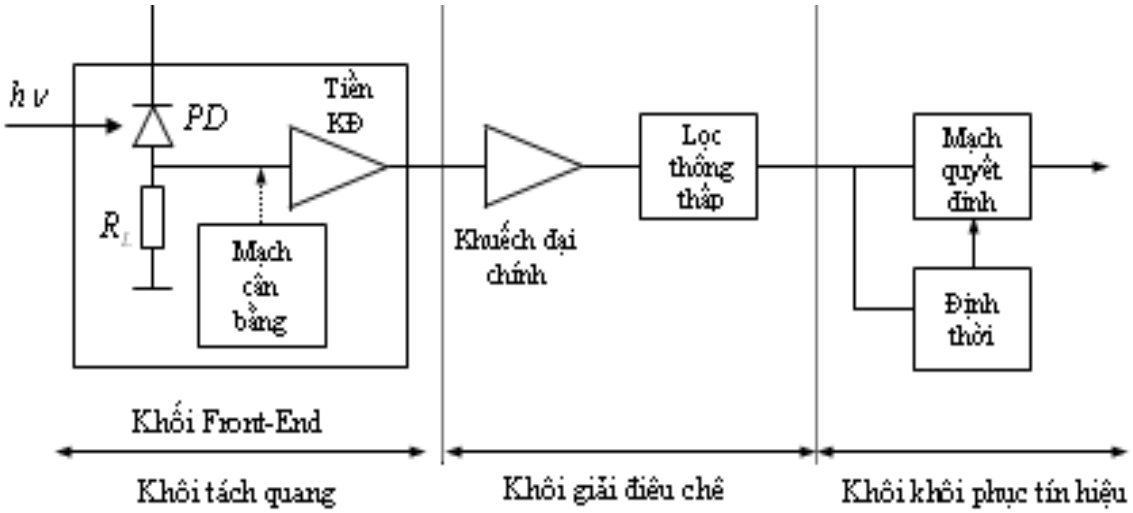
- +Giải điều chế PSK đổi tần đồng bộ
- + Giải điều chế DPSK



Hình 2.28 Sơ đồ giải điều chế DPSK

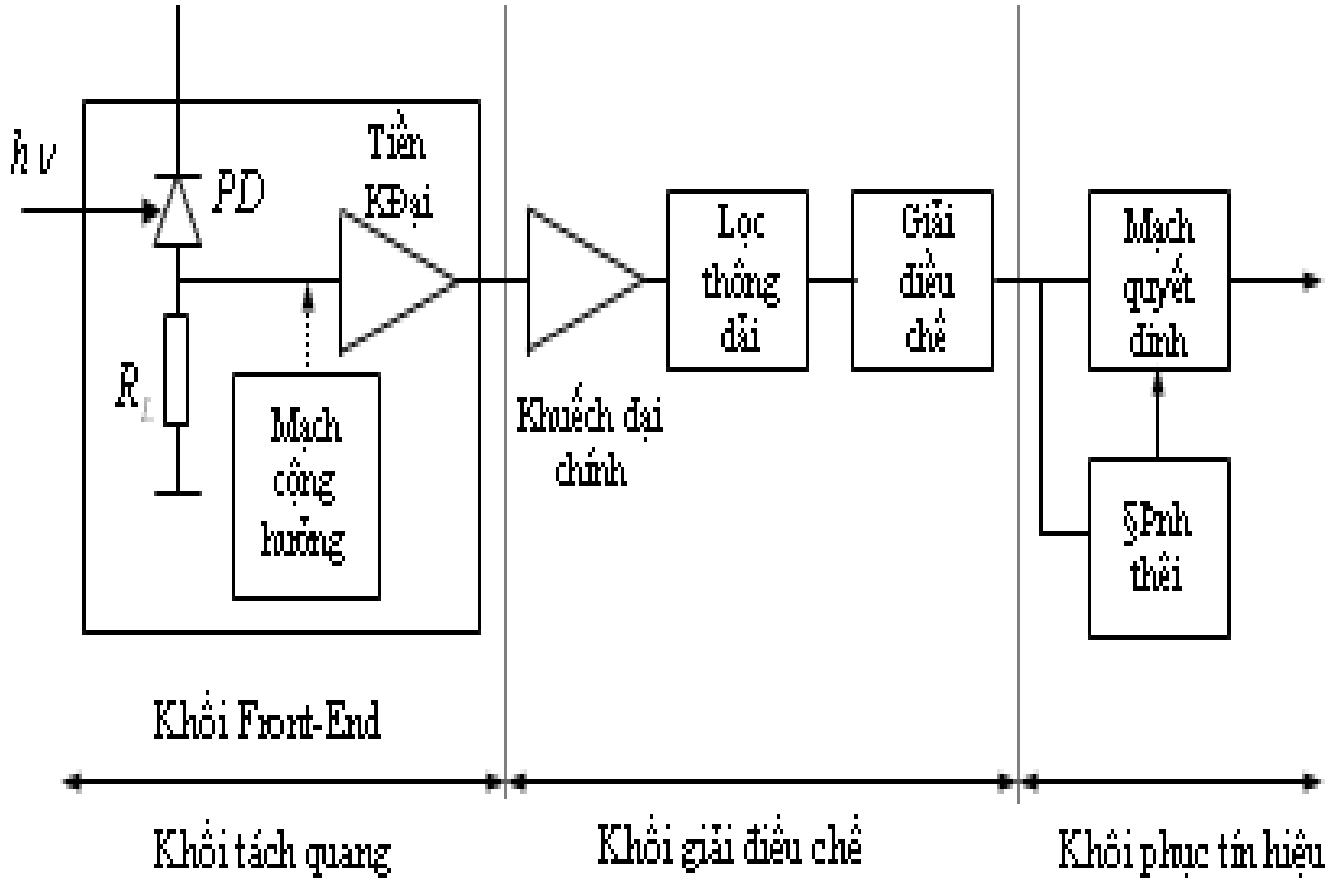
Máy thu coherent:

- **Đặc điểm khối tách quang của máy thu Coherence :**



Hình 2.2 Sơ đồ khối của máy thu đồng tần

Sơ đồ máy thu đổi tần



Tỉ số lỗi bit trong máy thu

- a)Nhiễu trong máy thu quang:khi công suất tín hiệu dao động nội lớn hơn công suất tín hiệu tới bộ thu thì nguồn nhiễu chủ yếu trong tách sóng coherent là nhiễu lượng tử của bộ dao động nội ,trong giới hạn này nhiễu lượng tử có thể được biểu diễn dưới dạng nhiễu bắn.

- b)Tách sóng heterodyne ask
- c)Tách sóng heterodyne FSK
- d)Tách sóng heterodyne PSK
- e)Tách sóng homodyne ask và psk
- f)hàm xác suất lỗi
- g)so sánh độ nhạy của hệ thống coherent :tổng kết xác suất lỗi cơ chế tách sóng của các dạng điều chế tín hiệu

Các yếu tố ảnh hưởng đến độ nhạy của máy thu

- a)Nhiễu pha:làm giảm độ nhạy thu trong hệ thống ,nhiễu pha có liên quan đến bộ phát quang và bộ dao động nội sự thăng giảng về pha giữa tín hiệu rời và tín hiệu dao động nộ sẽ dẫn đến sự thay đổi về dòng ở ngỏ ra của bộ tách sóng .Từ đó làm giảm tỉ số SNR của tín hiệu.

b)Nhiễu cường độ

- Tất cả công suất của tín hiệu tới và của bộ dao động nội được sử dụng một cách có hiệu quả tất cả các bộ thu cân bằng đều sử dụng toàn bộ công suất của tín hiệu và tránh được sự mất mát này .Đồng thời bộ thu cân bằng cũng sử dụng hết công suất của bộ dao động nội nên dễ dàng cho hệ thống hoạt động trong giới hạn của nhiễu lượng tử

c)Không tương xứng về phân cực

- d)Tán sắc trong sợi quang:ảnh hưởng đến đặc tính của hệ thống .Lý do là hệ thống coherent cần phải sử dụng các laser bán dẫn hoạt động ở chế độ đơn mode đọc với độ rộng phổ hẹp

d)Các yếu tố hạn chế khác

- +Hồi tiếp phản xạ
- +Các hiệu ứng phi tuyến trong sợi quang
- +Tán xạ raman
- +Tán xạ brillouin

Những ưu điểm của hệ thống

- Nâng cao độ nhạy thu
- +Tăng khoảng cách trạm lặp cho hệ thống trên đất liền và dưới biển
- +Tăng tốc độ truyền dẫn mà không cần giảm khoảng cách trạm lặp
- +Tăng quỹ công suất để bù các suy hao
- +Cải thiện độ nhạy cho thiết bị đo quang như máy OTDR.

- Nâng cao khả năng truyền dẫn
- Khả năng kết hợp thu coherent với kỹ thuật khuếch đại quang

B) Kết luận

- Trong hệ thống thông tin quan coherent có thể áp dụng các kĩ thuật điều chế số quen thuộc như ASK FSK ,PSK ,trong thông tin quang coherent sử dụng các tín hiệu nhị phân trên các kỹ thuật điều chế khoá dịch tần số và dịch pha BFSK và BPSK

Tài liệu tham khảo

1. Kỹ thuật thông tin quang 2 – Đại học Từ Xa
2. Hệ thống thông tin sợi quang Coherence

Luận văn

Hệ thống thông tin sợi quang

Lời núi đầu

Ngày nay sự phỏt triển của xó hội ngày càng được nõng cao thỡ nhu cầu của con người về trao đổi thụng tin ngày càng cao. Để đỏp ứng những nhu cầu đú, đũi hỏi mạng lưới viễn thụng phải cú tốc độ cao, dung lượng lớn. Chớnh vỡ thế,em đó chọn đề tài " Hệ thống thụng tin sợi quang " làm đề tài cho đồ ỏn tốt nghiệp . Đồ ỏn gồm cú 2 phần:

Phần Lý thuyết

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THễNG TIN QUANG

CHƯƠNG 2: SỢI QUANG VÀ CÁP QUANG

CHƯƠNG 3: THIẾT BỊ PHÁT VÀ THU QUANG

CHƯƠNG 4: KỸ THUẬT GHẫP KấNH PHÂN CHIA THEO THỜI GIAN

Phần Tớnh toỏn và Thiết kế

CHƯƠNG5:TÍNH TOÁN THIẾT KẾ TUYẾN CÁP QUANG THEO QUỸ CễNG SUẤT VÀ THỜI GIAN LấN

Do thời gian và kiến thức cũn hạn chế nờn vẫn cú nhiều thiếu sút cần bổ sung và phỏt triển mong quý thầy cụ, bạn đọc chỉ bảo.

Em Xin chõn thành cảm ơn quý thầy cụ trong khoa Điện tử viễn thụng, cựng Thầy giỏo T**.s Tăng Tấn Chiến** đó hướng dẫn cho em hoàn thành đề tài này.

Đà Nẵng, thỏng 06 năm 2007

Phần lý thuyết

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

1.1 Giới thiệu chương

Trong chương này nhằm trỡnh bày một cỏch chung nhất về hệ thống thụng tin sợi quang. Nguồn phỏt quang ở thiết bị phỏt cú 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 thỡ 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 trũ quan trọng. Khi khoảng cỏch truyền dẫn khỏ dài tới một cự ly nào đó thỡ tớn hiệu quang trong sợi quang sẽ bị suy hao nhiều lỳc đó nhất thiết phải có trạm lặp quang lắp đặt dọc theo tuyến.

1.2 Tổng quan

Cựng với sự phỏt triển của xó hội thỡ nhu cầu của con người đối với thông tin ngày càng cao. Để đáp ứng được những nhu cầu đó, đũi hỏi mạng viễn thụng phải cú 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 phỏt triển nhanh chóng, để thích ứng với sự phát triển không ngừng của dung lượng truyền dẫn thông tin, thỡ hệ thống thụng tin quang ra đời đó tự khẳng định được chính mỡnh.

Như vậy, với việc phát minh ra Laser để làm nguồn phát quang đó mở ra một thời kỳ mới cú 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 đó 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 đó được

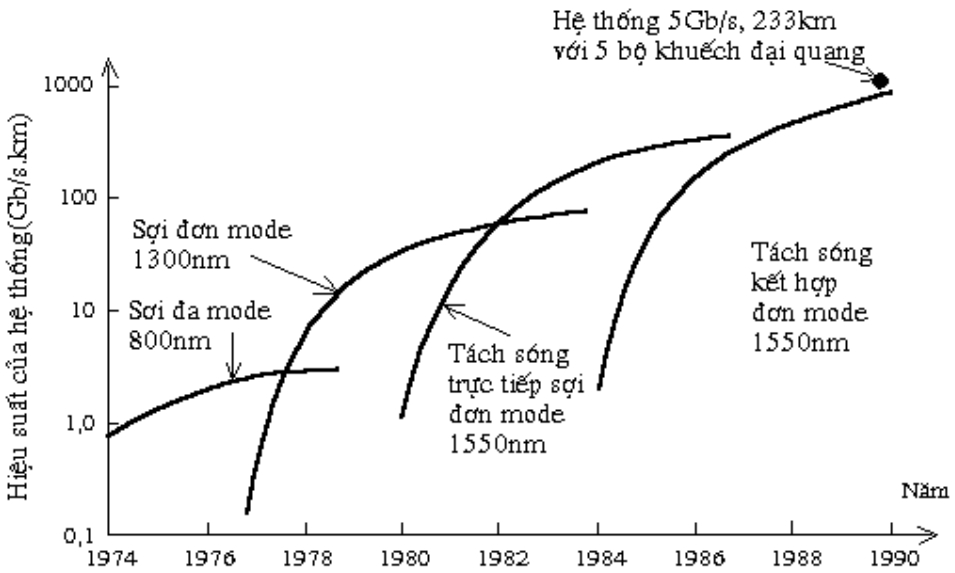
phổ biến khá rộng rói với vựng bước sóng làm việc 1300nm và 1500nm đó cho thấy sự phỏt triển mạnh mẽ của thụng tin sợi quang trong hơn 2 thập niên qua. Ngày nay, cáp sợi quang đó tạo ra những triển vọng mới cho cụng nghệ truyền thụng tốc độ cao cũng như việc hiện đại hóa mạng thông tin và nhu cầu kết nối thông tin. Sự kết hợp sợi quang vào bên trong dây chống sét cũng như dây dẫn đó 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 cũn đem lại những lợi ích to lớn về thông tin. Điều đó làm giảm giá thành của hệ thống và cũng chớnh vỡ những lý do trờn mà cỏp quang đang được ứng dụng rộng rói trờn thế giới. Với giỏ trị suy hao này đó gần đạt được giá trị suy hao 0.14dB/km của sợi đơn mode, từ đó đó cho ta thấy hệ thống thụng tin quang cú cỏc đặc điểm nổi bật hơn hệ thống cỏp kim loại là:

- Suy hao truyền dẫn rất nhỏ.
- Băng tần truyền dẫn rất lớn.
- Không bị ảnh hưởng của nhiễu điện từ.
- Cú tớnh 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 rói trờn mạng lưới. Chúng có thể được xây dựng làm các tuyến đường trục, 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 hỡnh thiết bị cho tới cỏc hệ thống truyền dẫn xuyờn 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, Chõu Âu hay Nhật Bản.

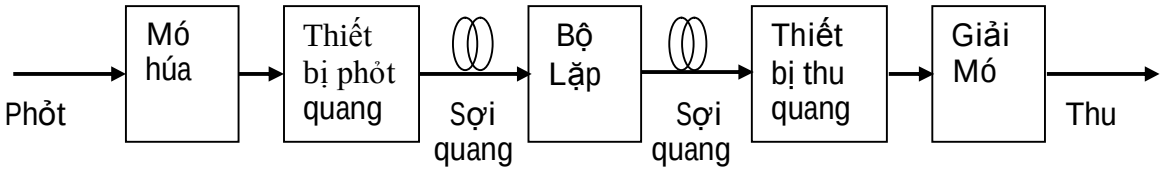
1.3 Hệ thống truyền dẫn quang

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



Hỡnh 1.1: Sự phỏt triển của cỏc hệ thống thụng tin quang

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



Hỡnh 1.2: Cấu hỡnh của hệ thống thụng tin quang.

Hiện nay, các hệ thống thông tin quang đó được ứng dụng rộng rói trờn 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 thông thông tin quang ngày càng được sử dụng rộng rói 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 trũ của sợi quang và cỏp quang, vấn đề này sẽ được trỡnh bày cụ thể ở chương sau.

CHƯƠNG 2: SỢI QUANG VÀ CÁP QUANG

2.1 Giới thiệu chương

Cựng với sự phỏt triển của khoa hoc kỹ thuật thỡ cỏp 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 thỡ cỏp 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

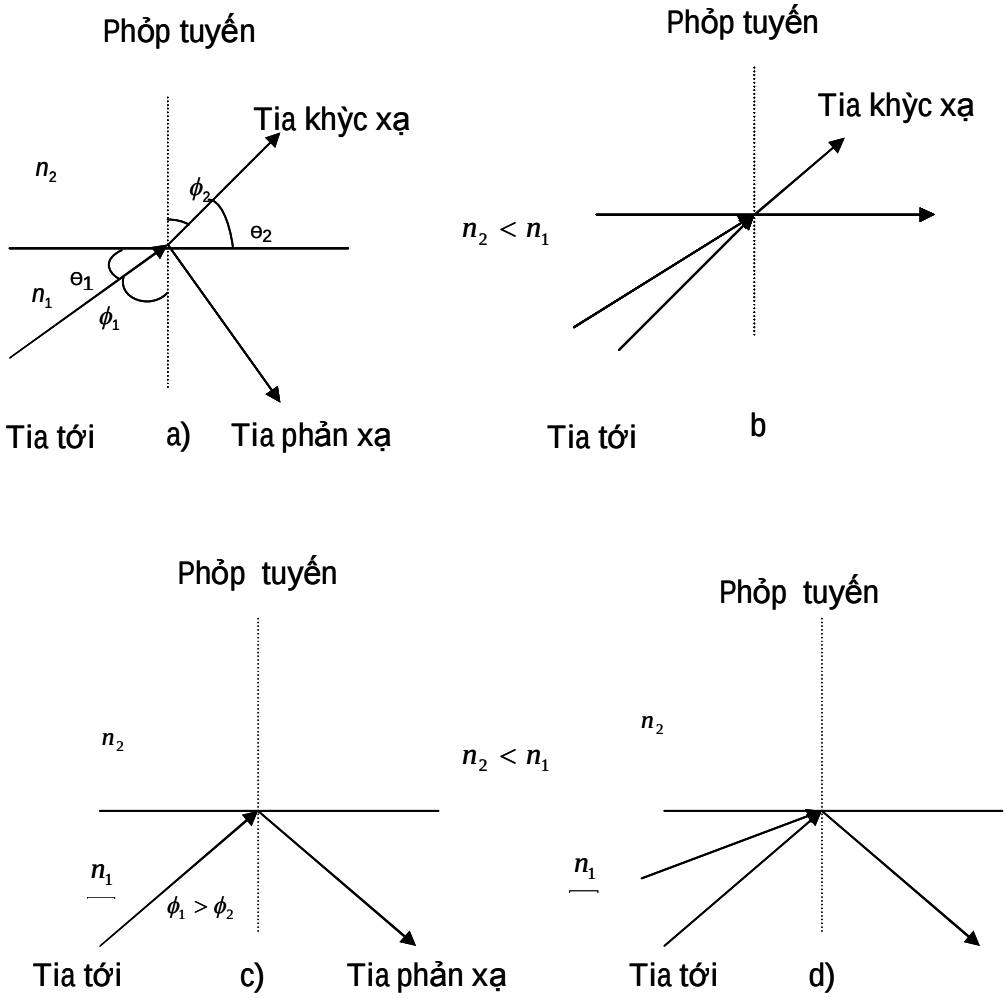
Để hiểu được sự lan truyền của ánh sáng trong sợi quang thỡ trước hết ta phải tỡm hiểu đặc tính của ánh sáng. Sự truyền thẳng, khúc xạ, phản xạ là các đặc tính cơ bản của ánh sáng (được trỡnh bày ở hỡnh 2.1). Như ta đó biết, ỏnh sỏng truyền thẳng trong mụi trường chiết suất khúc xạ đồng nhất. Cũn hiện 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 thỡ 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 thỡ đó gọi là tia khúc xạ cũn ngược lại, nếu tia sáng nào đi trở về lại môi trường ban đầu thỡ gọi là tia phản xạ. Theo định luật Snell ta có quan hệ:

$$n_1 Sin\phi_1 = n_2 Sin\phi_2 \qquad (2.1)$$

với ϕ_1 là gúc tới và ϕ_2 là gúc khỳc xạ.

2.2.2 Đặc tính cơ học của sợi dẫn quang

Sợi dẫn quang rất nhỏ, vật liệu chế tạo chủ yếu là thuỷ 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 trỡnh bọc cỏp. Điều đó chứng tỏ rằng, ngoài các đặc tính truyền dẫn của sợi quang thỡ cỏc đặc tính cơ học của nó cũng đóng vai trũ rất quan trọng trong quỏ trỡnh đưa sợi quang vào khai thác trong hệ thống thông tin quang.

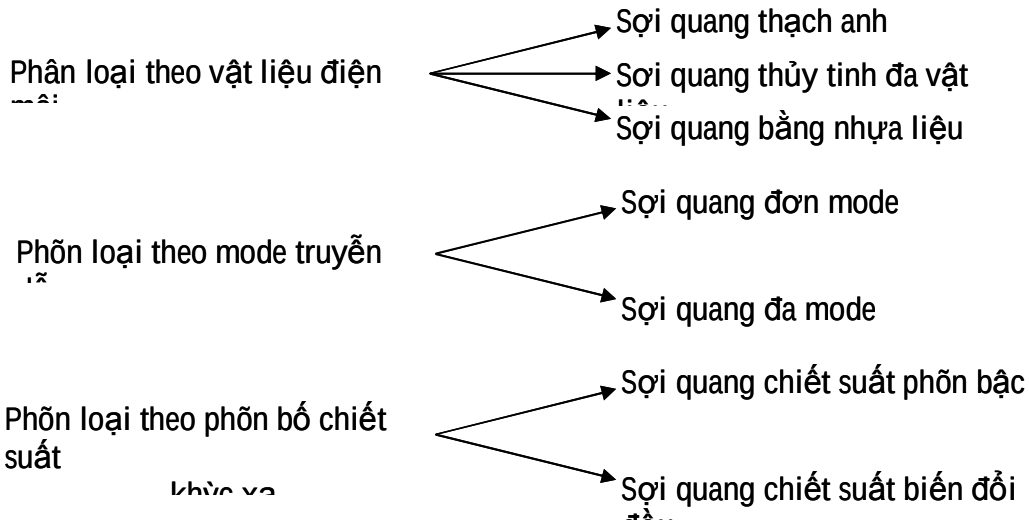


Hỡnh 2.1: Mô tả hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng.

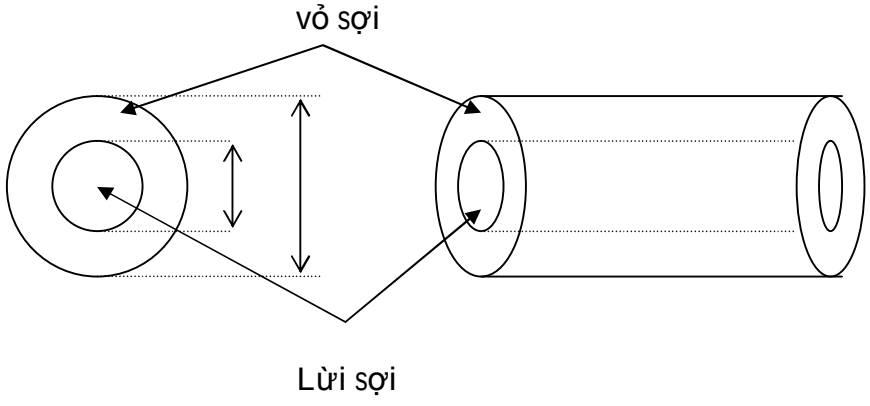
2.2.2.1 Sợi quang

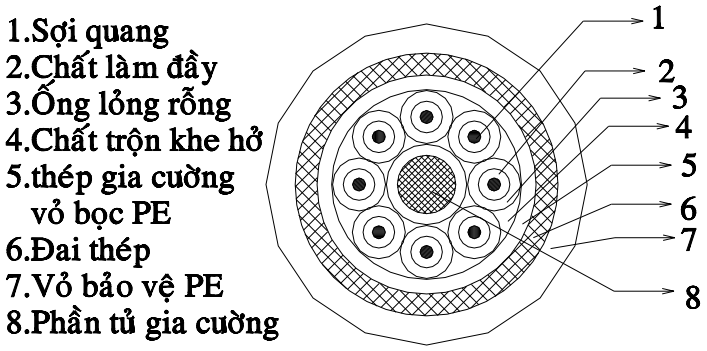
Sợi quang là sợi mảnh dẫn ánh sáng, gồm hai chất điện môi trong suốt nhưng khác nhau về chiết suất. Lừi sợi cho ỏnh sỏng truyền qua cũn lớp vỏ bao quanh lừi và cú đường kính tựy thuộc vào từng yờu cầu cụ thể.

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



Cấu trỳc tổng thể của sợi quang gồm: Lừi thủy tinh hỡnh trụ trũn và vỏ thủy tinh bao quanh lừi. Lừi thủy tinh dựng để truyền ánh sáng, cũn vỏ thủy tinh cú tỏc dụng tạo ra phản xạ toàn phần tại lớp tiếp giỏp giữa lừi và vỏ. Muốn vậy thỡ chỉ số chiết suất của lừi phải lớn hơn chiết suất của vỏ.





Hỗnh 2.2: Cấu trỳc tổng thể của sợi.

2.2.3 Suy giảm tớn hiệu trong sợi quang

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

Suy hao tớn 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 trỡnh sợi bị uốn cong quỏ giới hạn cho phộp cũng tạo ra suy hao. Cỏc 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 tớn 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 α để biểu thị suy hao tính theo dB/km.

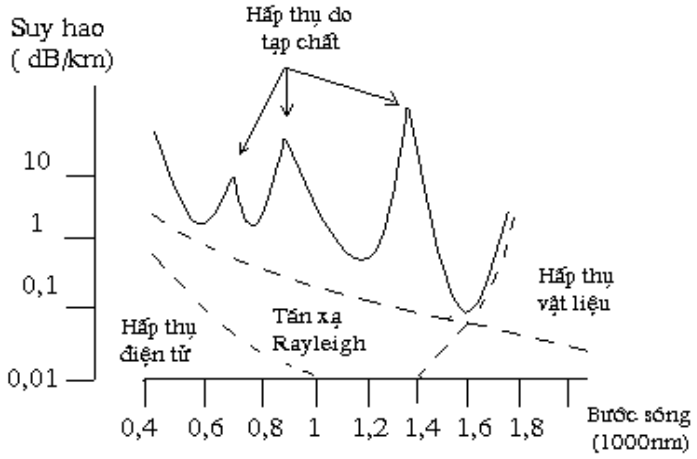
$$\alpha = \frac{10}{L}\log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right) \tag{2.2}$$

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

2.2.3.2 Hấp thụ tớn hiệu trong sợi dẫn quang

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

- **Hấp thụ do tạp chất:** Nhõn 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 đó 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 đó làm cho suy hao tăng hẳn lên. Liên kết OH đó hấp thụ ỏnh sỏng 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 đó sử dụng để truyền ánh sáng như trong hỡnh vẽ dưới đây:



Hỡnh 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 thỡ 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 tỏn xạ

Suy hao do tỏn xạ trong sợi dẫn quang là do tính không đồng đều rất nhỏ của lừi sợi gõy 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 trỡnh chế tạo sợi.

Việc diễn giải suy hao do tỏn xạ gõy ra là khỏ 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 λ do sự bất ổn định về mật độ gây ra có thể được diễn giải như công thức dưới đây:

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

n: chỉ số chiết suất.

k_B: hằng số Boltzman.

β_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

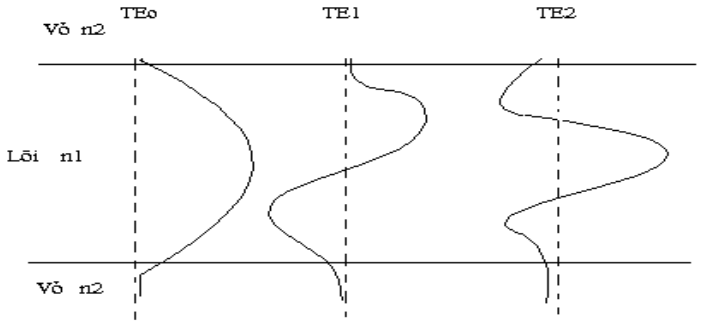
Suy hao do uốn cong sợi là suy hao ngoài bản chất của sợi. Khi bất kỳ một sợi dẫn quang nào đó bị uốn cong có bán kính xác định thỡ sẽ cú hiện tượng phát xạ ánh sáng ra ngoài vỏ sợi và như vậy ánh sáng lan truyền trong lừi sợi đó bị suy hao. Cú hai loại uốn cong sợi:

- 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 xóy 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) thỡ

hiện tượng suy hao này thấy rất rừ khi phõn tớch trờn khẩu độ số NA nhỏ như hỡnh (2.4)

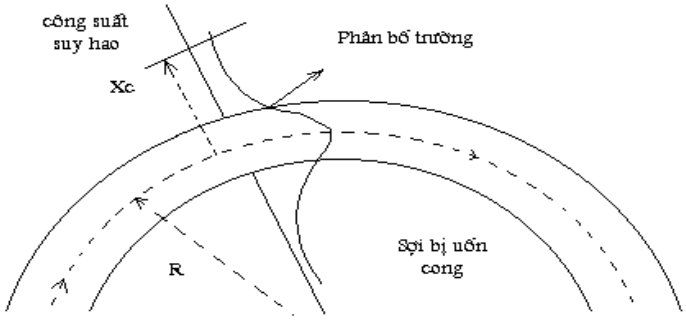
Đối với trường hợp sợi bi uốn cong ít thỡ giỏ trị suy hao xảy ra là rất ít và khó có thể mà thấy được. Khi bán kính uốn cong giảm dần thỡ suy hao sẽ tăng theo quy luật hàm mũ cho tới khi bán kính đạt tới một giá trị tới hạn nào đó thỡ suy hao uốn cong thể hiện rất rừ. Nếu bỏn kớnh uốn cong này nhỏ hơn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



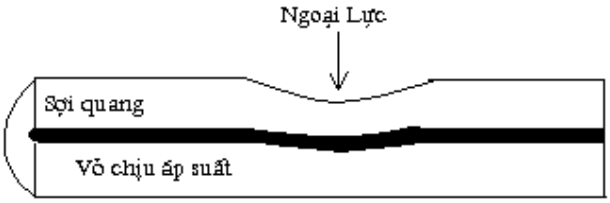
Hỡnh 2.4: Sự phân bố trường điện đối với vài mode bậc thấp hơn trong sợi dẫn quang.

Cú thể giải thớch cỏc hiệu ứng suy hao uốn cong này bằng cách khảo sát phân bố điện trường mode. Trường mode lừi cú đuôi mờ dần sang vỏ, giảm theo khoảng cách từ lừi tới vỏ theo quy tắc hàm mũ. Vỡ đuôi trường này di chuyển cùng với trường trong lừi nờn 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 trỡ trường trong lừi cũn 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 lừi (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 cú thể duy trỡ ở trạng thỏi tương đối thẳng như hỡnh (2.6)



Hõnh 2.5: Trường mode cơ bản trong đoạn sợi bi uốn cong.



Hõnh 2.6: Vỏ chịu nộn giảm vi uốn cong do cỏc lực bờn 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.

Tỏn sắc mode là sự gión xung xuất hiện trong một mode do vận tốc nhúm là hàm của bước ssúng λ. Vỡ tỏn 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 :

- Tỏn sắc vật liệu
- Tỏn sắc ống dẫn súng

1. Tỏn sắc vật liệu do chỉ số khỳc xạ của vật liệu chế tạo lừi 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 lừi nờn 20% cũn lại sẽ lan truyền trong lớp vỏ nhanh hơn phần ánh sáng tới hạn trong lừi gõy ra tỏn sắc.

Tổng hợp tán sắc ở sợi đa mode như sau:

Tỏn sắc tổng = $[(\text{tỏn sắc mode})^2 + (\text{tỏn sắc bờn trong mode})^2]^{\frac{1}{2}}$

2.2.4.1 Trễ nhúm

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. Vỡ tớn hiệu truyền dọc theo sợi cho nờn mỗi một thành phần được giả định là độc lập khi truyền và chịu sự trễ thời gian hay cũn gọi là trễ nhúm trờn một đơn vị độ dài theo hướng truyền như sau:

$$\frac{\tau_n}{L} = \frac{1}{V_n} = \frac{d\beta}{cdk} = -\frac{\lambda^2}{2\pi c}\frac{d\beta}{d\lambda} \tag{2.4}$$

β: là hằng số lan truyền dọc theo trục sợi

L: là cự ly xung truyền đi, và $k = 2\pi/\lambda$

Khi đó, vận tốc nhóm được tính bằng

$$V_n = c\left(\frac{d\beta}{dk}\right)^{-1} \tag{2.5}$$

Đây là vận tốc mà tại đó năng lượng tồn tại trong xung truyền dọc theo sợi. Vỡ trễ nhúm 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 gión xung khi cú sự biến thiờn trễ nhúm.

Nếu độ rộng phổ của nguồn phát không quá lớn thỡ sự lệch trễ trờn một đơn vị bước sóng dọc theo phần lan truyền sẽ xấp xỉ bằng $d\tau_n/d\lambda$. Nếu độ rộng phổ σ_λ của nguồn phát được đặc trưng bằng giá trị hiệu dụng (r.m.s) σ_λ thỡ độ gión xung sẽ gần bằng độ rộng xung hiệu dụng

$$\sigma_n = \left(\frac{d\tau_n}{d\lambda}\right)\sigma_\lambda = -\frac{L\sigma_\lambda}{2\pi c}\left(2\lambda\frac{d\beta}{d\lambda} + \lambda^2\frac{d^2\beta}{d\lambda^2}\right) \tag{2.6}$$

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

2.2.4.2 Tổn 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 nờn cỏc thành phần phổ khỏc nhau sẽ truyền đi với các tốc độ khác nhau tuỳ 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 $n(\lambda)$ ngang bằng với chỉ số chiết suất ở lừi sợi, khi đó hằng số lan truyền β được cho ở trường hợp này là:

$$\beta = \frac{2\pi n(\lambda)}{\lambda} \tag{2.7}$$

Thay thế phương trõnh này vào (2.4) với $k = 2\pi/\lambda$ sẽ thu được trễ nhóm τ_v cho tỏn sắc vật liệu:

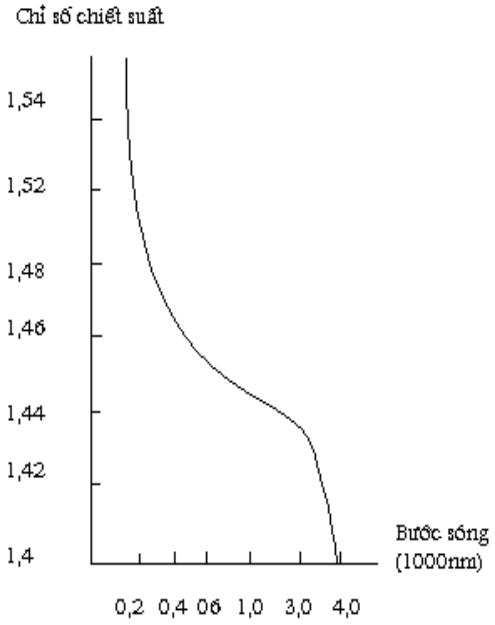
$$\tau_v = \frac{L}{c}\left(n - \lambda\frac{dn}{d\lambda}\right) \tag{2.8}$$

từ (2.10) thỡ sẽ cú được độ gión xung σ_v đối với độ rộng phổ σ_λ của nguồn phát bằng cách vi phân độ trễ nhúm này.

$$\sigma_v = \frac{d\tau_v}{d\lambda}\sigma_\lambda = -\frac{L}{c}\lambda\frac{d^2n}{d\lambda^2}\sigma_\lambda = D_v(\lambda)L\sigma_\lambda \tag{2.9}$$

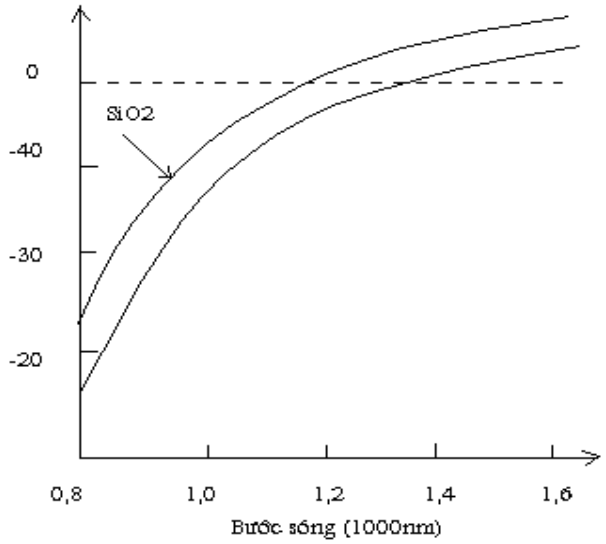
với $D_v(\lambda)$ là tỏn sắc vật liệu.

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



Hỡnh 2.7: Chỉ sô chiêt suât thay đôi theo bước sóng.

2.2.4.3 Tỏn sắc dẫn súng



Hinh 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 hỡnh sợi, ta cho sự trễ nhúm dưới dạng hằng số lan truyền chuẩn hoá b được viết:

$$b = 1 - \left(\frac{ua}{V}\right)^2 = \frac{\beta^2/k^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \tag{2.10}$$

đối với các giá trị chênh lệch chiết suất nhỏ $\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$, phương trỡnh (2.10) có thể được viết lại như sau:

$$b = \frac{\beta/k - n_2}{n_1 - n_2} \tag{2.11}$$

từ đó ta có $$\beta = n_2 k(b\Delta + 1) \tag{2.12}$$

Sử dụng hệ thức trờn và giả sử n_2 không phải là hàm của bước sóng, ta thấy rằng trễ nhóm $$\tau_{ds} = \frac{L}{c}\frac{d\beta}{dk} = \frac{L}{c}\left[n_2 + n_2\Delta\frac{d(kb)}{dk}\right] \tag{2.13}$$

Mặt khỏc, $V = ka(n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \approx kan_2\sqrt{2\Delta}$ thoả món đối với các giá trị Δ nhỏ nờn (2.13) cú thể viết lại

$$\frac{d(Vb)}{dV} = b\left[1 - \frac{2j_v^2(ua)}{j_{v+1}(ua)j_{v-1}(ua)}\right] \tag{2.14}$$

trong đó $n_2 + n_2\Delta\frac{d(Vb)}{dV}$ biểu thị sự trễ nhúm phỏt sinh do tỏn sắc dẫn súng.

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 gión rộng ra khi được truyền dọc theo sợi dẫn quang. Khi xung bị gión ra nú sẽ phủ lờn cỏc xung bờn cạnh. Khi sự phủ này vượt quá một giá trị giới hạn nào đó thỡ thiết bị phớa thu sẽ khụng phõn biệt được các xung kề nhau nữa, lúc này lỗi bít xuất hiện. Như vậy, đặc tính tán sắc làm giới hạn dung lượng truyền dẫn của sợi quang.

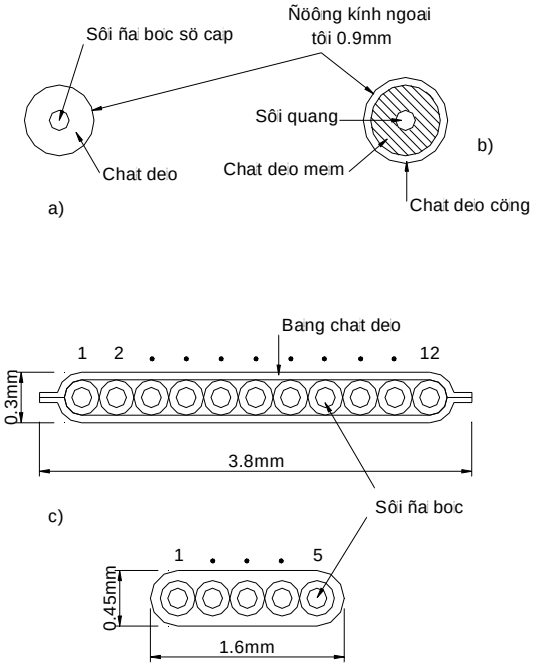
2.3 Cỏp sợi quang

Thực tế, để đưa cáp quang vào sử dụng thỡ cỏc 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 Cỏc biện phỏp 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.



Hỡnh 2.9: Vớ dụ một số bọc chặt khỏc 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 rónh hỡnh chữ V cú ở lừi chất dẻo. Cỏc ống và cỏc rónh cú kớch 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 Cỏc thành phần của cỏp quang

Cỏc thành phần của cỏp quang bao gồm: Lừi chứa cỏc sợi dẫn quang, cỏc phần tử gia cường, vỏ bọc và vật liệu độn.

- **Lừi cỏp:** Các sợi cáp đó được bọc chặt nằm trong cấu trúc lỏng, cả sợi và cấu trúc lỏng hoặc rónh kết hợp với nhau tạo thành lừi cỏp. Lừi cỏp được bao quanh phần tử gia cường của cáp. Các thành phần tạo rónh hoặc cỏc 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 cỏp:** Vỏ cáp bảo vệ cho cáp và thường được bọc đệm để bảo vệ lừi cỏp khỏi bị tác động của ứng suất cơ học và môi trường bên ngoài. Vỏ chất dẻo được bọc bên ngoài cáp cũn 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 thỡ sợi quang phải được bọc thành cáp. Với các môi trường khác nhau thỡ cấu trỳc của cỏp quang cũng khỏc nhau để phù hợp với nhu cầu thưc tế. Tuy nhiên, để đảm bảo chất lượng tốt của hệ thống thỡ cỏc thiết bị phỏt 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 trỡnh bày một cỏch khỏ chi tiết về thiết bị phỏt 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 phỏt 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), thỡ ở điều kiện đó nếu có một năng lượng bằng với mức năng lượng chênh lệch cấp cho điện tử thỡ 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.

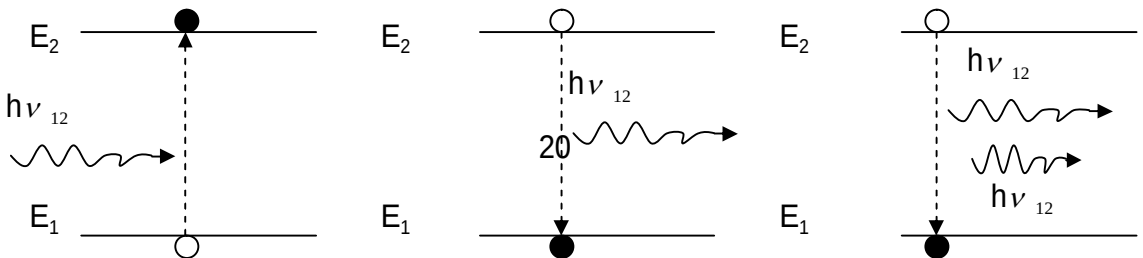
Điện tử rời khỏi mức năng lượng cao E_2 bị hạt nhân nguyên tử hút và quay về trạng thái ban đầu. Khi quay về trạng thái E_1 thỡ một năng lượng đúng bằng E_2 - E_1 được giải phóng. Đó là hiện tượng phát xạ tự phỏt và năng lượng được giải phóng tồn tại ở dạng ánh sáng gọi là ánh sáng phát xạ tự phỏt. Theo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

$$\lambda = c\frac{h}{E_2 - E_1} \tag{3.1}$$

Trong đó, $h = 6{,}625.10^{34}\ js$ (hằng số Planck)

$c = 3.10^8$ là vận tốc ỏnh sỏng

Bước sóng tỷ lệ nghịch với độ lệch năng lượng của các nguyên tử cấu tạo nên linh kiện phát quang. Do đó bước sóng ánh sáng phát xạ phản ánh bản chất của vật liệu.



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 kớch thớch chuyển về trạng thỏi E_2. Sau khi hấp thụ năng lượng ánh sáng đập vào (hỡnh 3.1c). Đó là hiện tượng phát xạ kớch thớch. Năng lượng ánh sáng phát ra tại thời điểm này lớn hơn năng lượng ánh sáng phát ra tự nhiên. Cũn 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 ó mức năng lượng cao. Giả sử rằng trong bán dẫn có N điện tử trong đó có n_1 điện tử ở vựng hoỏ 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 Điode 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 thụng tin quang, LED phải cú 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 cỏc hệ thống thụng tin quang phỏt triển khỏ rộng rói, cỏc sợi dẫn quang đơn mode được đưa vào sử dụng trong các hệ thống thông tin quang thỡ LED cũng đó cú 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 đó 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 nhiờn chỳng phự hợp với mạng nội hạt, các tuyến thông tin quang ngắn với tốc độ bit trung bỡnh 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 trỡnh mấu chốt là: hấp thụ phụton, phỏt xạ tự phỏt và phỏt xạ kớch thớch. Ba quỏ trỡnh này tương tự cơ chế phát xạ ánh sáng và được trỡnh 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 đó được đưa vào khai thác. Băng tần của hệ thống thông tin quang đũi hỏi khỏ 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 bỡnh từ 1nm đến 2 nm và nhỏ hơn, công suất ghép vào sợi quang đạt vài miliwatt.

3.2.4 Nhiễu trong nguồn phỏt Laser

Khi các LD được sử dụng trong các hệ thống thông tin quang có tốc độ cao, thỡ một số hoạt động của Laser bắt đầu xuất hiện và tốc độ biến đổi càng cao thỡ chỳng càng thể hiện rừ và cú thể gõy 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. Vỡ ỏnh sỏng lan truyền dọc theo sợi dẫn quang nờn sự kết hợp của cỏc 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 tưởng 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 vỡ 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 trũ 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 trũ rất quan trọng trong hệ thống thụng tin quang, nú cú 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.

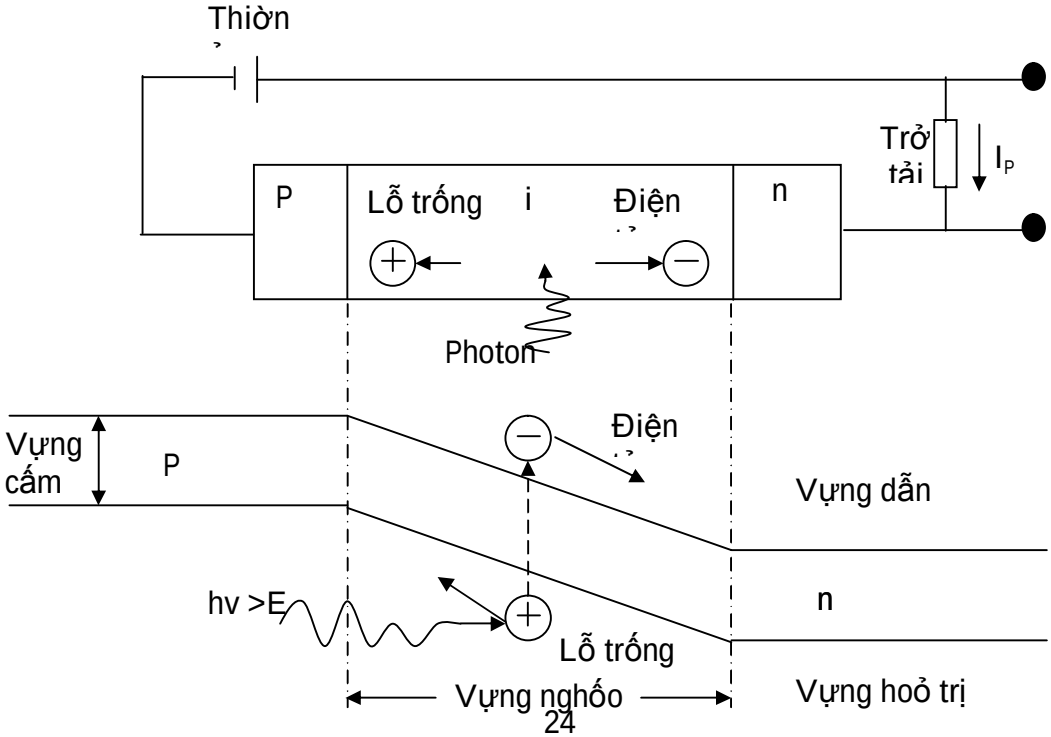
3.3.1 Cơ chế thu quang

Như đó núi ở trờn, cơ sở của hiệu ứng quang điện là quá trỡnh hấp thụ ỏnh sỏng trong chất bỏn dẫn. Khi ỏnh sỏng đập vào một vật thể bán dẫn, các điện tử trong vùng hoà trị được chuyển dời tới vùng dẫn nhưng nếu không có một sự tác động sảy ra thỡ sẽ khụng thu được kết quả gỡ mà chỉ cú cỏc 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 trỡnh lan truyền đến vùng n. Trong quá trỡnh đó, các điện tử và lỗ trống đó 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. Vỡ khụng cú 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 trỡnh chuyển động của chúng. Tuy nhiên, sẽ có một vài điện tử di chuyển vào điện trường trong quá trỡnh 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 thỡ cỏc điện tử và lỗ trống sẽ được tái hợp ở mạch ngoài và sẽ có dũng điện chạy qua.

3.3.2 Photođiốt PIN

Phôtođiốt PIN là bộ tách sóng dùng để biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Cấu trúc cơ bản của Photođiốt PIN gồm các vùng p và n đặt cách nhau bằng một lớp tự dẫn i rất mỏng. Để thiết bị hoạt động thỡ cần phải cấp một thiờn ỏp ngược để vùng bên trong rút hết các loại hạt mang. Khi cú ỏnh sỏng đi vào Photođiốt PIN thỡ sẽ xảy ra quỏ trỡnh như sau. Nếu một photon trong chùm ánh sáng tới mang một năng lượng $h\nu$ lớn hơn hoặc ngang bằng với năng lượng dải cấm của lớp vật liệu bán dẫn trong Photođiốt thỡ photon cú thể kớch thớch điện tử từ vùng hoá trị sang vùng dẫn.Quá trỡnh này sẽ phỏt ra cỏc 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 (hỡnh 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 dũng ở mạch ngoài, với một luồng dũng điện sẽ ứng với nhiều cặp mang được phát ra và dũng này gọi là dũng photon.



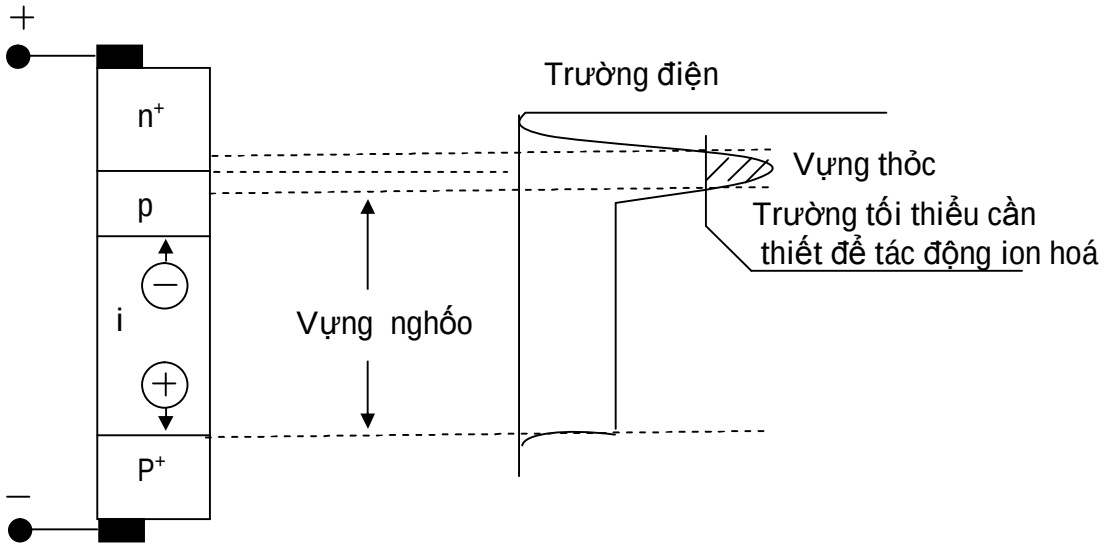
Hõnh 3.2: Sơ đồ vùng năng lượng của Photođiốt PIN.

Trong trường hợp lý tưởng, mỗi photon chiếu vào phái sinh ra một xung điện ở mạch ngoài và giá trị trung bõnh của dũng 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 Photođiốt thỏc

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.

Photođiốt thác ký hiệu APD (Avalanche photodiote) có đặc tính tốt hơn đối với tín hiệu nhỏ. Sau khi biến đổi các photon thành các điện tử thỡ nú khuếch đại ngay dũng photo ở bờn trong nú trước khi dũng 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 nhõn bờn trong thỡ cỏc 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.



Hõnh 3.3: Cấu trúc Photođiốt thác và trường điện trong vựng trụi.

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 dũng điện. Nếu tại một bước sóng có số photon rơi vào là N_0 và năng lượng mỗi photon là:m

$$E = \frac{hc}{\lambda} \tag{3.2}$$

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

(3.3)

và lượng điện tích sinh ra là: $q_0 = N_0 \eta e$ (3.4)

với $e = 1{,}6.10^{-19} c$

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

$$i_0 = \frac{dq_0}{dt} = \eta.e\frac{dN_0}{dt} \tag{3.5}$$

$$\Leftrightarrow i_p = \frac{\eta.\lambda.eP_T}{hc} = SP_T$$

gọi S độ nhạy quang có thứ nguyên [A/W] và $S = \frac{\eta.\lambda.e}{hc}$ (3.6)

3.3.4.3 Tạp õm của tỏch súng quang

Đối với các bộ tách sóng quang, bộ thu quang cần phải có độ nhạy thu rất cao, điều đó đũi hỏi cỏc photođiôt 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:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_p}{P_{TS} + P_{KD}} \tag{3.7}$$

với P_p: Cụng suất tớn hiệu do dũng photo tạo ra.

P_{TS}: Cụng suất tạp õm của bộ tỏch súng.

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

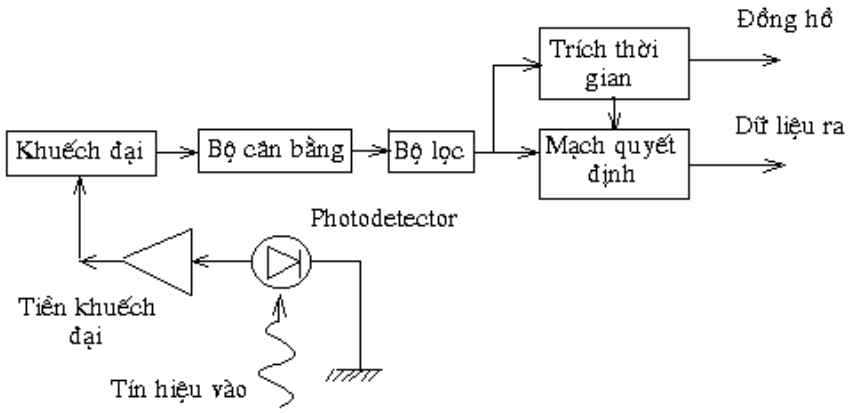
Để đạt được tỷ lệ S/N cao thỡ phải hội đủ các điều kiện sau:

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

3.3.5 Bộ thu quang trong truyền dẫn tớn 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 dũng này thành tớn 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.



Hỡnh 3.4: sơ đồ khối của bộ thu quang điển hỡnh trong truyền dẫn

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 thỡ hệ thống khụng đáp ứng được nhu cầu trao đổi thông tin ngày càng cao vỡ thế cỏc phương pháp ghép kênh quang ra đời, trong đó phương pháp ghép kênh theo thời gian đang càng ngày càng thể hiện rừ tớnh ưu việt của nó và vấn đề này sẽ đươc trỡnh bày chi tiết ở chương sau.

CHƯƠNG 4:
KỸ THUẬT GHẫP KáNH QUANG PHÂN CHIA THEO THỜI GIAN

4.1 Giới thiệu chương

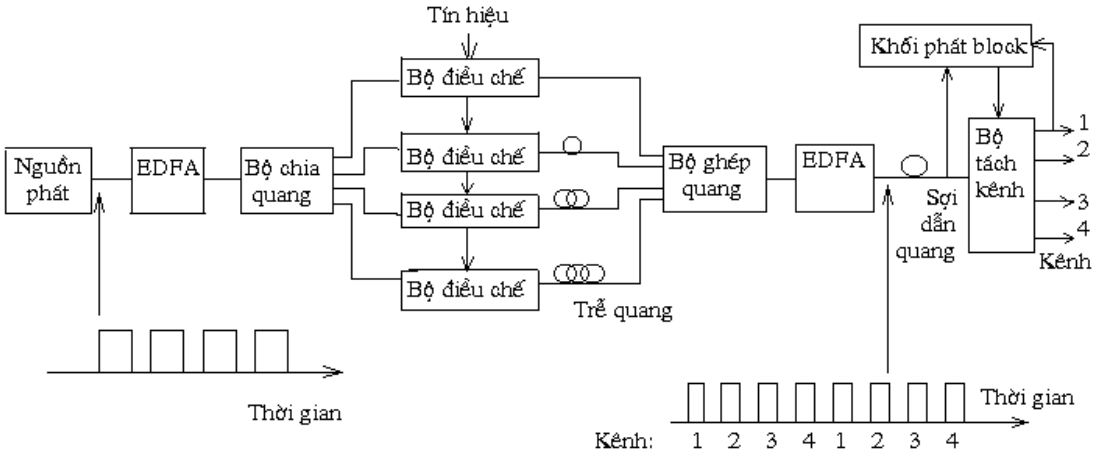
Trong những năm gần đây, công nghệ thông tin quang đó đạt được những thành tựu rất lớn trong đó phải kể đến kỹ thuật ghép kênh quang, nó thực hiện việc ghép các tín hiệu ánh sáng để truyền trên sợi dẫn quang và việc ghộp kờnh sẽ khụng cú một quỏ trỡnh biến đổi về điện nào. Mục tiêu của việc ghép kênh 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 thỡ 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 tỡnh trạng trờn thỡ kỹ thuật ghộp kờnh quang đó 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 mó và tốc độ đường truyền.

Như ta đó biết, cỏc hệ thống thụng tin quang thớch hợp với cụng nghệ truyền dẫn SDH. Kỹ thuật SDH sẽ ghộp cỏc kờnh để tạo ra các luồng tín hiệu quang, cũn OTDM sẽ thực hiện việc ghép các luồng quang này để tạo ra các tuyến truyền dẫn có dung lượng cao.

4.2 Nguyờn lý ghộp kờnh OTDM

Trong hệ thống thụng tin quang sử dụng kỹ thuật OTDM thỡ 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. Tuỳ 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.



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

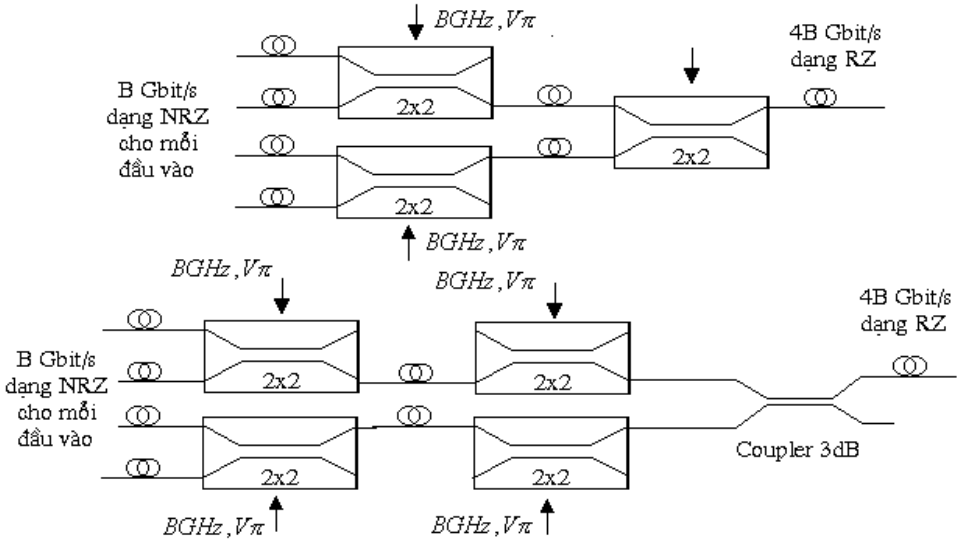
Các hệ thống ghép kênh OTDM thường hoạt động ở vùng bước sóng 1550nm, tại bước sóng này có suy hao quang nhỏ và lại phù hợp với bộ khuếch đại quang sợi có mặt trong hệ thống. Các bộ khuếch đại quang sợi có chức năng duy trỡ quỹ cụng suất của hệ thống nhằm đảm bảo tỷ lệ S/N ở phía thu quang.

4.3 Phỏt tớn hiệu trong hệ thống OTDM

Hệ thống thụng tin quang sử dụng kỹ thuật ghộp kờnh OTDM ỏp dụng hai kỹ thuật phỏt tớn hiệu chủ yếu sau:

1. Tạo luồng số liệu quang số RZ thụng 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 phự hợp. Quỏ trỡnh 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 thỡ mỗi luồng NRZ yờu cầy một phần tử xử lý quang riờng. Nhưng với các hệ thống tiên tiến hơn sẽ cho phép đồng thời thực hiện cả biến đổi và xen quang NRZ thành NZ nhờ một thiết bị chuyển mạch tích cực điện-quang 2x2. Vỡ vậy, chựm tớn 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 hỡnh sin vời 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.



Hỡnh 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 cỏc 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 đó 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 tuỳ 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 thỡ tỷ lệ này sẽ yờu cầu cao hơn. Các nguồn phát xung phù hợp với hệ thống OTDM đang được sử dụng rộng rói:

1. Các Laser hốc cộng hưởng ngoài gừ mode 4x5Gbit/s.
2. Các Laser DFB chuyển mạch khuếch đại 8x6,25Gbit/s.
3. Cỏc Laser vũng sợi khoỏ mode 4x10Gbit/s và 16x6,25Gbit/s.
4. Cỏc nguồn phỏt liờn tục 16x6,25Gbit/s.

Nguồn phỏt liờn 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 ghộp và xen rẽ kờnh trong hệ thống OTDM

4.4.1 Giải ghộp

Khi xem sột cỏc hệ thống thụng 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 hỡnh điểm-điểm thỡ cụng việc giải ghộp ở phớa thu là việc tỏch hoàn toàn cỏc kờnh quang tương ứng đó được phát ở đầu phát. Nhưng đối với mạng thụng tin quang sử dụng kỹ thuật OTDM thỡ việc giải ghộp ở phớa thu khụng chỉ đơn thuần là tách các kênh quang mà cũn thực hiện việc xen và rẽ kờnh 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 phõn 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.

$$EX = 10\log_{10} A/B \qquad (4.1)$$

với A: Mức cụng suất quang trung bỡnh ở mức logic 1.

B: Mức cụng suất quang trung bỡnh ở mức logic 0 .

Ngoài ra, xuyên kênh cũng sẽ bị tăng do sự phủ chờm 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.

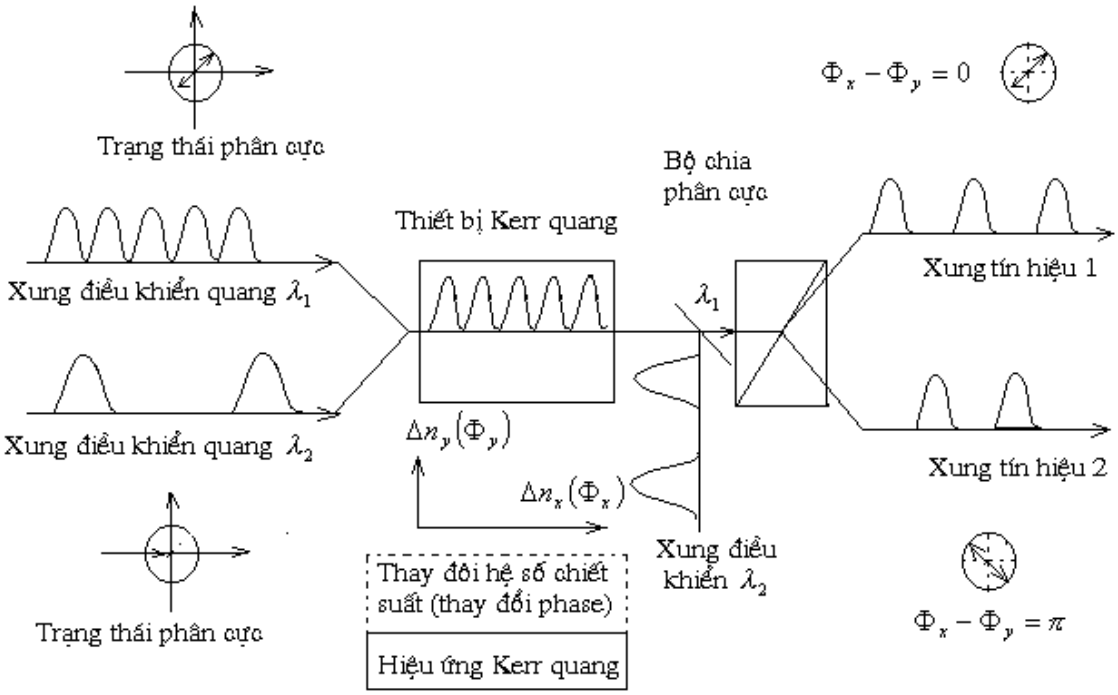
Bảng tóm tắt các phương pháp giải ghộp kờnh OTDM.

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 hỡnh sin	40>10Gbit/s cửa sổ 19ps
- Bộ điều khiển băng rộng	Sóng điện 2 tần số	40>10Gbit/s cửa sổ 22ps. Rẽ và xen kờnh
- Bộ điều khiển điện-hấp thụ	Sóng điện hỡnh sin	Khụng nhạy cảm phõn cực 40>10Gbit/s cửa sổ 10ps
- Quang Kerr: sợi		40Gbit/s 5Gbit/s
- Trộn súng: sợi		100>6,25Gbit/s
- Gương vũng: Sợi	Xung quang	40>20Gbit/s
	Xung quang	100>6,25Gbit/s, cửa sổ 6ps
	Xung quang	Rẽ và xen kờnh 40Gbit/s*10Gbit/s
- Trộn súng: bỏn dẫn		20>5Gbit/s
- Quang Kerr: bỏn dẫn		20>10Gbit/s
	Xung quang	40>10Gbit/s
-Gương vũng: bỏn dẫn	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 trỡnh bày trong hỡnh 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 hỡnh 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 sử lý quang hoàn toàn cho giải ghộp với cỏc đặc tính nổi bật sau:

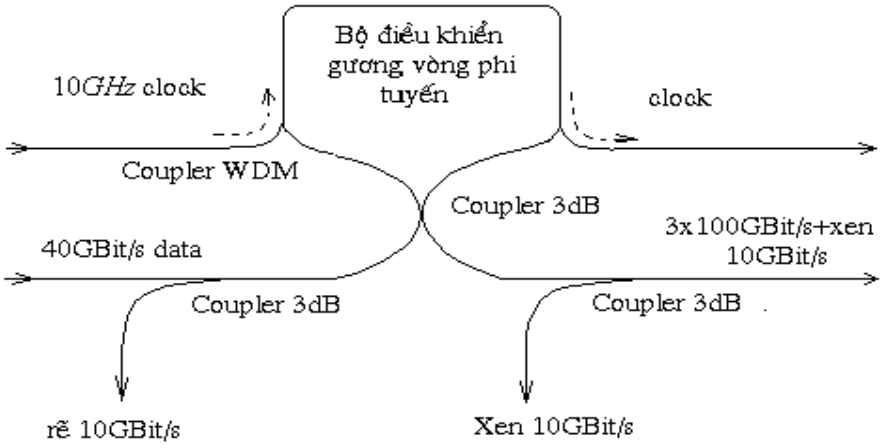
- Cho phộp thoả món về các mức độ giải ghép kênh.
- Lấy được kênh, truy cập đến các kênh dang truyền để thực hiện việc xen và rẽ kênh.

- 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 gõy ra xuyờn kờnh.



Hỡnh 4.3: Nguyờn lý của bộ giải ghộp thời gian (DEMUX) sử dụng chuyển mạch phõn 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 hỡnh 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 sảy ra sau đó thường được gọi chung là hiệu ứng Kerr.



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

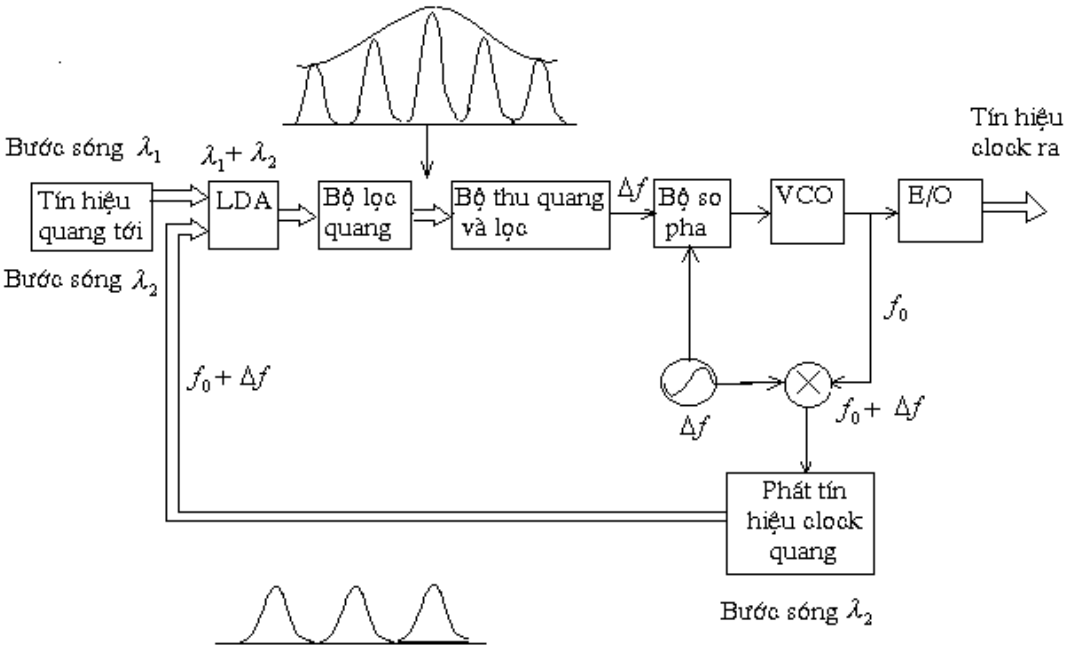
4.4.2 Xen rẽ kờnh

Tín hiệu đến bộ chia 3dB chia ra giữa các nhánh của gương vũng. Sau khi lan truyền vũng quanh vài km sợi trong vũng thỡ hai chuụi xung sẽ giao thoa, tỏi hợp với nhau và được phản xạ từ gương vũng dưới các điều kiện tương thích. Chu trỡnh hoạt động cơ bản này là động và tuyến tính. Tuy nhiên, nếu có chuỗi xung clock công suất cao hơn được đưa vào vũng mà trùng hợp với tín hiệu số nhưng chỉ lan truyền theo một hướng thỡ cỏc xung clock sẽ biến đổi chỉ số chiết suất của lừi sợi. Việc điều chế ngang pha vừa đủ đó cú thể cú trong cỏc xung tớn hiệu để tạo ra các xung phù hợp được chuyển mạch qua phía đối diện của gương vũng. Kết quả là tớn hiệu cần thiết lấy ra ở nỳt được thiết bị phản xạ trong khi đó các kênh cũn 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 khiển mà cũn bằng cả cỏc 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 vũng phi tuyến (NOLM: Nonlinear Loop Mirror) cũng cú 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 chon 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 tỏch lấy tớn hiệu clock là một quỏ trỡnh không thể thiếu được để tạo ra tín hiệu định thời với tốc độ của tín hiệu thu được là một quá trỡnh khụng thể thiếu khi thực hiện sử lý tớn 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 đó được biến đổi thành tín hiệu điện thỡ cỏc thiết bị truyền dẫn như các thiết bị đầu cuối quang, thiết bị xen rẽ kênh và cả các trạm lặp đều có PLL. Việc trích lấy xung clock đũi hỏi phải thực hiện một cỏch chớnh xỏc.

Các mạch PLL điện chỉ đáp ứng được các hệ thống truyền dẫn với tốc độ bít nhỏ, khi tốc độ truyền dẫn tăng lên thỡ chỳng khụng cũn phự hợp nữa. Nú sẽ bị hạn chế vỡ 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 rât rừ cho nờn cần phải sử dụng việc tỏch tớn hiệu clock dựa

trờn cụng nghệ quang. Cỏc mạch PLL quang đó 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 hỡnh 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 Δf với Δf 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 Δf 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 phỏt tớn hiệu quang sẽ biến đổi tín hiệu điện có tần số $f_0 + \Delta f$ 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 thông OTDM.

4.6 Đặc tính truyền dẫn của OTDM

Do ỏnh sỏng truyền trong sợi quang bị gión rộng ra do sự tỏn 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 đũi hỏi cỏc xung phỏt ra phải rất ngắn. Ta cú 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 tớnh tớn hiệu RZ trờn 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 sảy ra thỡ hệ thống bị suy giảm nhanh nờn để tăng cực đại khoảng cách truyền dẫn thỡ phải đưa các hệ thống truyền dẫn ODTM 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 vỡ giảm cụng suất tớn hiệu để tránh gión 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 trỡ hỡnh thức truyền dẫn tuyến tớnh của tuyến.

Hệ thống sử dụng cỏc 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 thỡ khoảng lặp của hệ thống OTDM phi tuyến cú 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, cũn 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 diều 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 Tớnh toỏn và thiết kế

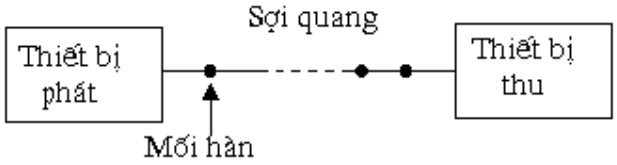
CHƯƠNG 5: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ TUYẾN CÁP QUANG THEO QUỸ CÔNG SUẤT VÀ THỜI GIAN LÊN

5.1 Giới thiệu chương

Các hệ thống thông tin quang được ứng dụng cú hiệu quả nhất trong lĩnh vực truyền dẫn số. Do vậy trong tớnh toỏn, thiết kế ta xem xột hệ thống truyền dẫn số IM-DD (Intensity Modulation-Direct Detection) thỡ những điều kiện bắt buộc về kỹ thuật và tính kinh tế đóng một vai trũ quan trong 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 Cỏc khỏi niệm

Như đó biết, hệ thống thụng 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 hỡnh vẽ dưới đây:

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

- Cự ly truyền dẫn theo yờu 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 lừi sợi.
- Chỉ số chiết suất mặt cắt lừi.
- Băng tần hoặc tán sắc.
- Suy hao của sợi.

- Khẩu độ hay bán kính trường mode.

Nguồn phỏt là LD hay LED

- Bước sóng phát.
- Độ rộng phổ.
- Cụng suất phỏt.
- Vựng phỏt xạ cú 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 bao kỹ thuật ta phải xét đến quỹ công suất lên và quỹ thời gian lên của tín hiệu trong hệ thống.

Quỹ cụng suất cú cụng suất phát, độ nhạy thu, công suất dự phũng, từ đó ta thiết lập tỷ số BER. Công suất dự phũng cho suy hao sợi, suy hao mối nối...Khi lựa chọn cỏc thành phần của tuyến mà khụng đảm bảo khoảng cách đường truyền thỡ cú thể thay đổi các thành phần đó hay ghép trạm lặp vào tuyến để thoả món yờu cầu về cụng suất. Khi quỹ cụng suất đó cõn bằng ta kiểm tra quỹ thời gian lờn của tớn hiệu.

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 món yờu cầu đặt ra

5.3 Quỹ cụng suất

Ta xét phương trỡnh cõn bằng của quỹ cụng suất. Đó là điều kiện về công suất để tuyến hoạt động bỡnh thường.

Giả sử bờn phỏt và bờn thu khụng cú sự suy hao cụng suất thỡ:

$$P_s - P_r = 0 \qquad (5.1)$$

trong đó, P_s: Cụng suất phỏt.

P_r: Cụng suất thu.

Suy hao trờn 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:

$$A = -10\log\frac{p_{out}}{p_{in}} \quad (5.2)$$

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

- Phương trỡnh cõn bằng quỹ cụng suất (điểm-điểm) là:

$$10\log[P_s.(hs)] - MDP = (\alpha + \alpha_{cap})L + n.\alpha_c + m.\alpha_S + \alpha_d + \alpha_{device} \quad (5.3)$$

Trong đó: P_s là cụng suất phỏt [mW]

hs: Hiệu suất ghộp quang [%]

MDP: Độ nhạy máy thu

MDP=-27,5dBm [7]

α, α_{cap}: Hệ số suy hao cỏp và dự phũng cho cỏp [dB/km]

L: Khoảng cỏch giữa phớa phỏt 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 ghộp sợi quang-bộ thu[dB]

α_{device}: Suy hao dự phũng cho thiết bị [dB]

- Cụng suất quang tới P_d [dB]:

$$P_d = 10\log[P_s.(hs)] - \left|(\alpha + \alpha_{cap}).L + n.\alpha_c + m.\alpha_s + \alpha_d + \alpha_{device}\right| \quad (5.4)$$

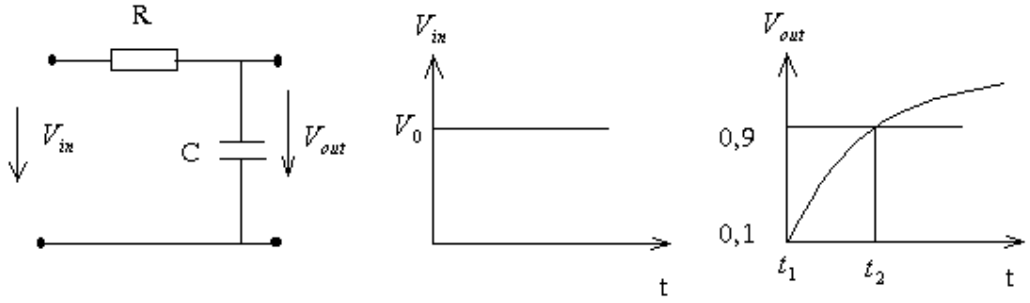
Khi cụng suất quang tới nằm trong khoảng giữa [MDP đến (MDP+Over)] với Over là hệ số quá tải máy thu. Lúc này tỷ số lỗi bit BER sẽ nhỏ hơn mong muốn và không bị quả tải máy thu.

5.4 Quỹ thời gian lờn

Trong một hệ thống thụng 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 trỡnh đó, độ rộng xung của tín hiệu bị gión 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:



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

Tớn hiệu vào là xung vuụng nờn cú dạng:

$$V_{in} = V_0.1(t) \Rightarrow V_{in}(p) = V_0 / p \tag{5.5}$$

Hàm truyền: $H(p) = \frac{1}{1+p\tau}$ với $\tau = RC$ (5.6)

$$\Rightarrow V_{out}(p) = H(p).V_{in}(p) = \frac{V_0}{p(1+p\tau)} \tag{5.7}$$

$$\Rightarrow V_{out}(t) = V_0.\left[1-\exp\left(-t/\tau\right)\right] \tag{5.8}$$

tại t_1: $0{,}1V_0 = V_0\left[1-\exp\left(-t_1/\tau\right)\right]$

$$\Leftrightarrow \exp\left(-t_1/\tau\right) = 0{,}9$$

tại t_2: $0{,}9V_0 = V_0\left[1-\exp\left(-t_2/\tau\right)\right]$ (5.9)

$$\Leftrightarrow \exp\left(-t_2/\tau\right) = 0{,}1 \tag{5.10}$$

Từ (5.9) và (5.10) ta cú: $t_2 - t_1 = \ln(9).\tau$

$$\Leftrightarrow t = \ln(9)RC = 2{,}2RC \tag{5.11}$$

Từ (5.6) ta cú: $H(f) = \frac{1}{1+2j\pi fRC}$ (5.12)

Do đó băng thông của mạch: $$B = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5.13)$$

Từ (5.11) và (5.13) ta được:

$$t = \frac{2,2}{2\pi B} = \frac{0,35}{B} \quad (5.14)$$

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

$$t_{\max} = \frac{0,35}{B_{rx}} \quad (5.15)$$

Với tớn hiệu loại NRZ: $t_{rx(\max)} = {0,7}/{R}$

(5.16)

Với loại tớn hiệu RZ: $t_{\max} = \frac{0,35}{R}$

(5.17)

khi đó thời gian lên của tuyến:

$$t_t = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} t_i^2} \quad (5.18)$$

-Thời gian lờn của thiết bị thu.

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

$$t_n = {350}/{B} \quad (5.19)$$

-Thời gian lờn tỏn sắc mode của sợi quang

$$t_{mode} = 440.{L^q}/{B_0} \text{ [ns]} \quad (5.20)$$

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 cỏp

-Thời gian lờn tỏn sắc vật liệu dựng ống dẫn súng

$$t_{VL} = D.L.\sigma \quad (5.21)$$

Trong đó D: Hệ số tán sắc

σ : Độ rộng nguồn phát

(5.17) có thể được viết lại:

$$t_t = \sqrt{t_{tx}^2 + (D.L.\sigma)^2 + \frac{440L^q}{B_0} + \left(\frac{350}{B_{rx}}\right)^2} \quad (5.22)$$

5.5 Nhiễu trong hệ thống thụng tin quang

Nhiễu là khái niệm để mô tả các thành phần tín hiệu điện không mong muốn Có chiều hướng gây rối quá trỡnh truyền dẫn và xử lý tớn hiệu trong hệ thống mà chỳng ta khụng kiểm soỏt 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 rao thế năng có tính ngẫu nhiên theo thời gian gây ra. Dũng chảy của cỏc hạt electron qua tiếp giỏp p-n là riêng rẽ và ngẩu 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:

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

Trong đó: B là độ rộng băng của bộ thu

I là dũng trung bỡnh đến bộ tách sóng

Giỏ trị của dũng nhiễu lượng tử là $i_{shot} = \sqrt{2.e.i.B}$, từ biểu thức này ta thấy dũng 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 khuyếch đại, có xu hướng chi phối trong quá trỡnh khuyếch đại khi sử dụng photodiode PIN với tỷ số tín hiệu trên nhiễu thấp, có thể đạt được hệ số khuyếch đại tối ưu bằng thiết kế cân bằng giữa nhiễu nhiệt và nhiễu lương tử không phụ thuộc vào hệ số khuyếch đại.

Cụng thức tớnh toỏn 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(^{0}c) + 273

R là điện trở tải

5.6 Tỷ lệ tớn hiệu trờn nhiễu

5.6.1 Đối với photodiode PIN

Trong hệ thống tỏch súng trực tiếp, sử dụng diode tỏch súng PIN thỡ giỏ trị dũng và cụng suất tới quan hệ như sau:

$$i_s = \frac{\eta e}{h\nu} p_s \qquad (5.25)$$

Với: η là hiệu suất lượng tử

h là hằng số plank, h =6,626.10^{-34} Js

Mặt khỏc ta cú cụng suất trờn tải:

$$S = i^2.R_L$$

$$S = (\frac{\eta e}{h\nu}.p_s)^2.R_L \qquad 5.26$$

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

$$. N_{shot} = i^2{}_{shot}.R_L = 2.eI.BR_L = 2e(\frac{\eta e}{h\nu}P_s + i_d).B.R_L \qquad 5.27$$

-Dũng và thế của nhiễu nhiệt:

$$i_{nh}^2 = \frac{4KTB}{R_L} \quad : u_{nh}^2 = 4\text{KTB}.R_L$$

Cụng suất nhiễu nhiệt:

$$N_{nh} = \frac{4KTB}{R_L}R_L = 4KTB \qquad 5.28$$

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

$$\frac{S}{N} = \frac{(\frac{\eta e}{h\nu}p_s)^2 R_L}{2e(\frac{\eta e}{h\nu}.p_s + i_d)B.R_L + 4K.B.T} \qquad 5.29$$

5.6.2 Đối với photodiode APD

Như đó 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^2_{shot} = 2.e.I.B cũng nhân được lên lớp nhân với hệ số nhân M.

$$i^2_{\hat{e}hot} = (\frac{\eta e}{h\nu}.p_s + i_d)M^{2+x.}B$$

5.30

$$N_{shot} = i^2_{shot}.R_L = 2.eI.BR_L = 2e(\frac{\eta e}{h\nu}P_s + i_d).M^{2+x}.B.R_L \quad (5.31)$$

Trong biểu thức trờn 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 õm quỏ mức. Giỏ 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:

$$\frac{S}{N} = \frac{(\frac{\eta e}{h\nu}M.p_s)^2 R_L}{2e(\frac{\eta e}{h\nu}.p_s + i_d)M^{2+x}B.R_L + 4K.B.T} \quad (5.32)$$

Tỷ lệ lỗi bit: $$BER = \frac{\exp(-q^2/2)}{q\sqrt{2.\pi}} \quad (5.33)$$

Với q=SN/2

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

5.7 Cỏc giỏ trị của cỏc thành phần

Thiết bị phỏt quang: [7]

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

Cỏp sợi quang: [7]

Tham số	Giỏ 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 tỏn 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	Giỏ trị
Độ nhạy(S)	PIN: -43 đến 27,1 dBm APD: -41,5 đến 29,6 dBm
Hiệu suất	60%-90%
Dũng i_d, i_L	$\approx 1nA$

Suy hao do hàn nối và bộ nối:

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

Khi tạo tổ hợp cỏc thành phần trong tuyến phải tuõn theo cỏc 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

5.8 Bài toỏn tớnh toỏn và thiết kế theo quỹ cụng suất và thời gian lờn

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

Việc tớnh toỏn dựa trờn 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 km
- Tốc độ bit : B_t =2,5 Gb/s
- Mó sử dụng là mó RZ
- Số conector(mối nối) : 2
- Số Slice(mối hàn) : 20
- BER cho phộp 10^{-10} và không sử dụng bộ khuyếch 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 thết kế là 850nm, 1300nm, 1550nm.

Nghiên cứu về cáp quang đó cho thấy rằng, cỏp quang cú 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 ngắn 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 trõnh 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 đời 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=17ps/nm.km.

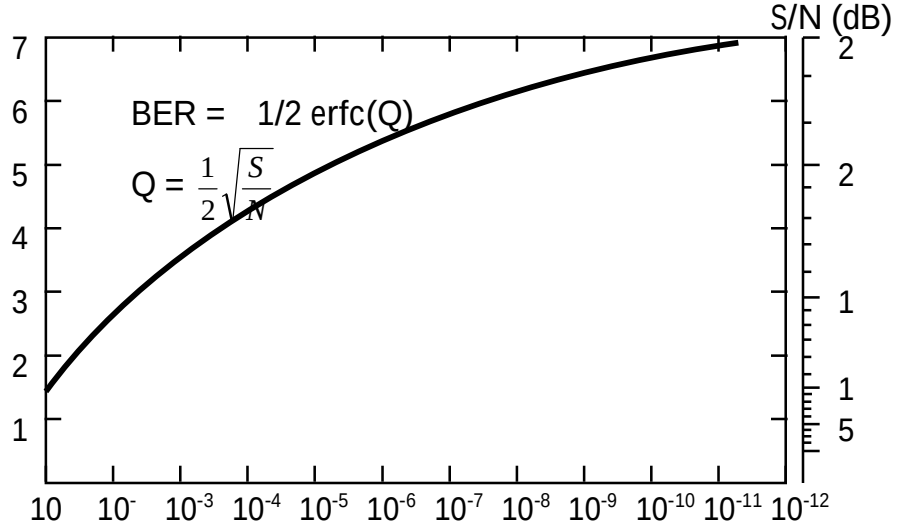
5.8.3 Thiết bị thu quang

Chọn thiết bị thu quang thừa món cỏc yờu cầu sau:

- Độ nhạy cao với bước sóng làm việc của tuyến.
- Hiệu suất lượng tử lớn
- Đặc tính nhiễu phải thấp
- Hoạt động ổn định với sự thay đổi của môi trường

Việc chọn thiết bị thu ứng với một tỷ lệ lỗi bit BER cho trước làmột công đoạn quang trọng, bởi lẽ độ nhậy tính được ta sẽ có công suất phát tối ưu và như vậy sẽ làm cho tuyến hoạt động ổn định.

Với BER cho trước thỡ ta sẽ cú tỷ lệ tớn hiệu trờn nhiễu từ bảng dưới đây:



Hỡnh 5.2 Tỷ số bit BER

Với BER=10^{-11} thỡ từ hỡnh vẽ ta sẽ cú 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 mối hàn	0,1dB	20	2dB
Tổn hao mối nối	1dB	2	2dB
Dự phũng	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:

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

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

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

Chọ thiết bị thu là photodiode PIN G6742-003 của Hamamatsu Photonic (cú thụng số kốm theo)

Cỏc thụng số của PIN:

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

R_L = 50Ω

I_d = $0,3.10^{-9}$ A

Cỏc hằng số :

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

Thay các giá trị vào ta được phương trỡnh:

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

Ta được phương trỡnh theo P_S :

$$0,9025.P_S - 138,3.10^{-9}P_S - 15,1.10^{-11} = 0$$

Giải phương trỡnh bậc hai ta được: $P_S = 13.10^{-6}$ W

$P_S = -12,8.10^{-6}$W (loại)

Vậy độ nhạy của máy thu là: $P_S = 13.10^{-6}$ W hay P_S =-18.7dBm

Từ đó ta có công suất phát tối ưu cho laser trong trường hợp sử dụng PIN: $P_T = P_A + P_S = 34 + (-18,7) = 15,34$dbm

Như vậy chọn thiết bị phát với công suất danh định là: P_T = 15,12mW

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:

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

hay

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

Chọn thiết bị thu là photodiode APD loại Suo020 của sensor Ulimited Inc (cú thụng số kốm theo)

Cỏc thụng số của APD:

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

$R_L = 50\Omega$

X = 0,7

M = 10

I_d = 30 nA

Cỏc hằng số:

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

Thay các giá trị vào ta được phương trỡnh:

$$182 = \frac{(8 \times P_S)^2}{3,2.10^{-19}(0,8 \times P_S + 0,3.10^{-9}) \times .10^{2+0,7}.2,5.10^9 + \frac{4 \times 1,38.10^{-23} \times 300 \times 2,5.10^9}{50}}$$

Ta được phương trỡnh theo P_S:

$$64.P_S^2 - 29{,}189.10^{-6}P_S - 7{,}717.10^{-11} = 0$$

Giải phương trỡnh bậc hai ta được: $P_S = 1{,}35.10^{-6}$ W

$P_S = -8{,}93.10^{-6}$W (loại)

Vậy độ nhạy của máy thu là: $P_S = 1{,}35.10^{-6}$ W hay $P_S = -28{,}7$dBm

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

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

5.12 Tớnh toỏn thời gian lờn

-Thời gian lên tối đa của hệ thống

$t_t = 0{,}7/B_t = 0{,}7/2{,}5.10^9 = 2.8.10^{-10}$ s

-Thời gian lờn của thiết bị thu:

$t_n = 350/B = 350/2{,}5.10^9 = 14.10^{-10}$ s

-Thời gian lờn tỏn sắc mode của sợi quang:

$t_t = 440.L^q/B_0 = 440.100^{0,5}/2{,}5.10^7 = 176.10^{-6}$ s

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

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

L : chiều dài của cỏp

- Thời gian lờn tỏn sắc vật liệu ống dẫn súng:

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

- Khi đó thời gian lên của tuyến :

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

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

Như vậy thời gian lờn của tuyến là: $t_t = 2{,}65.10^{-10}$ s

5.13 Kết luận chương

Kết quả việc tính toán dựa vào các thông số cho trước của tuyến đó cho thấy rằng, ở APD cú hệ số nhõn M nờn tỷ lệ tớn hiệu trờn nhiễu S/N cú giỏ 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 quang" đó thực sự đem lại cho em nhiều hiểu biết về thông tin sợi quang. Khi tỡm hiểu về hệ thống thụng tin sợi quang ở chương 1 đó trỡnh bày một cỏch khỏi quỏt về hệ thống và đó giỳp cho em cú tầm nhỡn về hệ thống thụng tin sợi quang một cỏch tổng quát. Các chương tiếp theo sẽ tập trung vào trỡnh bày một cỏch then chốt cỏc 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 cũn nhiều hạn chế nhưng hệ thống IM-DD với đặc tính đơn giản đó được ứng dụng rộng rói và cho những lợi ớch to lớn trong thời kỳ mới phỏt triển thụng 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 …thỡ 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 thỡ ghộp kờnh phõn chia theo thời gian là đơn giản và phổ biến nhất với các tính năng ưu việc của nó. Việc tính toán, thiết kế tuyến thông tin quang theo quỹ công suất và thời gian lên đũi hỏi cỏc thụng số phải phự hợp, cụng thức chớnh xỏc ..và trờn cơ sở đó chương trỡnh 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 nhưng năm gần đây, các nước phát triển trên thế giới như Mỹ, Nhật Trung quốc, Đức…đang ngiên 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 giỏ 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.

CHƯƠNG 2: SỢI QUANG VÀ CÁP QUANG

2.1 Giới thiệu chương

Cùng với sự phát triển của khoa hoc 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:

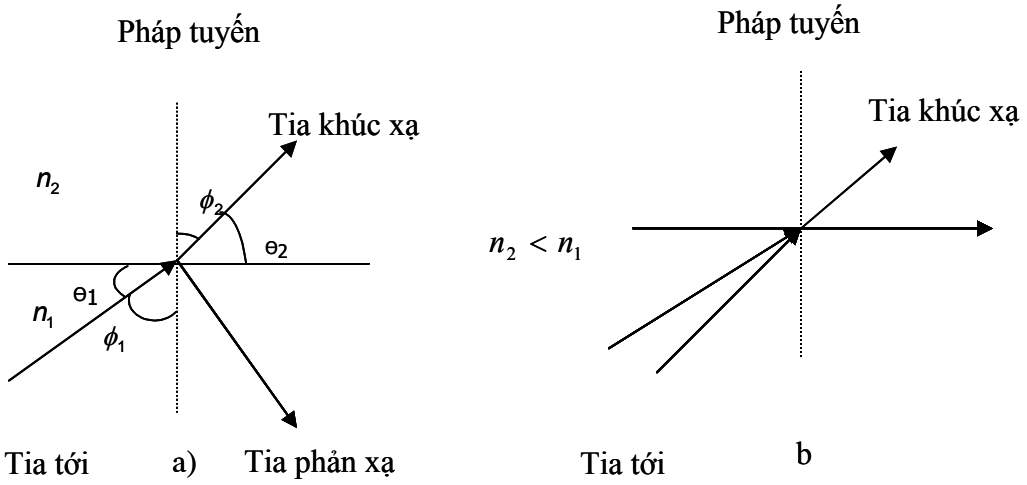
$$n_1 Sin\phi_1 = n_2 Sin\phi_2$$

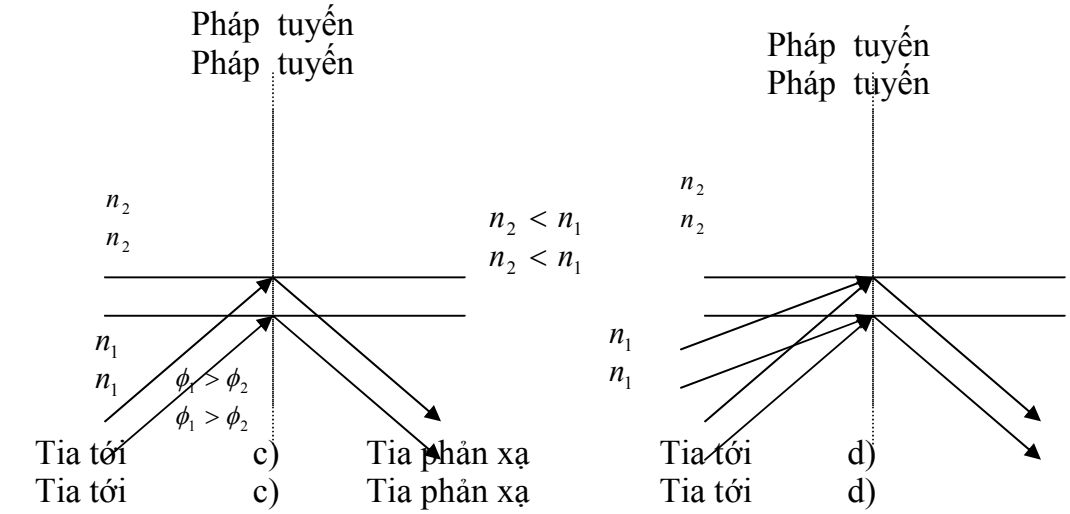
(2.1)

với ϕ_1 là góc tới và ϕ_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 thuỷ 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.





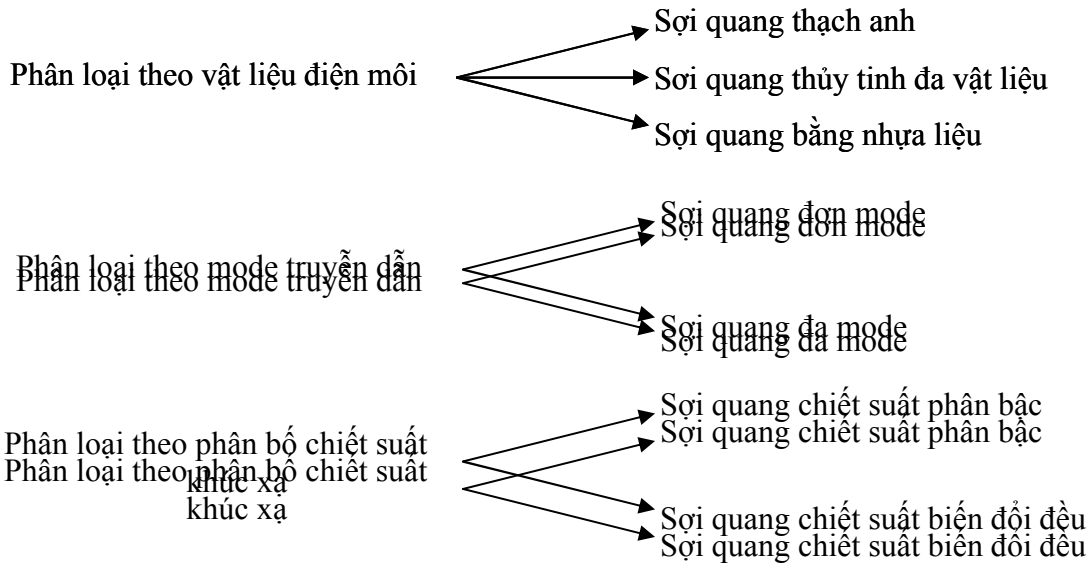
Tia tới
c)
Tia phản xạ

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

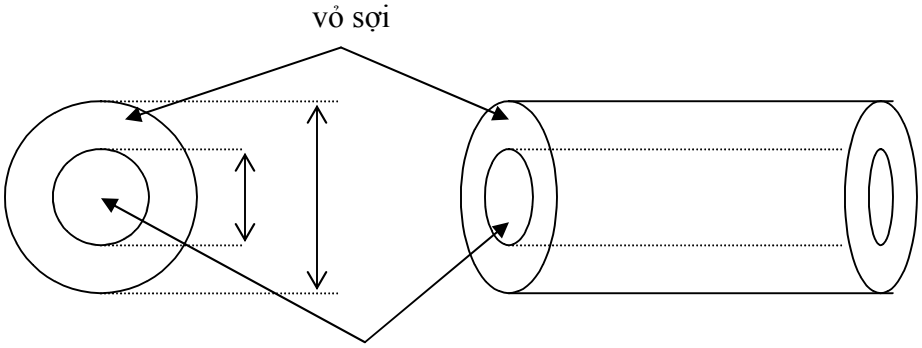
2.2.2.1 Sợi quang

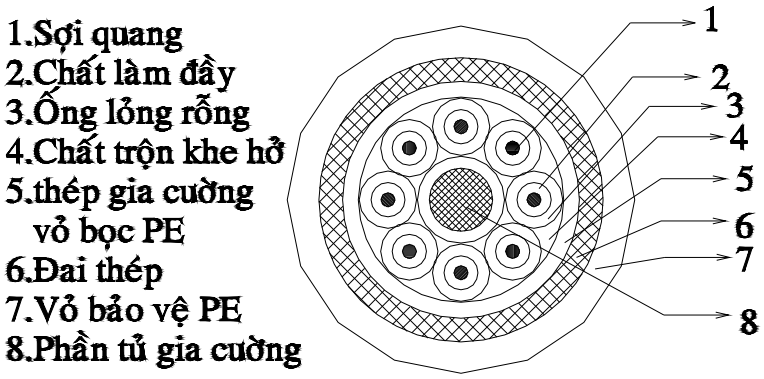
Sợi quang là sợi mảnh dẫn ánh sáng, gồm hai chất điện môi trong suốt nhưng khác nhau về chiết suất. Lõi sợi cho ánh sáng truyền qua còn lớp vỏ bao quanh lõi và có đường kính tùy thuộc vào từng yêu cầu cụ thể.

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 chi 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 lặp tối đa giữa máy phát và máy thu. Mặt khác, do việc khó lắp đăt, chế tạo và bảo dưỡng các bộ lặp 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 α để biểu thị suy hao tính theo dB/km.

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

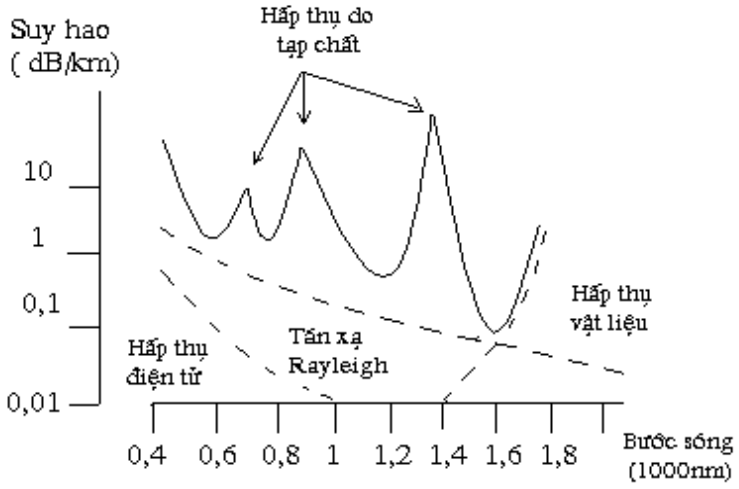
(2.2)

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 trong trong việc tạo nên bản chất suy hao của sợi dẫn quang. Hấp thụ nảy 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 λ do sự bất ổn định về mật độ gây ra có thể được diễn giải như công thức dưới đây:

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

(2.3)

n: chỉ số chiết suất.

k_B : hằng số Boltzman.

β_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).

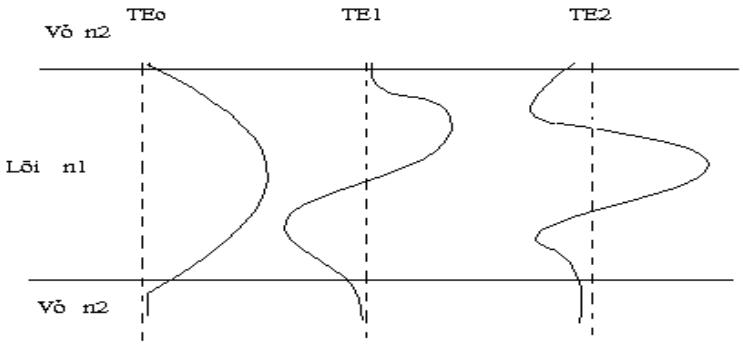
2.2.3.4 Suy hao do uốn cong sợi

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 xãy 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 bi 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.

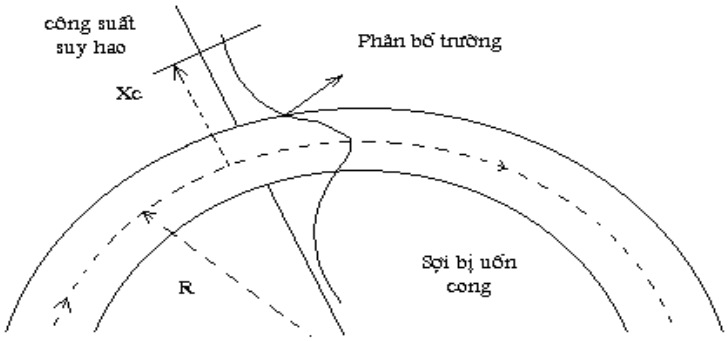


Hình 2.4: Sự phân bố trường điện đối với vài mode bậc thấp hơn trong sợi dẫn quang.

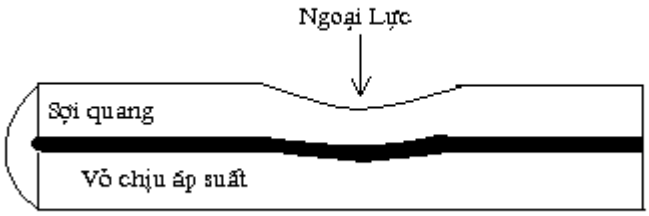
Có thể giải thích các hiệu ứng suy hao uốn cong này bằng cách khảo sát phân bố điện trường mode. Trường mode lõi có đuôi mờ dần sang vỏ, giảm theo khoảng cách từ lõi tới vỏ theo quy tắc hàm mũ. Vì đuôi trường này di chuyển cùng với trường trong lõi nên một phần năng lượng của mode lan truyền sẽ đi vào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

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

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:

$$\frac{\tau_n}{L} = \frac{1}{V_n} = \frac{d\beta}{cdk} = -\frac{\lambda^2}{2\pi c}\frac{d\beta}{d\lambda}$$

(2.4)

β : là hằng số lan truyền dọc theo trục sợi

L: là cự ly xung truyền đi, và $k = 2\pi/\lambda$

Khi đó, vận tốc nhóm được tính bằng

$$V_n = c\left(\frac{d\beta}{dk}\right)^{-1}$$

(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 $d\tau_n/d\lambda$. Nếu độ rộng phổ σ_λ của nguồn phát được đặc trưng bằng giá trị hiệu dụng (r.m.s) σ_λ thì độ giãn xung sẽ gần bằng độ rộng xung hiệu dụng

$$\sigma_n = \left(\frac{d\tau_n}{d\lambda}\right)\sigma_\lambda = -\frac{L\sigma_\lambda}{2\pi c}\left(2\lambda\frac{d\beta}{d\lambda} + \lambda^2\frac{d^2\beta}{d\lambda^2}\right)$$

(2.6)

và $D = \frac{1}{L}\frac{d\tau_n}{d\lambda}$ 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 tuỳ 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 $n(\lambda)$ ngang bằng với chỉ số chiết suất ở lõi sợi, khi đó hằng số lan truyền β được cho ở trường hợp này là:

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

(2.7)

Thay thế phương trình này vào (2.4) với $k = 2\pi/\lambda$ sẽ thu được trễ nhóm τ_v cho tán sắc vật liệu:

$$\tau_v = \frac{L}{c}\left(n - \lambda\frac{dn}{d\lambda}\right)$$

(2.8)

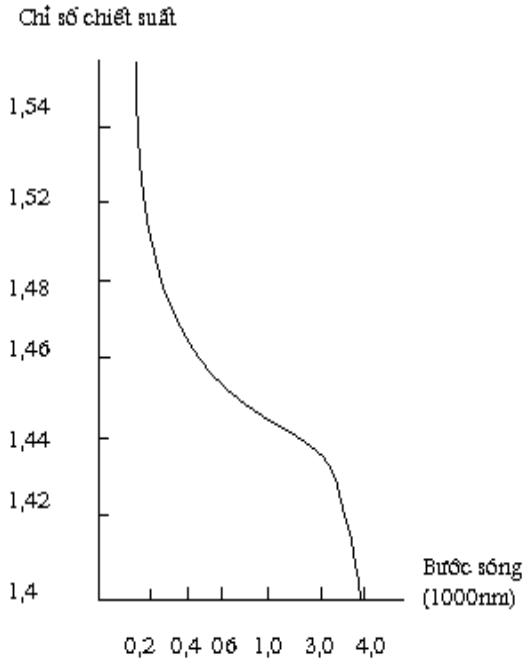
từ (2.10) thì sẽ có được độ giãn xung σ_v đối với độ rộng phổ σ_λ của nguồn phát bằng cách vi phân độ trễ nhóm này.

$$\sigma_v = \frac{d\tau_v}{d\lambda}\sigma_\lambda = -\frac{L}{c}\lambda\frac{d^2n}{d\lambda^2}\sigma_\lambda = D_v(\lambda)L\sigma_\lambda$$

(2.9)

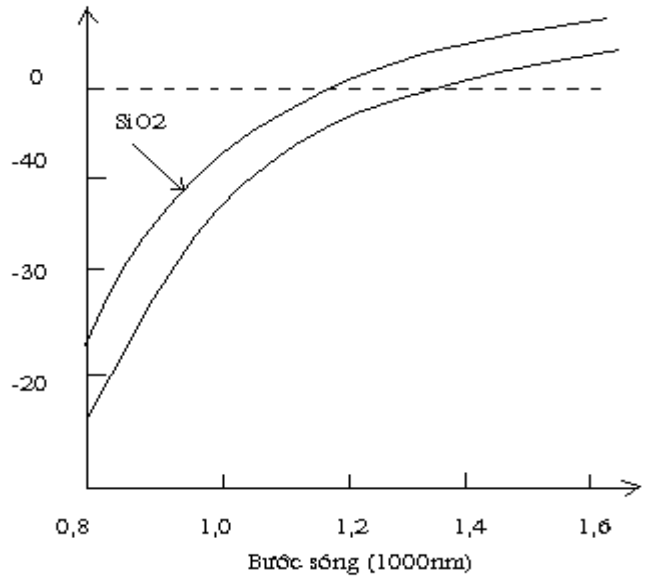
với $D_v(\lambda)$ là tán sắc vật liệu.

Đồ thị của phương trình (2.9) cho đơn vị độ dài L và đơn vị độ rộng phổ của nguồn phát σ_λ 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



Hinh 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:

$$b = 1 - \left(\frac{ua}{V}\right)^2 = \frac{\beta^2 / k^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2}$$

(2.10)

đối với các giá trị chênh lệch chiết suất nhỏ $\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$, phương trình (2.10) có thể được viết lại như sau:

$$b = \frac{\beta / k - n_2}{n_1 - n_2}$$

(2.11)

từ đó ta có $\beta = n_2 k(b\Delta + 1)$

(2.12)

Sử dụng hệ thức trên và giả sử n_2 không phải là hàm của bước sóng, ta thấy rằng trễ nhóm $\tau_{ds} = \frac{L}{c}\frac{d\beta}{dk} = \frac{L}{c}\left[n_2 + n_2\Delta\frac{d(kb)}{dk}\right]$

(2.13)

Mặt khác, $V = ka(n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \approx kan_2\sqrt{2\Delta}$ thoả mãn đối với các giá trị Δ nhỏ nên (2.13) có thể viết lại

$$\frac{d(Vb)}{dV} = b\left[1 - \frac{2j_v^2(ua)}{j_{v+1}(ua)j_{v-1}(ua)}\right]$$

(2.14)

trong đó $n_2 + n_2\Delta\frac{d(Vb)}{dV}$ 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 bít xuất hiện. Như vậy, đặc tính tán sắc làm giới hạn dung lượng truyền dẫn của sợi quang.

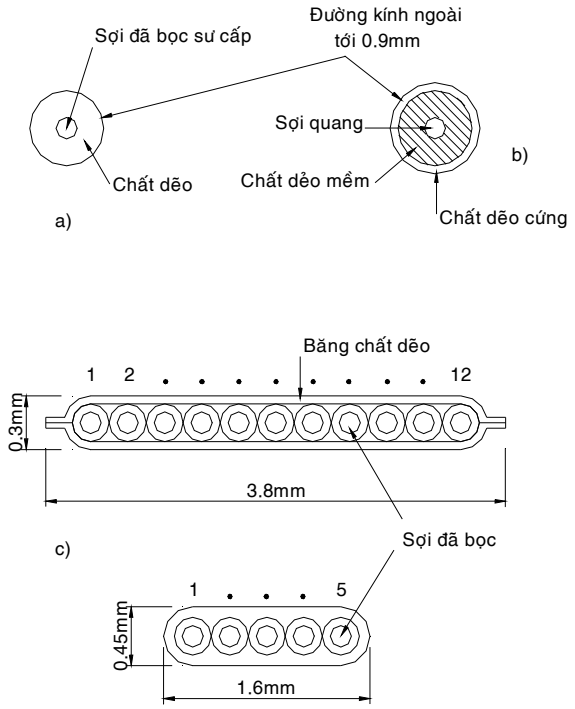
2.3 Cáp sợi quang

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.

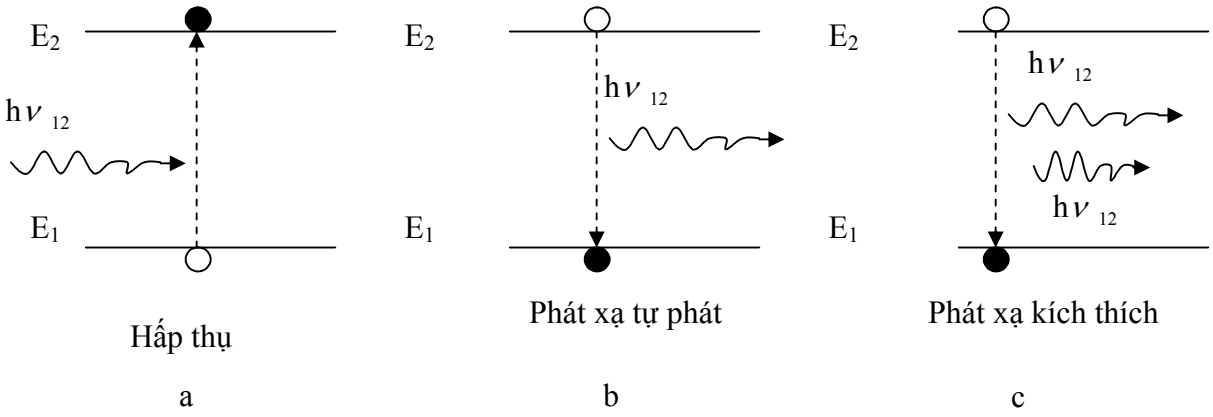
Điện tử rời khỏi mức năng lượng cao E_2 bị hạt nhân nguyên tử hút và quay về trạng thái ban đầu. Khi quay về trạng thái E_1 thì một năng lượng đúng bằng $E_2 - E_1$ được giải phóng. Đó là hiện tượng phát xạ tự phát và năng lượng được giải phóng tồn tại ở dạng ánh sáng gọi là ánh sáng phát xạ tự phát.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

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

Trong đó, $h = 6{,}625.10^{34}\ js$ (hằng số Planck)

$c = 3.10^8$ là vận tốc ánh sáng

Bước sóng tỷ lệ nghịch với độ lệch năng lượng của các nguyên tử cấu tạo nên linh kiện phát quang. Do đó bước sóng ánh sáng phát xạ phản ánh bản chất của vật liệu.



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 ó 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 Điode 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 mấu chốt là: hấp thụ phôton, 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 tưởng 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.

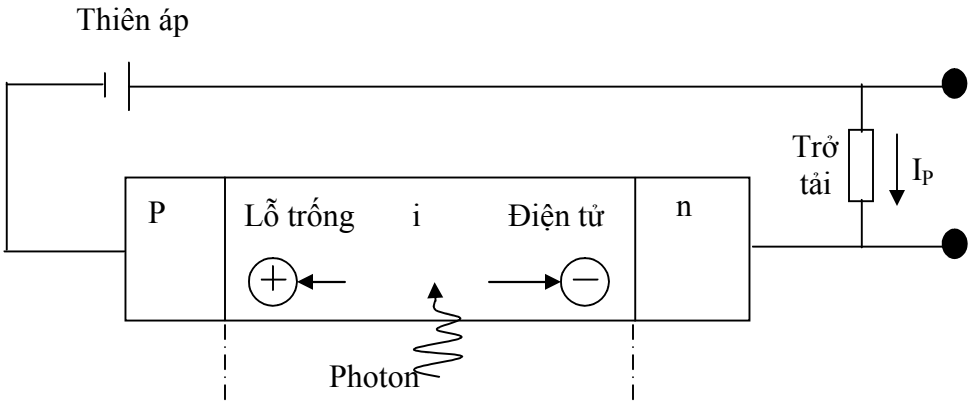
3.3.1 Cơ chế thu quang

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 hoà trị được chuyển dời tới vùng dẫn nhưng nếu không có một sự tác động sảy 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 Photođiốt PIN

Phôtođiốt PIN là bộ tách sóng dùng để biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Cấu trúc cơ bản của Photođiốt 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 Photođiốt PIN thì sẽ xảy ra quá trình như sau. Nếu một photon trong chùm ánh sáng tới mang một năng lượng $h\nu$ lớn hơn hoặc ngang bằng với năng lượng dải cấm của lớp vật liệu bán dẫn trong Photođiốt 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 Photođiốt PIN.

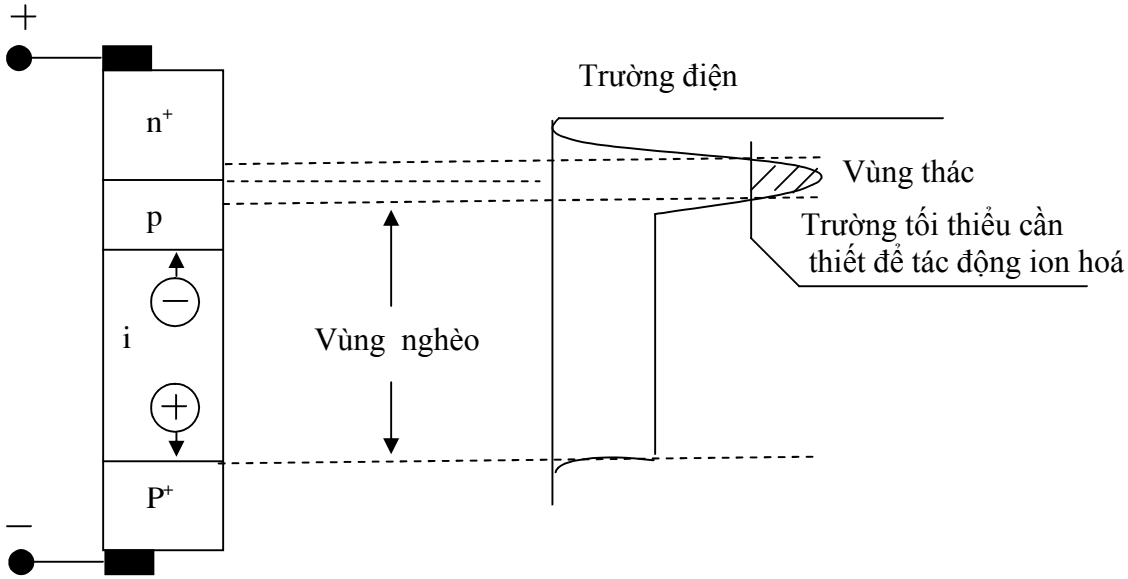
Trong trường hợp lý tưởng, mỗi photon chiếu vào phái sinh ra một xung điện ở mạch ngoài và giá trị trung bình của dòng điện sinh ra phải tỷ lệ với công suất của ánh sáng chiếu vào nhưng trong thực tế, không đạt được như vậy mà một phần ánh sáng bị tổn hao do phản xạ.

3.3.3 Photođiốt 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.

Photođiốt thác ký hiệu APD (Avalanche photodiote) 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 Photođiốt 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

$$E = \frac{hc}{\lambda} \tag{3.2}$$

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: $q_0 = N_0 \eta e$

(3.4)

với $e = 1{,}6.10^{-19} c$

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

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

(3.5)

$$\Leftrightarrow i_p = \frac{\eta.\lambda.eP_T}{hc} = SP_T$$

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

(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 photođiôt 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.

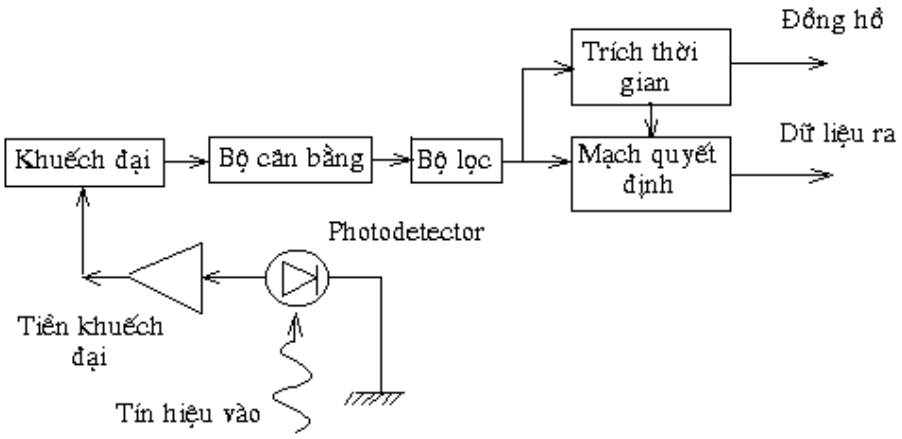
Để đạt được tỷ lệ S/N cao thì phải hội đủ các điều kiện sau:

- 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 khuyếch đại và của các bộ khuyếch đại phía sau. Nhưng trong thực tế, phần lớn tạp âm là do các bộ tách sóng và các bộ tiền khuyếch 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.

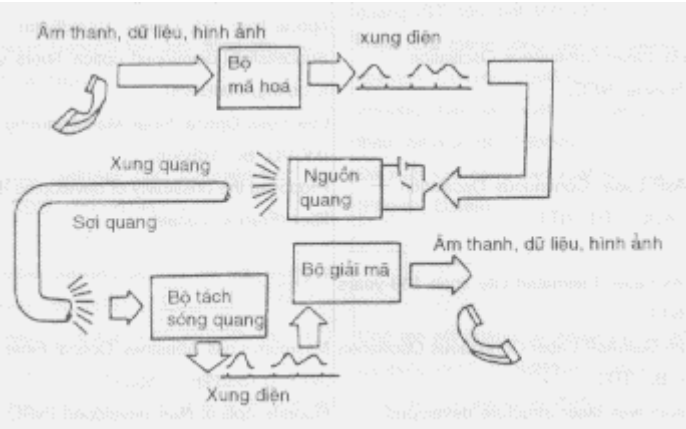
3.4 Kết luận chương

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 đươc trình bày chi tiết ở chương sau.

I. HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG

1.1 THÔNG TIN QUANG

Khác với thông tin hữu tuyến và vô tuyến - các loại thông tin sử dụng các môi trường truyền dẫn tương ứng là dây dẫn và không gian - thông tin quang là một hệ thống truyền tin thông qua sợi quang. Điều đó có nghĩa là thông tin được chuyển thành ánh sáng và sau đó ánh sáng được truyền qua sợi quang. Tại nơi nhận, nó lại được biến đổi trở lại thành thông tin ban đầu. Hình 1.1. Giới thiệu một hệ thống truyền dẫn sợi quang digital được sử dụng rộng rãi nhất hiện nay. Trong phần này chúng ta sẽ xem xét các giai đoạn phát triển của hệ thống này và so sánh các đặc tính của nó với các đặc tính của những hệ thống đang tồn tại. Cuối cùng, chúng ta sẽ giải thích các tính chất của ánh sáng.



Hình 1.1. Hệ thống truyền dẫn sợi quang digital

1.1.1. SỰ PHÁT TRIỂN CỦA THÔNG TIN QUANG

Các phương tiện sơ khai của thông tin quang là khả năng nhận biết của con người về chuyển động, hình dáng và màu sắc của sự vật thông qua đôi mắt. Tiếp đó, một hệ thống thông tin điều chế đơn giản xuất hiện bằng cách sử dụng các đèn hải đăng các đèn hiệu. Sau đó, năm 1791, VC.Chape phát minh ra một máy điện báo quang.

Thiết bị này sử dụng khí quyển như là một môi trường truyền dẫn và do đó chịu ảnh hưởng của các điều kiện về thời tiết. Để giải quyết hạn chế

này, Marconi đã sáng chế ra máy điện báo vô tuyến có khả năng thực hiện thông tin giữa những người gửi và người nhận ở xa nhau.

Đầu năm 1980, A.G.Bell - người phát sinh ra hệ thống điện thoại - đã nghĩ ra một thiết bị quang thoại có khả năng biến đổi dao động của máy hát thành ánh sáng. Tuy nhiên, sự phát triển tiếp theo của hệ thống này đã bị bỏ bễ do sự xuất hiện hệ thống vô tuyến.

(Bảng 1.1) Các giai đoạn phát triển của thông tin cáp sợi quang

Năm	Nguồn quang	Cáp sợi quang
1960	Triển khai máy laser Ruby (HUGHES)	
1962	Máy laser Ga As	
1965	Máy laser Co2 (BL)	
1966		Khả năng sử dụng đường truyền dẫn cáp quang (ST, tổn thất 1000dB/km)
1970	Máy laser GaAIAS tạo dao động liên tục (BL, Nga, NEC)	Triển khai thành công sợi sáp quang sử dụng abaston (Corning, 20 dB/km)
1973		Phương pháp sản xuất sợi quang có độ tổn thất thấp (MCVD, BL, 1 dB/km)
1976	Máy laser GalnAsP dao động liên tục (MIT, KDD, TIT, NTT)	Đề xuất khả năng sản xuất sợi quang florua (France, Lucas).
1977	Máy laser GaAIAs có tuổi thọ ước lượng là 100 năm (BL, NTT)	
1979	Máy laser GalnAsP 1,55 um (KDD, BL, TIT) dao động liên tục	Chế tạo sợi quang có Abastoes có độ tổn thất tối thiểu (NTT, 0.18 dB/km (1.55um))
1980	Cấu trúc laser giếng lượng tử được chế tạo (Bell Lab).	Chế tạo sợi quang Flo (NRL) độ tổn thất 1000 dB/km
1981	GalnAsP LD (1.6 um) Continuous Oscillation (TIT)	
1982	LD Array High Power (2.5 W Continuous Osciltation)	
1983	Single Mode, Single Frequency LD (KDD, Bel Lab.)	Sợi quang fluor có độ tổn thất thấp (NRT, NTT) độ tổn thất 10 dB/km
1986	Single Mode, Single Frequency	Sợi quang fluor có độ tổn thất thấp,

	LD Commercialization (NEC, Hitachi etc.)	Độ tổn thất 1dB/km (khoảng 2.5 um)
1989	GaAI/AIGa Laser Develoment	

Sự nghiên cứu hiện đại về thông tin quang được bắt đầu bằng sự phát minh thành công của Laser năm 1960 và bằng khuyến nghị của Kao và Hockham năm 1966 về việc chế tạo sợi quang có độ tổn thất thấp. 4 năm sau, Kapron đã có thể chế tạo các sợi quang trong suốt có độ suy hao truyền dẫn khoảng 20 dB/km. Được cổ vũ bởi thành công này, các nhà khoa học và kỹ sư trên khắp thế giới đã bắt đầu tiến hành các hoạt động nghiên cứu và phát triển và kết quả là các công nghệ mơi về giảm suy hao truyền dẫn, về tăng giải thông về các Laser bán dẫn ... đã được phát triển thành công trong những năm 70. Như được chỉ ra trong <bảng 1.1>, độ tổn thất của sợi quang đã được giảm đến 0,18 dB/km. Hơn nữa, trong những năm 70 Laser bán dẫn có khả năng thực hiện dao động liên tục ở nhiệt độ khai thác đã được chế tạo. Tuổi thọ của nó được ước lượng hơn 100 năm. Dựa trên các công nghệ sợi quang và Laser bán dẫn giờ đây đã có thể gửi một khối lượng lớn các tín hiệu âm thanh / dữ liệu đến các địa điểm cách xa hàng 100 km bằng một sợi quang có độ dày như một sợi tóc, không cần đến các bộ tái tạo. Hiện nay, các hoạt động nghiên cứu nghiêm chỉnh đang được tiến hành trong lĩnh vực được gọi là photon học - là một lĩnh vực tối quan trọng đối với tất cả các hệ thống thông tin quang, có khả năng phát hiện, xử lý, trao đổi và truyền dẫn thông tin bằng phương tiện ánh sáng. Photon học có khả năng sẽ được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vự điện tử và viễn thông trong thế kỷ 21.

1.1.2. Các đặc tính của thông tin quang

Trong thông tin sợi quang, các ưu điểm sau của sợi quang được sử dụng một cách hiệu quả: độ suy hao truyền dẫn thấp và băng thông lớn. Thêm vào đó, chúng có thể sử dụng để thiết lập các đường truyền dẫn nhẹ và mỏng (nhỏ), không có xuyên âm với các đường sợi quang bên cạnh và không chịu ảnh hưởng của nhiễm cảm ứng sóng điện tử. Trong thực tế sợi quang là phương tiện truyền dẫn thông tin hiệu quả và kinh tế nhất đang có hiện nay

Trước hết, vì có băng thông lớn nên nó có thể truyền một khối lượng thông tin lớn như các tín hiệu âm thanh, dữ liệu, và các tín hiệu hỗn hợp thông qua một hệ thống có cự ly đến 100 GHz-km. Tương ứng, bằng cách sử dụng sợi quang, một khối lượng lớn các tín hiệu âm thanh và hình ảnh

có thể được truyền đến những địa điểm cách xa hàng 100 km mà không cần đến các bộ tái tạo.

Thứ hai, sợi quang nhỏ nhẹ và không có xuyên âm. Do vậy, chúng có thể được lắp đặt dễ dàng ở các thành phố, tàu thuỷ, máy bay và các toà nhà cao tầng không cần phải lắp thêm các đường ống và cống cáp.

Thứ ba, vì sợi quang được chế tạo từ các chất điện môi phí dẫn nên chúng không chịu ảnh hưởng bởi can nhiễu của sóng điện từ và của xung điện từ. Vì vậy, chúng có thể sử dụng để truyền dẫn mà không có tiếng ồn. Điều đó có nghĩa là nó có thể lắp đặt cùng với cáp điện lực và có thể sử dụng trong môi trường phản ứng hạt nhân.

Thứ tư, do nguyên liệu chủ yếu để sản xuất sợi quang là cát và chất dẻo - là những thứ rẻ hơn đồng nhiều - nên nó kinh tế hơn cáp đồng trục nhiều. Giá thành của sợi quang sẽ giảm nhanh một khi công nghệ mới được đưa ra. Ngoài ra, như đã đề cập ở trên, do đặc trưng là có độ tổn thất thấp giá thành lắp đạt ban đầu cũng như giá thành bảo dưỡng và sửa chữa thấp bởi vì chúng cần ít các bộ tái tạo hơn.

Ngoài những ưu điểm đã nêu trên, sợi quang có độ an toàn, bảo mật cao, tuổi thọ dài và có khả năng đề kháng môi trường lớn. Nó cũng dễ bảo dưỡng, sửa chữa và có độ tin cậy cao. Hơn nữa, nó không bị rò rỉ tín hiệu và dễ kéo dài khi cần và có thể chế tạo với giá thành thấp. Trong bảng 1.2, chúng ta tổng hợp các ưu điểm trên. Nhờ những ưu điểm này, sợi quang được sử dụng cho các mạng lưới điện thoại, số liệu/ máy tính, và phát thanh truyền hình (dịch vụ băng rộng) và sẽ được sử dụng cho ISDN, điện lực, các ứng dụng y tế và quân sự, cũng như các thiết bị đo.

Bảng 1.2 Các ưu nhược điểm của sợi quang

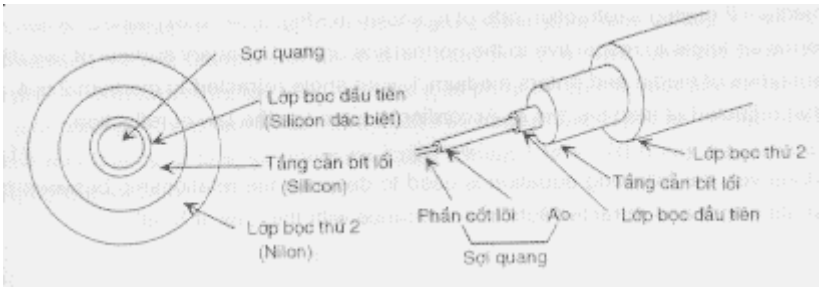
Đặc tính	Ưu điểm	Nhược điểm
Độ tổn thất thấp	Cự ly tái tạo xa chi phí thiết bị đường dây dẫn	
Dải thông lớn	Truyền dẫn dung lượng lớn	
Giảm kích thước đường truyền dẫn	Dễ lắp đặt và bảo dưỡng Giảm chi phí lắp đặt cống	Khó đấu nối
Phi dẫn	Ngăn ngừa xuyên âm Thông tin an toàn	Cần có các đường dây Cấp nguồn cho tiếp phát
Nguồn - cát	Nguyên liệu phong phú	Cần có các phương thức

	Chi phí sản xuất rẻ	chỉnh lõi mới (cáp)
Đánh giá	Dường truyền dẫn tuyệt vời	Có thể giải quyết bằng các tiến bộ công nghệ mới

1.2 CÁP SỢI QUANG

Sợi quang là những dây nhỏ và dẻo truyền các ánh sáng nhìn thấy được và các tia hồng ngoại. Như đã được trình bày trong hình 1.4, chúng có lõi ở giữa và có phần bao bọc xung quanh lõi. Để ánh sáng có thể phản xạ một cách hoàn toàn trong lõi thì chiết suất của lõi lớn hơn chiết suất của áo một chút.

Vỏ bọc ở phía ngoài áo bảo vệ sợi quang khỏi bị ẩm và ăn mòn, đồng thời chống xuyên âm với các sợi đi bên cạnh và làm cho sợi quang dễ xử lý. Để bọc ngoài ta dùng các nguyên liệu mềm và độ tổn thất năng lượng quang lớn.



Hình 1.4. Cấu trúc cáp sợi quang

Lõi và áo được làm bằng thuỷ tinh hay chất dẻo (Silica), chất dẻo, kim loại, fluor, sợi quang kết tinh). Ngoài ra chúng được phân loại thành các loại sợi quang đơn mode và đa mode tương ứng với số lượng mode của ánh sáng truyền qua sợi quang. Ngoài ra chúng còn được phân loại thành sợi qaung có chỉ số bước và chỉ số lớp tuỳ theo hình dạng và chiết suất của các phần của lõi sợi quang. Các vấn đề này sẽ được trình bày tỉ mỉ ở mục 1.2.2

1.3. HỆ THỐNG CÁP QUANG

Nhờ kết quả của các hoạt động nghiên cứu và phát triển cường độ cao trong những năm 1970, hiện nay công nghệ thông tin quang đa mode đang được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới. Cũng đúng như vậy đối với hệ thống thông tin quang đơn mode. Dựa trên kỹ thuật đã được phát triển, ngày càng nhiều cáp quang đã được sử dụng trong nhiều lĩnh vực. Trong phần này, các đặc tính chung của cáp quang được giải thích và tiếp đó,

chúng tôi sẽ giới thiệu việct hiết kế một hệ thống số và tương tự cũng như công nghệ ghép kênh phân chia bước sóng.

1.3.1. Tổng quan về hệ thống thông tin quang

1. Cấu hình của hệ thống thông tin quang.

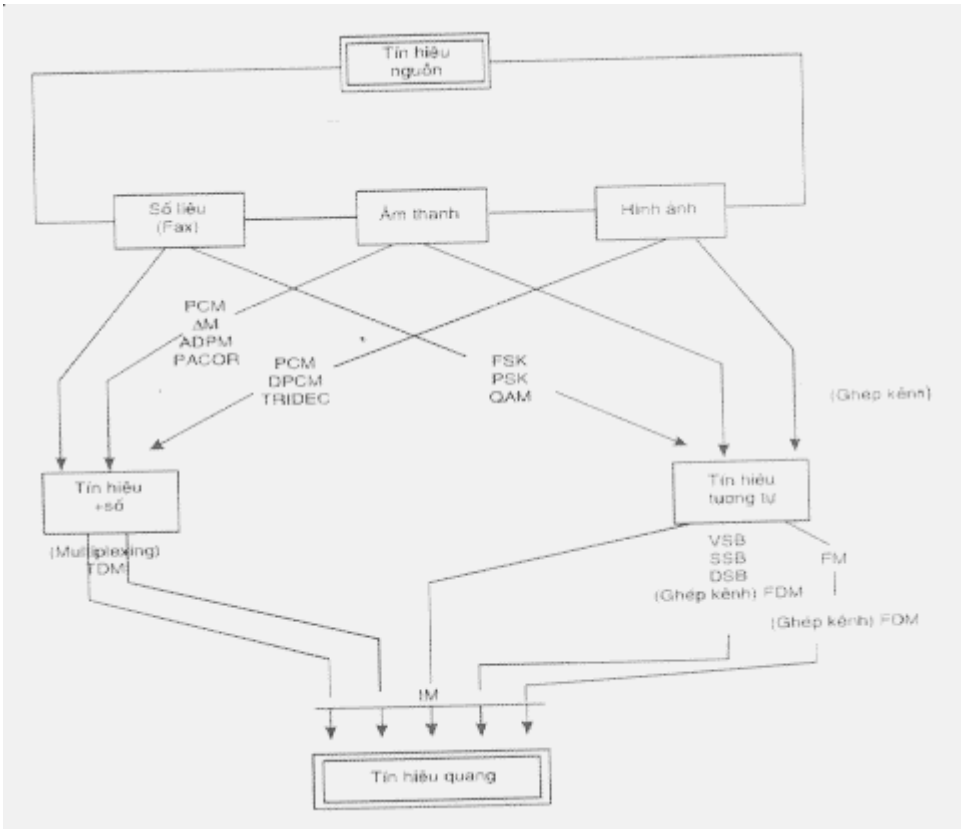
Để thiết lập một hệ thống truyền dẫn hợp lý, việc lựa chọn môi trường truyền dẫn, phương pháp truyền dẫn và phương pháp điều chế/ ghép kênh phải được xem xét trước tiên. Cho đến nay thì không gian được sử dụng một cách rộng rãi cho thông tin vô tuyến, còn cáp đối xứng và cáp đồng trục cho thông tin hữu tuyến. Trong phần dưới đây, chúng tôi chỉ bàn đến các phương pháp truyền dẫn hiện đang sẵn có dựa trên việc sử dụng cáp quang. Sự điều chế sóng mang quang của hệ thống truyền dẫn quang hiện nay được thực hiện với sự điều chế theo mật độ vì các nguyên nhân sau:

(1) Sóng mang quang, nhận được từ các phần tử phát quang hiện có, không dủ ổn định để phát thông tin sau khi có sự thay đổi về pha và độ khuyếch đại và phần lớn không phải là các sóng mang đơn tần. Đặc biệt các điốt phát quang đều không phải là nhất quán và vì vậy có thể coi ánh sáng đại loại như tiếng ồn thay vì sóng mang. Do đó, chỉ có năng lượng là cường độ ánh sáng tức thời được sử dụng.

(2) Hiện nay, các Laser bán dẫn được chế tạo đã có tính nhất quán tuyệt vời và do đó có khả năng cung cấp sóng mang quang ổn định. Tuy nhiên, công nghệ tạo phách - Một công nghệ biến đổi tần số cần thiết để điều chế pha - còn chưa được phát triển đầy đủ.

(3) Nếu một sóng mang đơn tần có tần số cao được phát đi theo cáp quang đa mode - điều mà có thể xử lý một cách dễ dàng - thì các đặc tính truyền dẫn thay đổi tương đối phức tạp và cáp quang bị dao động do sự giao thoa gây ra bởi sự biến đổi mode hoặc do phản xạ trong khi truyền dẫn và kết quả là rất khó sản xuất một hệ thống truyền dẫn ổn định. Vì vậy, trong nhiều ứng dụng, việc sử dụng phương pháp điều chế mật độ có khả năng sẽ được tiếp tục.

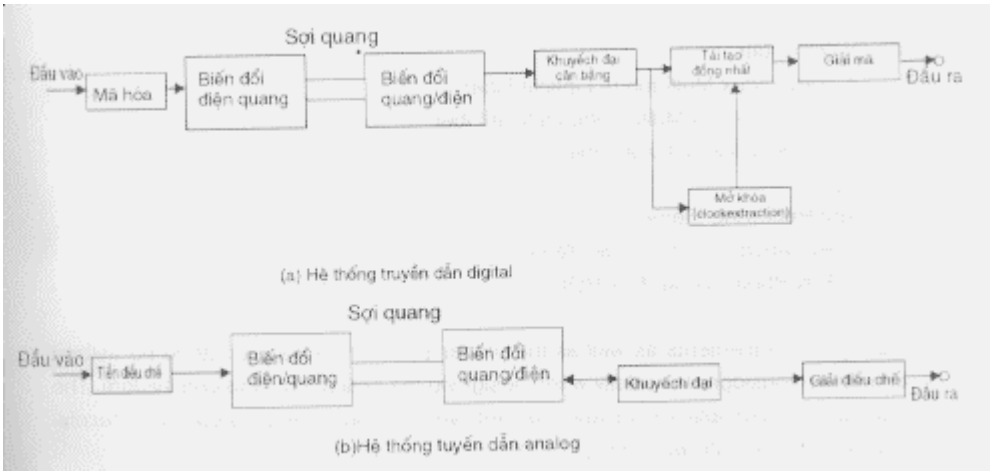
Đối với trường hợp đều chế quang theo mật độ (IM) có rất nhiều phương pháp để biến đổi tín hiệu quang thông qua việc điều chế và ghép kênh các tín hiệu cần phát. Một trong những ví dụ điển hình được trình bày trong hình 1.19



Hình 1.19. Quá trình ghép kênh điện

Phương pháp phân chia theo thời gian (TDM) được sử dụng một cách rộng rãi khi ghép kênh các tín hiệu như số liệu, âm thanh điều chế xung mã PCM (64kb/s) và số liệu video digital. Tuy nhiên, trong truyền dẫn cự ly ngắn, của các tín hiệu video băng rộng rãi cũng có thể sử dụng phương pháp truyền dẫn analog. Phương pháp điều chế mật độ số DIM - phương pháp truyền các kênh tín hiệu video bằng IM - và phương pháp thực hiện điều chế tần số (FM) và điều chế tần số xung (PFM) sớm để tăng cự ly truyền dẫn có thể được sử dụng cho mục tiêu này.

Ngoài TDM và FDM, phương pháp phân chia theo bước sóng (WDM) - phương pháp điều chế một số sóng mang quang có các bước sóng khác nhau thành các tín hiệu điện khác nhau và sau đó có thể truyền chúng qua một sợi cáp quang - cũng đang được sử dụng. Hơn nữa, khi truyền nhiều kênh thông qua cáp quang, một số lượng lớn các dữ liệu có thể được gửi đi nhờ gia tăng số lõi cáp sau khi đã ghép các kênh trên. Phương pháp này được gọi là ghép kênh SDM. Hệ thống truyền dẫn quang có thể được thiết lập bằng cách sử dụng hỗn hợp TDM/FDM, WDM và SDM. Chúng ta có thể thấy rằng hệ thống truyền dẫn quang cũng tương tự như phương pháp truyền dẫn cáp đôi và cáp đồng trục truyền thống, chỉ có khác là nó biến đổi các tín hiệu điện thành tín hiệu quang và ngược lại tại đầu thu. Hình 1.20 trình bày cấu hình của hệ thống truyền dẫn cáp quang.



Hình 1.20. Cấu hình của hệ thống truyền dẫn cáp quang

Phương pháp truyền dẫn analog có thể được tiến hành chỉ với một bộ khuyếch đại tạo điều kiện để phía thu nhận được mức ra theo yêu cầu bằng cách biến đổi các tín hiệu điện thành các tín hiệu quang và ngược lại. Khi sử dụng phương pháp điều chế PCM thì mọi chức năng giải điều chế tương ứng với nó cần được gán cho phía thu. Cho tới đây, chúng ta đã mô tả các chức năng cơ bản của hệ thống truyền dẫn quang. Ngoài những phần đã trình bày ở trên hệ thống hoạt động thực tế còn có thêm một mạch ổn định đầu ra của các tín hiệu quang cần phát, một mạch AGC để duy trì tính đồng nhất của đầu ra tín hiệu điện ở phía thu và một mạch để giám sát mỗi phía.

2. Những thành phần cơ bản của hệ thống truyền dẫn quang.

Hệ thống truyền dẫn quang bao gồm các phần tử phát xạ ánh sáng (nguồn sáng), các sợi quang (môi trường truyền dẫn) và các phần tử thu để nhận ánh sáng truyền qua sợi quang.

Các phần tử sau đây được chọn để sử dụng:

1. Phần tử phát xạ ánh sáng
a. Điôt Laser (LD)
b. Điôt phát quang (LED)
c. Laser bán dẫn

2. Sợi quang
a. Sợi quang đa mode chỉ số bước
b. Sợi quang đa mode chỉ số lớp
c. Sợi quang đơn mode

3. Phần tử thu ánh sáng
a. Điôt quang kiểu thác (APD)
b. Điôt quang PIN (PIN - PD)

1.4. PHƯƠNG PHÁP TRUYỀN DẪN ĐỒNG BỘ E

1.4.1. Cơ sở của tiêu chuẩn hoá

Trước khi phương pháp truyền dẫn đồng bộ có được dạng thức cao cấp của các đặc trưng đơn nhất, Metrobus và SONET đã có những đóng góp to lớn. Metrobus là hệ thống thông tin quang đồng bộ nội tại mà bell Communications Research của AT & T ở Hợp chúng quốc Hoa Kỳ nghiên cứu và phát triển. Còn SONET là tiêu chuẩn kết nối của hệ thống thông tin quang mà sau đó Bell communications reseach (Bellcore) đề xuất và rồi được uỷ ban T1 chấp nhận sử dụng và phát triển cho tiêu chuẩn Bắc Mỹ. Metrobus đã chống lại quan điểm của thông tin quang cổ điển, đã sử dụng sự ghép tầng đầu tiên, đã chấp nhận sử dụng khái niệm container (công tenơ), đã sử dụng Overhead (mào đầu) một cách hiệu quả và đã thiết lập khái niệm hệ thống thông tin quang đồng bộ nội tại, hệ thống này coi tín hiệu cấp 150 Mbit/s làm cấp tiêu chuẩn. Do vậy, trên cơ sở cấp 50 Mbit/s, SONET bổ sung quan niệm về cấu trúc phân cấp và phương pháp đồng bộ nhờ con trỏ để hệ thống hoá đoạn mào đầu và sau đó mở ra chân trời mới cho thông tin toàn cầu. Dựa trên những cái đó, chính phân cấp của đồng bộ (SDH) hiện nay đã lấy tín hiệu cấp 150 Mbit/s làm tiêu chuẩn, kể cả phân cấp số kiểu Châu Âu, và được phổ cập hoá để mở ra khả năng thông tin toàn cầu.

1. Metrobus

Metrobus là một hệ thống thông tin quang do J.D.Spalink, một nhà nghiên cứu tại Bellcore của AT & T, đề xuất năm 1982. Nó đã được triển khai theo quy mô đầy đủ vào đầu năm 1984, được công bố vào tháng chín năm 1985 và được thử nghiệm để thương mại hoá vào đầu năm 1987. Chính sách cơ bản của Metrobus là phát triển hệ thống thông tin quang tối ưu nhất, có cân nhắc đến khía cạnh tốc độ cao, dung lượng lớn, vốn là đặc trưng của một hệ thống thông tin quang, phương hướng tiến triển của mạng thông tin, quá trình phát triển của công nghệ cốt yếu và xu hướng đổi mới dịch vụ. Tên gọi của Metrobus có nguồn gốc từ mục tiêu ứng dụng của nó nhằm vào vùng thành phố lớn (metropolitan). Trong quá trình R&D cho ứng dụng đó đã nổi lên một số khái niệm. Điển hình là khái niệm về mạng thông tin quang điểm - đa điểm, khái niệm về hệ thống đồng bộ nội tại, tầm nhìn của DS-O, khái niệm ghép kênh tầng đầu tiên, điều chỉnh đồng thời những tín hiệu nhiều cấp bằng việc điều khiển số hiệu công tenơ, thiết lập tín hiệu tiêu chuẩn nội tại 150Mbit/s và sử dụng đủ mào đầu.

Do tất cả các hệ thống thông tin quang trước đây đều đã được đề xuất trong bối cảnh của các hệ thống điểm - nối điểm, cho nên khái niệm của thông tin quang đã được xem như một khái niệm có tính chất cách mạng.

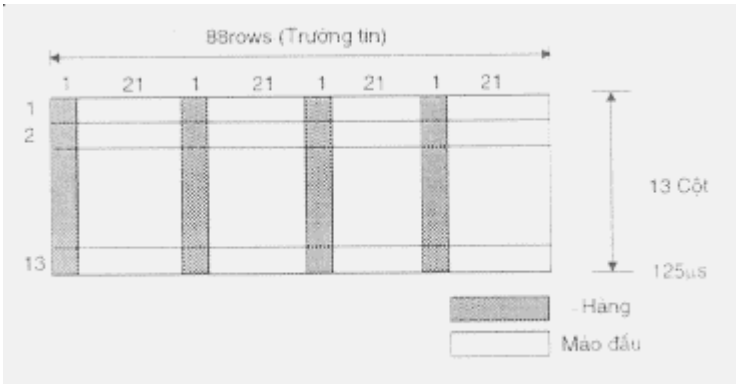
Những khái niệm khác đã đóng vai trò không thể thiếu được để thể hiện khái niệm này. Với việc cân nhắc đến dải thông vô hạn mà thông tin quang cung cấp, ta thấy nó đủ bảo đảm khoảng trống cho mào đầu, và bằng việc sử dụng nó cũng như bằng việc hình thành kênh truyền thông mào đầu, cho phép ứng dụng liên kết của toàn bộ các tuyến thông tin quang. Tuy nhiên, do tỷ lệ của mào đầu đã vượt quá 4,5% của toàn bộ, cho nên khái niệm này khó có thể được chấp nhận trong bối cảnh đó.

Việc lựa chọn 150 Mbit/s (cụ thể là 146,432, Mbit/s) làm tín hiệu nội bộ của mạng đã thực sự là một quan điểm tiên phong. Sở dĩ như vậy là vì những điều sau đây được dự kiến : khi được xem xét theo khía cạnh phân lớp tín hiệu digital, tốc độ bít mà tất cả các tín hiệu có thể bao gồm là 150 Mbit/s; theo khía cạnh dịch vụ, tín hiệu thoại, số liệu và video (kể cả tín hiệu HDTV có nén) hiện tại đều có thể được sử dụng trong cấp 150Mbit/s này; về khía cạnh công nghệ bán dẫn cơ bản, công nghệ CMOS có thể được sử dụng trong phạm vi 150 Mbit/s chẳng khó khăn gì. Ngoài ra, về khía cạnh thuê bao thì còn có một số lợi thế: với cấp phân tử 150 Mbit/s, các ánh sáng có thể được sử dụng nhờ sự kết hợp với điốt LED và PIN rẻ tiền, và cáp sợi quang có thể tạo điều kiện cho sự kết hợp hiệu quả này nhờ việc sử dụng sợi quang đa mode có chỉ số tăng dần thay cho đơn mode.

Khái niệm ghép kênh tầng đầu tiên cũng là một khái niệm mang tính cách mạng. Nó cho phép ghép kênh trực tiếp tín hiệu DS -1 thành tín hiệu tiêu chuẩn150 Mbit/s mà không cần chuyển qua tín hiệu DS-2 hoặc DS-3 điều không thể có trong hệ thống ghép kênh không đồng bộ trước đây. Nó trở thành nền tảng để thực hiện kết nối tách/nhập và nối kết chéo là những nối kết thường thấy trong mạng thông tin quang.

Được giới thiệu như một phương tiện thực hiện ghép kênh tầng thứ nhất, khái niệm này giúp cho việc ghép kênh tín hiệu phân cấp bằng việc điều khiển số hiệu của các công tenơ. Nghĩa là, bằng việc xác định các ô có kích thước cố định, làm cho các tín hiệu DS -1. DS -1C, DS-2, DS-3 v.v...lấp đầy vào các ô tương ứng của các khối 1, các khối 2, các khối 4, các khối 28 trong cùng một đơn vị thời gian. Như vậy, kết nối tách nhập và kết nối chéo rất tiện lợi, bởi vì tất cả các tín hiệu đều được xử lý với đơn vị của số hiệu ô.

Tín hiệu tiêu chuẩn nội bộ bao gồm 13Wx88 (1W=16 bít) như trong hình 1.37. Tốc độ bit là 146,432 Mbit/s (13x88x16x8 kbit/s). 88 đơn vị của từ mã (thuộc về 88 ô) xuất hiện trong 125m s/13, trong dó 4 đơn vị được sử dụng cho mào đầu và mỗi tín hiệu DS-n chiếm số hiệu tương ứng của ô.



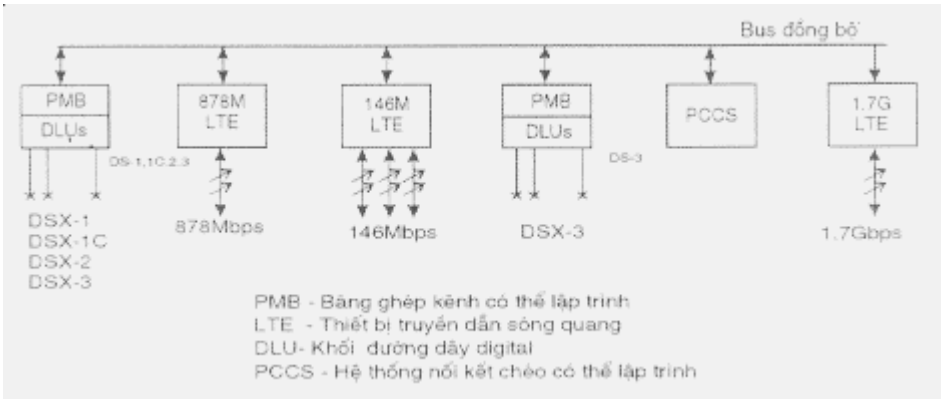
Hình 1.37. Cấu trúc khung của Metrobus

Việc giới thiệu khái niệm đồng bộ nội tại cũng đã là một tiền đề cho mạng thông tin đồng bộ. Có nghĩa là, do phạm vi mục tiêu đã chỉ được giới hạn cho khu vực thành phố, dựa trên tiêu chuẩn nội bộ của mạng, biện pháp đối phó trong trường hợp vượt quá giới hạn cận đồng bộ đã không được chuẩn bị chút nào. Trong trường hợp này tín hiệu định thời sẽ sử dụng tần số chuẩn đồng bộ hoá cơ bản BSRF và cũng có thể sử dụng tín hiệu định thời được đón nhận từ bộ dao động nội và từ tín hiệu thu được.

Độ nhìn rõ của tín hiệu DS-O đã được tạo ra với đơn vị 125 m s. Khi việc chuyển từ mỗi tín hiệu phân cấp sang công tenơ cũng được thực hiện với đơn vị 125 m s, thì các tín hiệu DS-O nhận được qua lấy mẫu 8 kbit/s có thể xuất hiện một cách trong suốt ngay tại tín hiệu phân cấp mức cao.

Theo cách như vậy, việc phân tách kênh DS-O 64 kbit/s khỏi tín hiệu tiêu chuẩn nội bộ 150 Mbit/s có thể được thực hiện một cách dễ dàng.

Hình 1.38 biểu diễn cấu trúc của hệ thống Metrobus. Phần được trình bày như bus nội bộ trong hình vẽ tương ứng với tín hiệu tiêu chuẩn nội bộ 146,432 Mbit/s. Tín hiệu được tạo ra từ DS-1 đến DS-3 qua PMB (băng ghép kênh có thể lập trình). Thông tin quang 146 Mbit/s có thể phối hợp trực tiếp với tín hiệu này, và đi qua thiết bị truyền dẫn sóng quang LTE-Lightwave Transmission Equipment). có thể tạo nên thông tin quang 876 Mbit/s hoặc 1,7 Gbit/s bằng việc đưa 6 hoặc 12 đơn vị của tín hiệu này vào WIM (ghép kênh xen từ mã - Word Interleaved Multiplexing), rồi sau đó đưa qua LTE. Những quá trình này được mô tả trong hình vẽ. Ngoài ra, hệ thống PCCS (hệ thống kết nối chéo có thể lập trình) thực hiện chức năng nối kết chéo qua các công tenơ do tiêu chuẩn của tốc độ bit DS-1 tạo ra bằng cách đưa vào tín hiệu 146 Mbit/s.



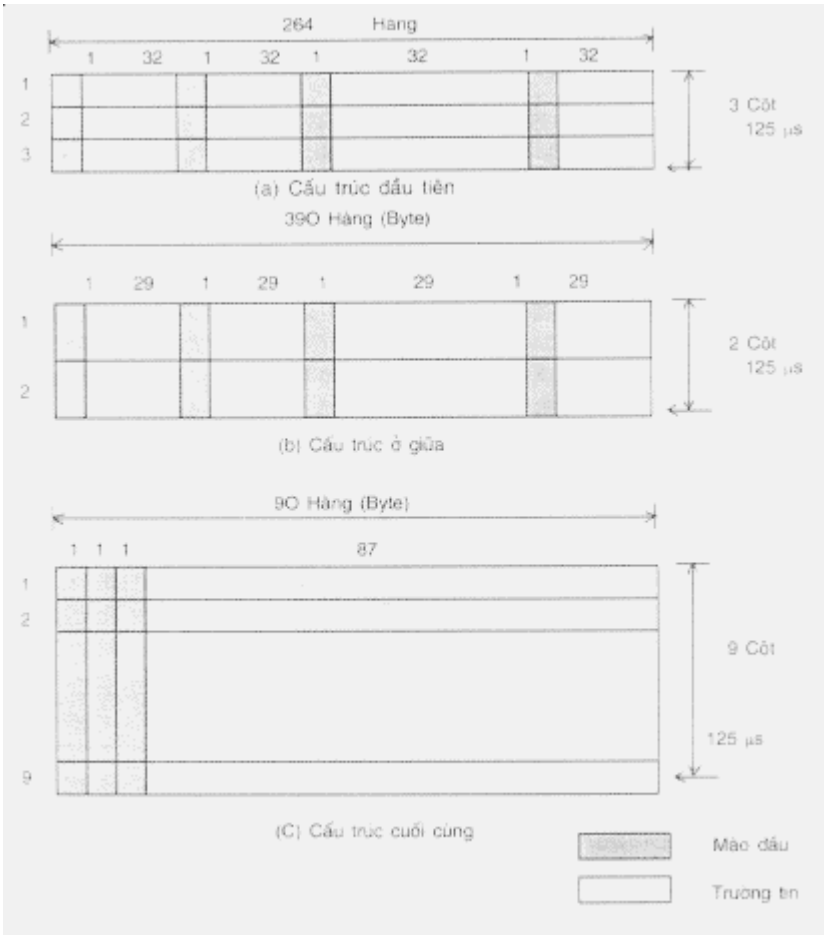
Hình 1.38. Cấu trúc của hệ thống Metrobus

2. SONET

Sonet là một từ viết tắt của Synchronous Optical Network (mạng quang đồng bộ). Nó đã được R.J.Boehm và Y.J.Ching ở viện nghiên cứu truyền thông Bell đệ trình lên uỷ ban T1- tổ chức tiêu chuẩn truyền thông của Bắc Mỹ - vào cuối năm 1984 như một đề án tiêu chuẩn về đấu nối hệ thống thông tin quang. Vào thời gian đó, khung được đề xuất có dạng 3x8x33B như trong hình 1.39, và tốc độ bit là 50,688 Mbit/s (=3x8x33x8 kbit/s). Tín hiệu này được gọi là STS-1 (Synchronous Transport Signal - 1 - Tín hiệu chuyển giao đồng bộ - 1) và DS - 3 hoặc SYNTRAN DS-3, mà nó đã được chấp nhận như tín hiệu phân cấp cơ bản và được ấn định đưa vào quá trình ghép kênh xen byte qua STS-1.

Tầng đầu tiên của SONET đã được đề nghị cho mục đích "gặp gỡ giữa chặng" và quan điểm nghi ngờ về tính khả thi của nó đã chiếm ưu thế. Kết quả là việc tiêu chuẩn hoá nó hầu như không được tiến hành trong khoảng một năm, sau khi khái niệm SONET đã được giới thiệu. Tuy nhiên, việc tiêu chuẩn hoá đã bỗng nhiên được đưa ra cùng với thông báo của Metrobus vào tháng chín năm 1985, và khái niệm về hệ thống phân cấp và kỹ thuật đồng bộ hoá bằng con trỏ đã được các thành viên của uỷ ban T1 đề xuất thêm. Những người đề xuất SONET đã phát triển và hệ thống hoá cấu trúc khung của tầng đầu tiên và đưa ra công thức (28+L) (24+M) (8+N). Điều này dự tính tôn mào đầu của mức DS-3 lên kích thước DS-1 của L đơn vị; mào đầu của mức DS-1 lên kích thước DS-O của M đơn vị và mào đầu của mức DS-O lên Nbit. Tầng giữa của khung SONET có cấu trúc 26Bx30 và 49,92 Mbit/s (30x26x8x8 kbit/s) được điều chỉnh với L=2, M=2 N=0 dựa trên công thức miêu tả trong hình 1.39. Vào khoảng thời gian đó viện nghiên cứu truyền thông Bell của AT&T đề nghị rằng tín hiệu tiêu chuẩn nội bộ của Metrobus (có cấu trúc 26x88W và 146,432 Mbit/s) cần được chấp nhận là tín hiệu tiêu chuẩn. Tín hiệu này được biểu thị bằng công thức của Viện Nghiên cứu truyền thông Bell sẽ là: J+K (28+L) (24+M), (8+N), J=1, K=3; L=1, M=2; N=0; và L, M và N trong số đó có cùng một ý nghĩa như được xác định trước,

K có nghĩa là số hiệu của tín hiệu mức DS-3, còn J là kích thước của DS-1 đại diện cho mào đầu gắn vào toàn bộ chúng.



Hình 1.39. Cấu trúc khung của SONET

Mặc dù uỷ ban T1 đã xem xét kỹ những cuộc thảo luận liên quan đến hai dự án này, nó vẫn không thể phán quyết được tính ưu việt theo kết quả đối chiếu và kiểm nghiệm. Điểm bàn cãi sôi nổi nhất là trong đánh giá giữa 150Mbit/s và 50 Mbit/s thì tốc độ bit nào ưu việt hơn.

Tuy nhiên, do sự cạnh tranh vì phân chia thị trường viễn thông và vai trò giữa các công ty, đầu năm 1986, uỷ ban T1 đã đi tới một quyết định là tín hiệu tiêu chuẩn STS -1 sẽ là 49,92 Mbit/s. Trong khi ITU - T cũng đang hoạt động nhằm tiêu chuẩn hoá băng kênh rộng vào cùng thời gian đó thì uỷ ban T1 quyết định đề nghị lấy 149,976 Mbit/s làm dự án của Bắc Mỹ, nó gấp ba lần 49,92 Mbit/s; có nghĩa là uỷ ban T1, người đã quyết định chọn cấp 50 Mbit/s, đã thừa nhận về mặt kỹ thuật tính thích hợp của 150 Mbit/s. Sau đó, những hoạt động tiêu chuẩn hoá SONRT được tiến hành một cách suôn sẻ, chủ yếu nhờ uỷ ban ngang cấp T1X1, và đã đi đến một

thoả thuận về một tiêu chuẩn thậm chí khá chi tiết. Mặc dù nó đã tiến hành hoạt động phối hợp ngay tức khắc mang tính chất bề mgoài, với ITU-T về vấn đề tiêu chuẩn kết nối NNI của B-ISDN, song đã có rất nhiều mặt hạn chế trong việc điều tiết với các tín hiệu digital kiểu Châu Âu, bởi vì 13Bx60 và 49,92 Mbit/s (hoặc 146,976 Mbit/s) chỉ chủ yếu phù hợp với các tín hiệu digital của Bắc Mỹ.

Do vậy, cấu trúc 9Bx270 và tốc độ 155,520 Mbit/s, cái được tăng lên ba lần cấu trúc khung và tốc độ bít của SONET chính là phân cấp đồng bộ số mà nó đã được quy định như khuyến nghị G.707-G.709 của ITU-T.

3. Phân cấp số đồng bộ

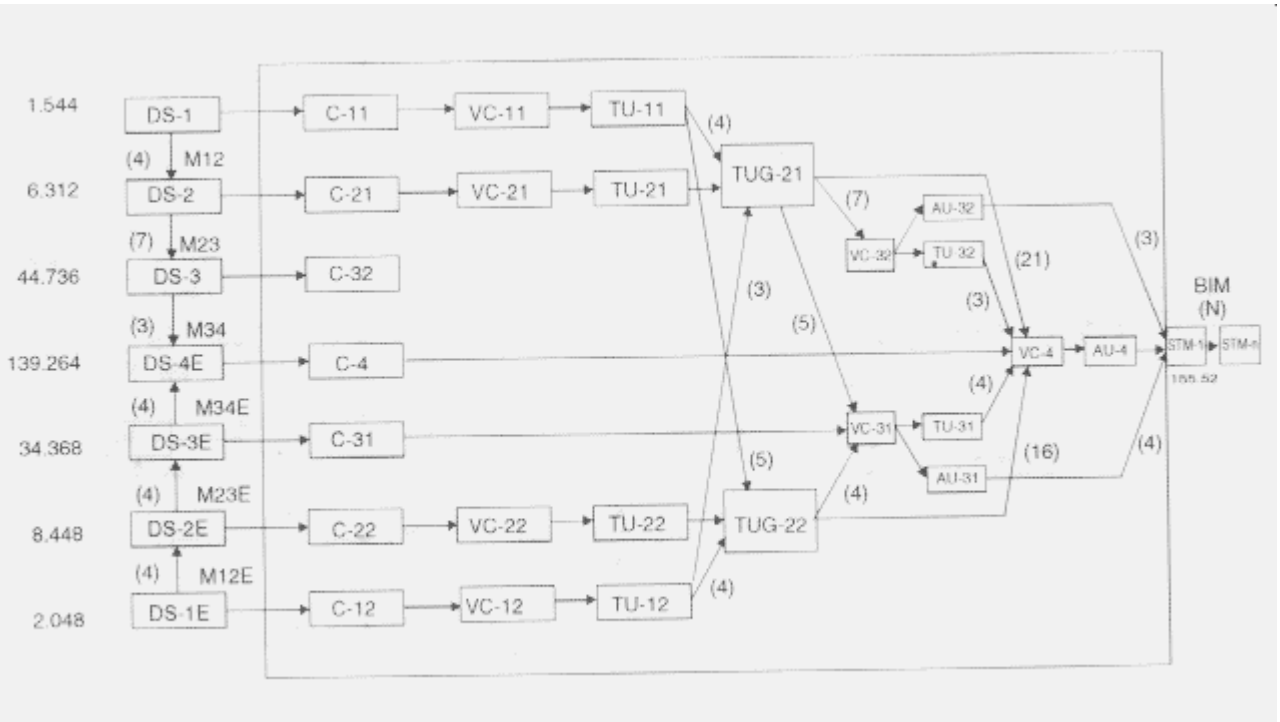
ITU-T đã thiết lập các kênh H1, H2, H3, H4 như đối với kênh tốc độ cao của khách hàng trong quá trình tiêu chuẩn hoá ISDN vào đầu năm 1980. Trong số đó, kênh H1, đã được tiêu chuẩn hoá bằng việc phân chia nhỏ thành kênh H11 của 1,536 Mbit/s dựa trên cơ sở tín hiệu DS-1 kiểu Bắc Mỹ, và kênh H12 của 1,920 Mbit/s dựa trên cơ sở tín hiệu DS-1 kiểu châu Âu. Mới đang chỉ có những nét đại cương mang tính chất khái niệm tương ứng với phân cấp số hiện có liên quan đến các kênh H2, H3, H4, nó đã bắt đầu đề cập đến tiêu chuẩn của một kênh băng rộng dựa trên các kênh đó. Đầu tiên nó nghiên cứu các tốc độ bit 30-40, 45, 60-70 Mbit/s, sau đó đề án 149,976 Mbit/s đã được đưa ra, dựa trên tiêu chuẩn SONET của uỷ ban T1.

Trong khi đó, ITU-T bắt đầu hoạt động để tiêu chuẩn hoá phân cấp đồng bộ số cho NNI (giao diện nút mạng) vào tháng bảy năm 1986, khác biệt với UNI (giao diện khách hàng - mạng) của ISDN. Điều này đã bắt đầu một giai đoạn tiêu chuẩn hoá đích thực hướng tới phân cấp số đồng bộ và ITU-T cùng uỷ ban T1 đã duy trì mối quan hệ hợp tác chặt chẽ cho mục đích đó, Hoa kỳ đã chính thức đưa ra cấp 50 Mbit/s dựa trên tín hiệu STS-1 đang được sử dụng của SONET tại hội nghị ở Brazin vào tháng Hai năm 1987 còn CEPT tìm cách chứng minh sự cần thiét của cấp tốc độ 150Mbit/s vì nó có thể thích hợp với cả hai hệ phân cấp số kiểu Bắc Mỹ và kiểu Châu Âu.

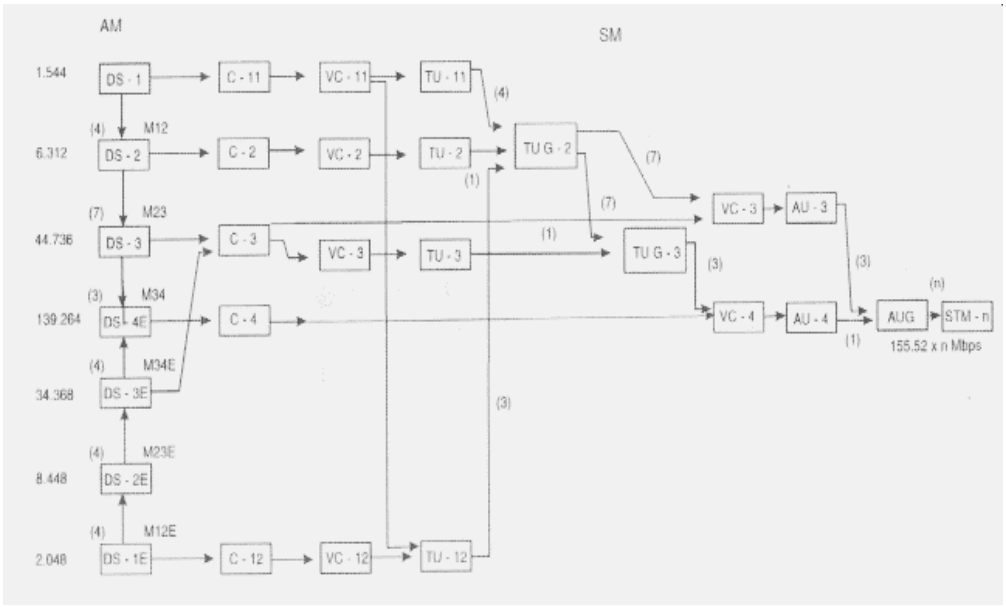
Kết quả là, đề án của Mỹ đã được thay đổi thành 149,976 Mbit/s của cấu trúc 13Bx180, dựa trên tín hiệu STS-3, tại Hội nghị ở Hamburg vào tháng 7 cùng năm đó, còn CEPT đề xuất tín hiệu 155,520 Mbit/s của 9Bx270 đối lập với của Mỹ. Người ta đã tranh cãi suốt một thời gian dài về hai cấu trúc này và điểm tranh cãi sôi nổi nhất là sự chung hoà giữa tín hiệu DS-2 của 8,448 Mbit/s và DS-3E của 34,368 Mbit/s thoả thuận cuối cùng qua hội nghị ở Seoul vào tháng Hai năm 1988 là cấu trúc 9Bx270. Tiêu chuẩn NNI được thoả thuận là tiêu chuẩn trong các khuyến nghị G-707 - G.709 của ITU-T và phân cấp số đồng bộ, tập trung trên tín hiệu STM-1

của cấu trúc khung 9Bx270 và tốc độ bít 155,520Mbit/s, đã được chính thức hoá.

Ngay cả sau khi khuyến nghị của ITU-T đã được ổn định thì các hoạt động nghiên cứu và đổi mới về phân cấp số đồng bộ vẫn được tiếp tục. Vào thời điểm khi tiêu chuẩn phân cấp số đồng bộ lần đầu tiên được quy định, hệ thống ghép kênh đồng bộ đã có một cấu trúc hoàn chỉnh như hình 1.40. Tuy nhiên, khi những khuyến nghị G.781 - 784 và G.957 - 958 (đều dựa trên cơ sở phân cấp số đồng bộ) đã được tiêu chuẩn hoá để hoàn chỉnh trong quá trình nghiên cứu hai năm sau đó, thì hệ thống ghép kênh đồng bộ đã được đơn giản hoá như cấu trúc trong hình 1.41. Có thể thấy được rằng các đường ghép kênh phân cấp kiểu châu Âu tương đồng một cách đáng kể với các đường ghép kênh phân cấp kiểu Mỹ, và rằng đã bổ sung các khái niệm mới, chẳng hạn như AUG, TUG-3. Hiểu theo đúng nghĩa của nó thì phạm vi mà Metrobus đóng góp cho việc tiêu chuẩn hoá SONET và SONET đóng góp cho việc tiêu chuẩn hoá phân cấp số đồng bộ là cực kỳ to lớn. Rất nhiều đặc trưng của phân cấp đồng bộ có nguồn gốc từ tiêu chuẩn của hệ thống Metrobus, chẳng hạn như quan điểm về mạng thông tin quang, khái niệm về hệ thống đồng bộ (một cách nội tại), độ rõ của DS-O qua khung 125m s, khái niệm về ghép kênh tầng thứ nhất, phối hợp tín hiệu tốc độ ghép kênh bằng việc điều khiển số hiệu của công tenơ, thiết lập tín hiệu cấp 150 Mbit/s tiêu chuẩn, và nâng cao độ linh hoạt và độ tin cậy của hệ thống nhờ sử dụng mào đầu một cách hiệu quả. Cũng như vậy, cấu trúc hệ thống phân cấp, hệ thống hoá cấu trúc mào đầu, đồng bộ hoá bằng con trỏ, và khả năng cấu trúc mạng thông tin liên tục địa, đều xuất phát từ tiêu chuẩn kết nối của SONET. Dựa trên những cơ sở đó, tiêu chuẩn phân cấp số đồng bộ là tiêu chuẩn cho phép cấu trúc nên mạng thông tin toàn cầu qua việc điều chỉnh kết hợp hai kiểu phân cấp số của Bắc Mỹ và của Châu Âu.



Hình 1.40 Cấu trúc ghép kênh đồng bộ số giai đoạn đầu tiên



Hình 1.41. Cấu trúc ghép kênh đồng bộ

Mặt khác, phân cấp số đồng bộ vốn được khởi đầu vì mục đích tiêu chuẩn hoá NNI của B-ISDN, đã có ảnh hưởng rất lớn đến tiêu chuẩn UNI của B-ISDN. Trước hết, ảnh hưởng trực tiếp của NNI của B-ISDN là đã quy

định 155,520 Mbit/s cho tốc độ bít tiêu chuẩn của NNI của B-ISDN và trong số quy định tốc độ bít trường tin thấp hơn 149,760 Mbít/s. Ngoài ra, ảnh hưởng có tính chất cơ bản khác nữa là nó có các tế bào ATM được ánh xạ trong đường bao của trường tin VC-4 để phát đi cơ sở phân cấp số đồng bộ của UNI của B-ISDN. Nói một cách chính xác, phân cấp số đồng bộ đã đóng một vai trò chủ chốt trong việc hình thành khái niệm B-ISDN cũng như đi tới một phương pháp truyền dẫn đồng bộ mới.

1.4.2. SHD và SONET

Như trên đã giải thích về quá trình tiêu chuẩn hoá phương thức truyền dẫn đồng bộ, SDH và SONET, có một mối quan hệ hết sức mật thiết. Đó chính là: hoạt động tiêu chuẩn hoá SONET tạo điều kiện thuận tiện cho tiêu chuẩn SDH và nó cũng mở rộng SONET để SONET được sử dụng cho thông tin hoàn cầu. Do vậy cần phải hiểu rằng giải thích SDH là đã bao hàm cả việc giải thích SONET. Tuy nhiên vẫn có một số khác biệt nhỏ giữa SDH và SONET. Nếu những sự khác biệt tiêu biểu giữa chúng ta có thể đếm trên đầu ngón tay thí điểm bắt đầu cơ bản của SDH là cấp 150Mbít/s, trong khi SONET là cấp 50Mbít/s. Có nghĩa là, trong khi SDH kết hợp DS-4E với tín hiệu mức thấp thành tín hiệu cấp cao nhất thì SONET có DS-3 như tín hiệu cấp cao nhất. Do có một khái niệm về giao diện, cho nên, đương nhiên, đây chẳng phải là một sự khác biệt đáng kể. Có nghĩa là nếu ba lần của tín hiệu STS-1 (Tín hiệu chuyển giao đồng bộ cấp 1) là 51,840 Mbít/s tín hiệu truyền dẫn cơ bản của SONET - được phối ghép để tạo thành STS-3C thì nó cũng có thể bằng với tín hiệu STM-1-155,520 Mbít/s của SDH, SDH và SONET có sự khác biệt nào đó về các loại tốc độ truyền dẫn. STM (155,520 Mbít/s, là một khối cơ bản, STM - 4 (622,080 Mbít/s), gấp bốn lần của STM-1 và STM-16 (2.488,320 Mbít/s), gấp bốn lần của STM-4, là những đối tượng quan tâm chính trong SDH. Trong khi đó, ở trường hợp SONET, STS-1 (51,840 Mbít/s) là tốc độ cơ bản, STS-3 (155,520 Mbít/s) STS-9, STS-12 (622,080 Mbít/s)STS-18, STS-24, STS-36, STS-36, STS-48 (2.488,320 Mbít/s) là các đối tượng quan tâm (tham khảo bảng 1.9); khi đó, nói chung, tín hiệu STM-n bằng với tín hiệu STS-3n trong tốc độ truyền dẫn :

Bảng 1.9 Tốc độ truyền dẫn của SDH và của SONET

SDH		**SONET**	
N	STM - N	N	STS - N
		1	51.840 Mbps
1	155.520 Mbps	3	155.520 Mbps

		9	466.560 Mbps
4	622.080 Mbps	12	622.080 Mbps
		18	933.120 Mbps
		24	1,244.160 Mbps
		36	1,866.240 Mbps
16	2,488.320 Mbps	48	2,488.320 Mbps

Về mặt cấu trúc khung, SONET giảm đi ba lần so với SDH. Nếu SDH là STM-1, nó có cấu trúc 9x270B và STS-1 của SONET có cấu trúc 9x90B, bằng một phần ba kích thước của SDH. Cũng như vậy, mào đầu đoạn của STM-1 trong dạng 9x9B được bố trí ở hàng đầu của khung STM - 1, mào đầu đoạn của STS-1 dưới dạng 9x3B được bố trí ở hàng đầu của khung STS-1. Sau đó, trong cả hai trường hợp, hàng thứ tư được dành riêng cho con trỏ (pointer). Cụ thể là, việc lựa chọn hàng thứ nhất, thứ tư và thứ bảy của mào đầu đoạn trong STS-1 tương ứng với mào đầu đoạn của STS-1 và việc sử dụng các thành phần này là như nhau trong cả hai trường hợp.

SDH và SONET có một số khác biệt trong khối tín hiệu cấu thành. Gốc gác của vấn đề như vậy là vì STM-1 là cấp 155Mbít/s và STS - 1 là cấp 50Mbít/s. Do đó, trong trường hợp STM - 1 cần phải ghép kênh một cách có hệ thống tất cả các tín hiệu phân cấp từ DS-1 đến DS-4E, trong khi đó, ở trường hợp STS-1 chỉ cần thiết ghép kênh có hiệu quả năm loại tín hiệu phân cấp là DS-1, DS-1E, DS-1C (3,152Mbít/s), DS-2 và DS-3. Do vậy, trong trường hợp STM-1, các khối tín hiệu ở giữa, chẳng hạn như C, VC, TU, TUG, AU, AUG v.v.... sẽ được thiết lập và thủ tục ghép kênh đồng bộ toàn bộ hệ thống như trong hình 1.41 là cần thiết. Ngược lại, trong trường hợp STS-1 chỉ có một khối tín hiệu trung gian, gọi là một nhánh ảo (VT-virtual tributary) là sẽ được thiết lập. VT nayf tương ứng với VC của SDH. Các VT tương đương với VC-11, VC-12 VC-2 được gọi tương ứng là VT 1,5, VT2 và VT6, còn VT3 được bổ sung cho DS-1C.

Vì đơn vị tín hiệu trung gian liên quan có khác nhau, cho nên SDH và SONET cũng khác nhau về cấu trúc ghép kênh. Trong trường hợp SDH cấu trúc thống kê hệ thống như trong hình 1.41 là cần thiết , trong đó nó nối kết C, VC, TU, TUG, AU, AUG ATM-n với nhau, còn trong trường hợp SONET, chỉ cần đến một thủ tục ghép kênh đơn giản là đấu nối DS-m, VT và STS-1. Sau đó, phương pháp ánh xạ các tín hiệu phân cấp thành VT-1,5 VT 2 và VT 6 cũng giống như phương pháp ánh xạ mỗi tín hiệu phân cấp thành VC-11, VC-12 và VC-2, và phương pháp ánh xạ DS-1C thành VT3 sẽ sử dụng phép ánh xạ tuân theo căn chỉnh dương, không

và âm. Phương pháp dùng để ghép kênh các VT này thành đường bao trường tin STS-1, tức là SPE (Synchronous Payload Envelope - Đường bao trường tin đồng bộ) cũng giống như phương pháp ghép kênh VC liên quan thành VC-3 qua TUG-2. Trong trường hợp thứ hai, việc ánh xạ DS-3 thành SPE cũng giống như phương pháp ánh xạ DS-3 thanh VC-3, nhưng phép ánh xạ SYNTRAN DS-3 thì được cung cấp phụ thêm.

Về phương diện thuật ngữ, khi mối quan hệ tương ứng giữa SONET và STM được tóm lược, thì VT 1,5 VT2, VT6 lần lượt tương ứng với VC-11, VC-12, VC-2, STS-1SPE tương ứng với VC-3 và STS-3C với STM-1. Khi các thuật ngữ liên quan đến phân cấp cần đối sánh, phương tiện vật lý, đoạn tái tạo, đoạn ghép kênh và lớp đường truyền được đặt ra trong SDH sẽ được gọi là lớp quang, lớp đoạn, lớp đường dây và lớp đường truyền trong SONET. Các thuật ngữ xác định khác liên quan đến ánh xạ, ghép kênh, mào đầu và đồng bộ hoá thì hầu như giống nhau.

SONET cũng như SDH đều dựa trên khái niệm phân cấp, sử dụng khung 125 m s, dùng mào đầu hệ thống, và có tốc độ truyền dẫn cơ bản giống nhau. Nhưng nó được điều tiết nhờ sự liên kết tất cả các tín hiệu phân cấp số Bắc Mỹ kể cả tín hiệu DS-1E kiểu Châu Âu, và nó chứa đựng cả thủ tục ghép kênh tầng thứ nhất.

Ngoài ra, SONET sử dụng đồng bộ hoá liên quan tới phương pháp con trỏ, giống như của SDH, cho nên có thể kết nối toàn bộ nước Mỹ bằng mạng truyền dẫn đồng bộ.

1.4.3 Phân cấp số cận đồng bộ so với đồng bộ

Lớp (mức) số hiện có bao gồm các tín hiệu DS-1-DS-4 của hệ thông Châu Âu/ Bắc Mỹ, đã được bộ phận tiêu chuẩn hoá viễn thông của ITU và Bell System quy định. Trong số đó, các tín hiệu của hệ thống Bắc Mỹ đã được uỷ ban T1 của Bắc Mỹ thừa nhận trở lại như tiêu chuẩn Bác Mỹ, đồng thời, tiêu chuẩn đó cũng được biết đến như là tiêu chuẩn do Bell System thiết lập lại.

Để phân biệt lớp số này với phân cấp số đồng bộ được thực thi gần đây, nó được gọi là phân cấp số cận đồng bộ.

Phân cấp số cận đồng bộ, một hệ phân cấp số tiêu chuẩn đang được sử dụng, được phân loại thành hệ thống Châu Âu và hệ thống Bắc Mỹ như (a) và (b) trong Hình 1.42 Phân cấp số cận đồng bộ của Bắc Mỹ được hình thành từ DS-1 (1,544 Mbít/s), DS-1C (3,152 Mbít/s), DS-2 (6,312 Mbít/s) và DS-3 (44,736 Mbít/s), DS-4E (139,264 Mbít/s). Phân cấp số cận đồng bộ Châu Âu bao gồm DS-1E (2,048 Mbít/s), DS-2E (8,448

Mbít/s), DS03E (34,368 Mbít/s) và DS-4E (139,264 Mbít/s), DS-5E (564,992 Mbít/s).

Ghép kênh theo mỗi giai đoạn là ghép kênh cận đồng bộ và nó được đồng bộ hoá nhờ cân chỉnh dương - đó là một loại nhồi bít.

Phân cấp số đồng bộ, như được trình bày trong (c) của hình 1.42, được hình thành từ các tín hiệu STM-n. Đồng thời, n là một số nguyên lần, mà 1,4 và 16 là các số được quan tâm chủ yếu. Các tốc độ bít tương ứng với các số này là 155,520 Mbít/s, 622,080 Mbít/s và 2.488,320 Mbít/s. Một tín hiệu STM-n được hình thành thông qua ghép kênh đồng bộ từ các tín hiệu phân cấp DS-1, DS-2, DS-3 và DS-4E, DS3E, DS-2E, DS-1E. Đồng thời, các tín hiệu DS-1C hoặc DS-5E không được sử dụng. Tín hiệu STM-n được cấu thành từ n lần các tín hiệu STM-1 mà nó đã là sự ghép kênh xen byte (BIM).

Tuy nhiên, cấu trúc mào đầu của nó được tiến hành một cách hơi khác.

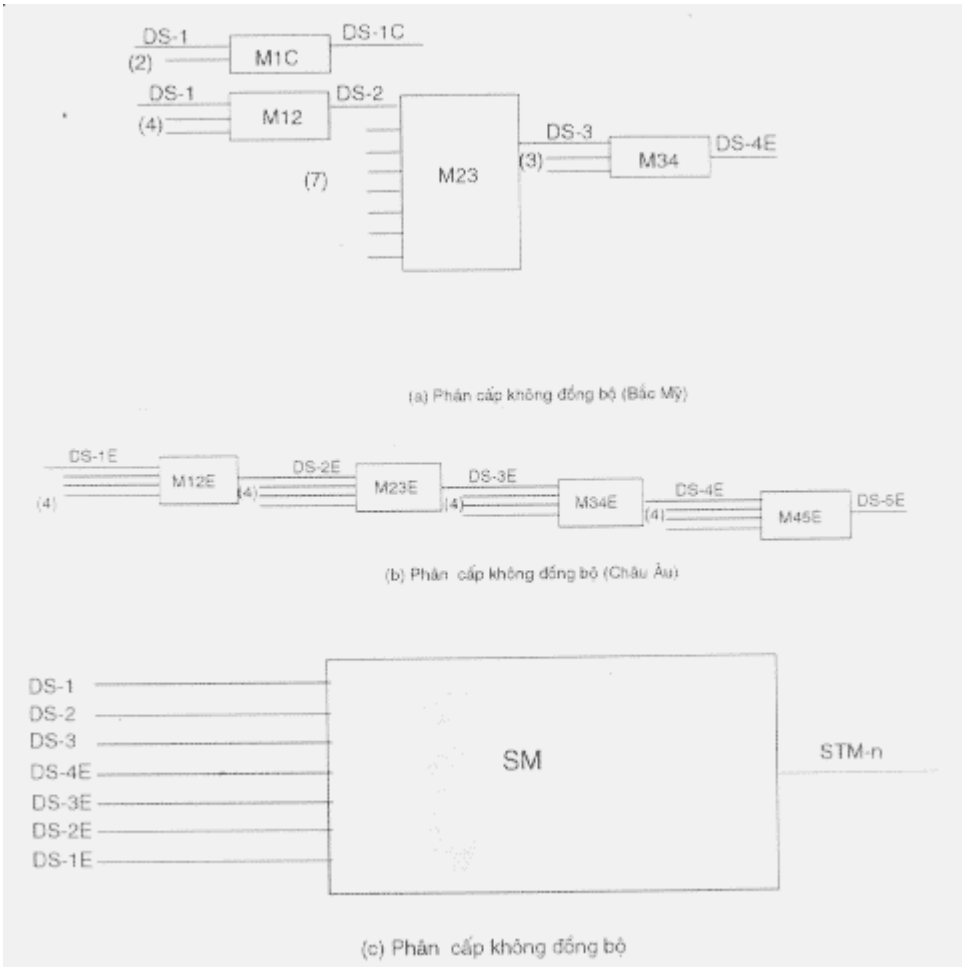
Khi so sánh (a), (b) trong Hình 1.42 với (c) trong cùng hình đó chúng ta có thể dễ dàng nhận thấy rằng phân cấp số đồng bộ có một cấu trúc đơn giản hơn nhiều so với cấu trúc của phân cấp số cận đồng bộ.

Có nghĩa là, tất cả các tín hiệu phân cấp của hệ thống Bắc Mỹ và Châu Âu chỉ có một giai đoạn ghép kênh. Trong một hệ thống phân cấp số câu đồng bộ việc ghép kênh không đồng bộ được thực hiện khi tín hiệu trong một cấp được ghép kênh thành cấp của giai đoạn kế sau. Trong một hệ thống phân cấp đồng bộ, việc ghép kênh đồng bộ được thực hiện khi tín hiệu phân cấp được ghép thành tín hiệu STM-n. Vả lại, trong phân cấp số cận đồng bộ tín hiệu DS-m thuộc về cấp của giai đoạn kế sau của tín hiệu DS-(m-1); nhưng tất cả các tín hiệu này có mối quan hệ ngang bằng trong phân cấp số đồng bộ.

(a) Phân cấp không đồng bộ (Bắc Mỹ)

(b) Phân cấp không đồng bộ (Châu Âu)

(c) Phân cấp không đông bộ



Hình 1.42. Phân cấp số

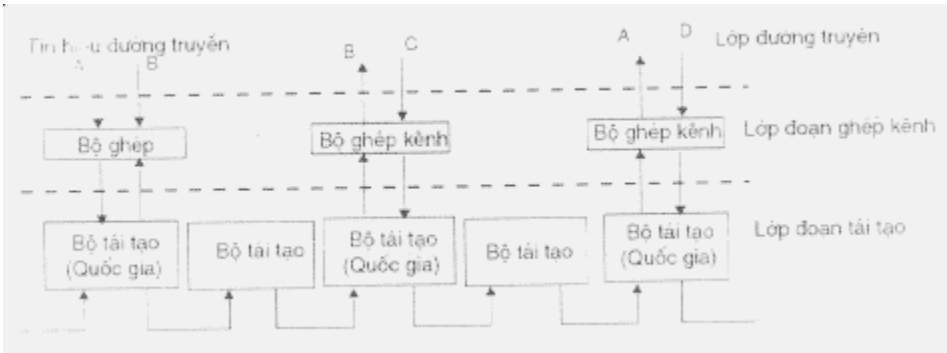
1.4.4. Khái niệm phân cấp và mào đầu

Nói chung, các tín hiệu số được gửi đi qua đường truyền, đoạn tái tạo, đoạn ghép kênh và môi trường vật lý như được minh hoạ trong hình 1.43. Khi áp dụng các khái niệm phân cấp cho quá trình truyền dẫn số thì đường truyền dẫn có thể được phân chia thành một lớp, đường truyền, một lớp đoạn ghép kênh, một lớp đoạn tái tạo và một lớp môi trường vật lý (hoặc lớp quang học).

Cấu trúc của ghép kênh đồng bộ có một sự sắp xếp theo không gian có hệ thống phù hợp với các khái niệm phân lớp. Trong Hình 1.44, khung STM-n được phân loại theo chức năng; mào đầu của đoạn ghép kênh được áp dụng trên lớp của đoạn tái tạo và trên lớp của đoạn ghép kênh. Hơn nữa, mào đầu đường truyền được áp dụng cho lớp đường truyền và các mào đầu cho bất kỳ các đường có mức thấp hơn nào khác thì hiện diện trong hình bao trường tin bên trong STM.

Các mào đầu được sử dụng trong ghép kênh đồng bộ được phân chia thành mào đầu đoạn (SOH-Section overhead) và mào đầu đường truyền (POH - Path Over-head), dựa trên những khái niệm phân cấp như mô tả ở

trên. Trong số chúng, SOH bao gồm một mào đầu đoạn đường trục và đầu đoạn ghép kênh.



Hình 1.43. Đường truyền dẫn (một đường) và khái niệm phân lớp của tín hiệu số

Mào đầu đoạn tái tạo	Mào đầu đường truyền của lớp có mức cao	Mào đầu đường truyền của lớp có mức thấp
Con trỏ		
Mào đầu đoạn tái tạo		

Hình 1.44. Cấu trúc khung và các khái niệm phân lớp của STM-n

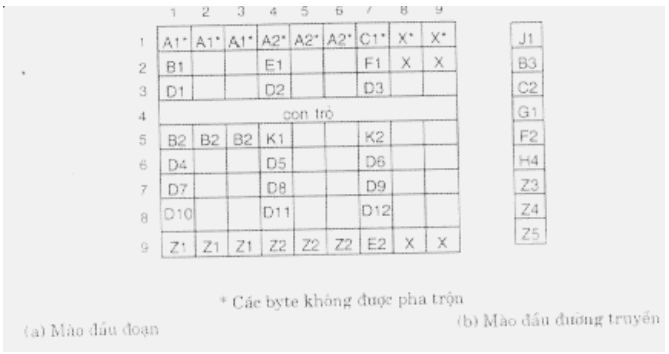
SOH được chèn vào trong giai đoạn cuối cùng khi tín hiệu STM-n được hình thành còn POH được chèn vào bất kỳ khi nào tín hiệu công tenơ ảo được tạo thành.

SOH được chèn vào và được tách ra trong đoạn tái tạo hoặc đoạn ghép kênh để chỉ thị hiệu năng truyền dẫn cũng như hoạt động và bảo dưỡng tín hiệu STM-n. Như được minh hoạ trong hình 1.44, các SOH nằm bên trên và bên dưới của con trỏ được sử dụng tương ứng cho đoạn tái tạo và đoạn ghép kênh. Có nghĩa là B1, SOH cho BIP-8 (Bit Interleaved Parity-8) được bố trí trên phần phía trên của PTR và nó được kiểm tra và tính toán lại trong mỗi bộ tái tạo.

Tuy nhiên, ba byte của B2-SOH cho BIP-24- được bố trí ở phần phía dưới của PTR và chúng chỉ được kiểm tra ở cuối đường dây. Như đã đề cập ở trên, POH được phân chia thành POH của lớp có mức cao cho VC-4 hoặc VC-3 và POH của lớp có mức thấp hơn dùng cho VC-11, VC-12 và VC-3. Trong bất kỳ trường hợp nào POH cũng được sử dụngcho truyền thông đầu cuối - tới - đầu cuối giữa những điểm, nơi các VC tương ứng được hình thành và giải toả.

Để giải thích cấu trúc của mào đầu đoạn và mào đầu đường hãy xem khung STM-1 trong hình 1.45, (a), (b). Việc sử dụng mỗi loại mào đầu trong hình này như sau: A1, A2 dùng cho bít sắp xếp khung; B1, B2; B3 dùng để kiểm tra ngang bằng chẵn lẻ, C1, C2 dùng cho số lượng tín hiệu và D1-D12 dùng cho kênh truyền số liệu, còn E1 và E2 dùng cho kênh nghiệp vụ; F1, F2 dùng cho kênh khách hàng; G1 là để kiểm tra trạng thái đường truyền, H4 dùng để chỉ thị đa khung; J1 dùng để ghi dấu tích đường truyền; K1, K2 dùng cho chuyển mạch bảo vệ tự động; Z1~ Z5 là các mào đầu dự phòng cho các mục đích khác.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9		J1
1	A1*	A1*	A1*	A2*	A2*	A2*	C1*	X*	X*		B3
2	B1			E1			F1	X	X		C2
3	D1			D2			D3				G1
4	con trỏ										F2
5	B2	B2	B2	K1			K2				H4
6	D4			D5			D6				Z3
7	D7			D8			D9				Z4
8	D10			D11			D12				Z5
9	Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E2	X	X		



Hình 1.45. Cấu trúc mào đầu

*** Các byte không được pha trộn**
(a) Mào đầu đoạn (b) Mào đầu đường truyền

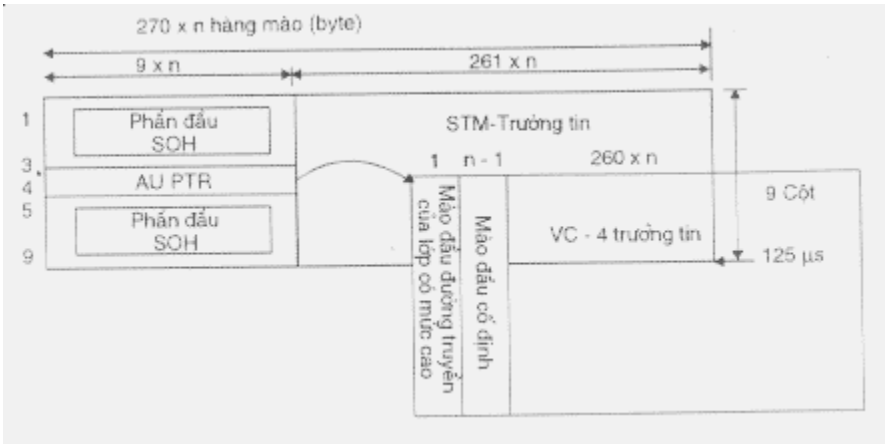
1.4.5. Cấu trúc của khung STM-n

Khung STM-n có một cấu hình như được trình bày trong hình 1.46, dựa trên cơ sở các khái niệm phân lớp định nghĩa trong phần trước. Do cấu trúc này chiếm một vùng 9Bxnx270 (B=Byte) trong vòng 125 m s, cho

nên nó có một tốc độ bít là n x 155,520 Mbít/s (=9 x n x 270 x 8 x 8 kbit/s). Trong đó, 9B x n x 9 được phân bố cho vùng mào đầu SOH và con trỏ AU (Khối quản lý) và phần còn lại của 9B x n x 261 được phân bố cho đường bao trường tin của STM-1.

Do vậy, STM-1, một tín hiệu cơ bản của phân cấp số đồng bộ, sẽ có kích thước là 9B x 270. Cũng như vậy, 9B x 9 trong số đó là cùng của mào đầu đoạn và con trỏ AU, và cũng chừng ấy 9B x 261 là đường bao trường tin, và tốc độ bít trở thành 155,520 Mbít/s.

Theo quan điểm cấu trúc khung STM-1, SOH được tạo thành từ hai khu vực 3 x 9B và 5 x 9B, con trỏ AUPTR bao gồm khu vực 1 x 9B và cấu hình của nó như được trình bày trong hình 1.45. Một VC-4 được ánh xạ trong vùng còn lại, hoặc ba tín hiệu VC-3 có thể được ánh xạ sang vùng đó cùng với mào đầu cố định (FOH-Fixed Overhead). Các tín hiệu VC-4 và VC-3 đều bao gồm hình bao trường tin và vùng POH có kích thước 9 x 1B được bố trí ở trước mỗi hình bao trường tin. Đồng thời, cấu hình bên trong của POH như trong (b) của hình 1.45. VC-4 hoặc VC-3 mà được gán con trỏ AUPTR thì được gọi là AU-4 hoặc AU-3.



Hình 1.46. Cấu trúc của khung STM-n

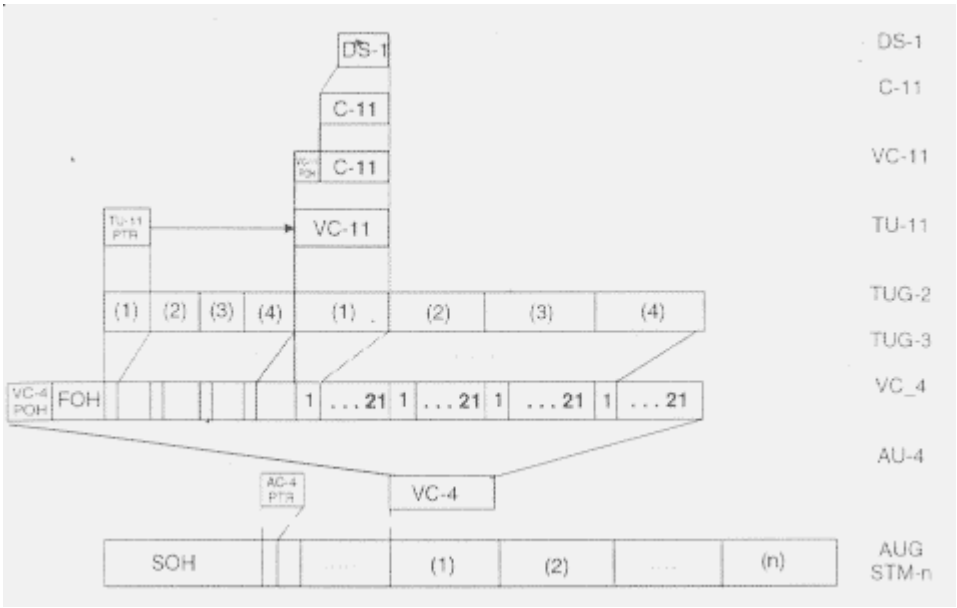
Do vậy, trong cấu trúc của khung STM-1, AU-4 là tổ hợp của vùng trường tin STM-1 và vùng con trỏ AU, và cấu trúc cuối cùng của STM-1 có thể đạt được khi các vùng SOH tương ứng được đặt lần lượt vào phần phía trên/ phía dưới của AU-4.

1.4.6 Cấu trúc ghép kênh đồng bộ

Như đã được mô tả, quá trình ghép kênh đồng bộ xử lý tất cả các tín hiệu phân cấp số một cách ngang bằng và nó sẽ thiết lập nên các tín hiệu STM-n. Trong hình 1.41, sơ đồ tổng thể của cấu trúc ghép kênh đồng bộ trên các tín hiệu phân cấp đã được đưa ra.

Trong hình này, các con số nằm trong ngoặc chỉ rõ số lượng tín hiệu cần thiết cho qúa trình ghép kênh tương ứng. Qua trình ghép kênh đồng bộ nằm trong hình chữ nhật in chấm (được chỉ thị bằng chữ SM), trong khi đó, hình chữ nhật phía bên trái được chỉ thị bằng chữ AM, biểu thị cho quá trình ghép kênh không đồng bộ mà trong đó các tín hiệu phân cấp được hìn thành.

Tại bước đầu tiên của quá trình ghép kênh đồng bộ, các tín hiệu của mỗi cấp được ánh xạ sang các công tenơ tương ứng. Đồng thời, phương pháp chèn dương/không/âm hoặc chỉ chèn dương trong khối bít được sử dụng để đồng bộ hoá. Một VC (Công tenơ) được hình thành nếu đưa thêm POH vào côngtenơ, và một TU (khối phân nhánh) được hình thành nếu gắn thêm PTR vào nó. Tuy nhiên, như trong trường hợp VC-4, VC-3, TU sẽ trở thành AU (Khối quản lý) nếu tín hiệu được ánh xạ thẳng sang STM-1 mà không qua các VC khác. Khi đó, số m (m=1, 2, 3, 4) gán cho mỗi khối tín hiệu sẽ chỉ thị rằng mỗi tốc độ bít của khối tín hiệu liên quan sẽ tương ứng với cấp DS-m. Khi m=1, nó được chia nhỏ thành 11 và 12 và chúng biểu thị tương ứng cho tốc độ bít của hệ thống Bắc Mỹ DS-1 và hệ thống Châu Âu DS-1E.



Hình 1.47. Qúa trình ghép kênh trên đường truyền

Tuy nhiên, trong trường hợp STM-n, tốc độ bít gấp n lần 155,520 Mbít/s

Trường hợp TU-1 (TU - 11 hoặc TU-12) nó được ghép kênh thành VC-3 và VC-4 thành kiểu TUG (nhóm của khối phân nhánh) sau khi được gộp lại thành bốn. TU-2 có thể được xem như tương đồng với TUG-2. Ngoài ra, TU-3 có thể được xem như bằng với TUG-3. VC-3 có thể được ghép kênh thành VC-4 sau khi đã được định tuyến với TU-3, hoặc nó có thể được ghép thẳng vào AU (khối quản lý - Administrative Unit) nhờ định

tuyến cho AU-3. Nhóm đơn vị quản lý AUG- Administrative Unit Group) có thể được xem như tương đồng với AU-4. Sẽ đạt được tín hiệu STM-n khi gán mào đầu đoạn (SOH) vào n nhóm AUG đã được ghép kênh.

Ghép kênh đồng bộ được đưa ra như một trong các thí dụ trong hình 1.47 là quá trình ghép kênh trên các đường truyền của DS-1\C-11\VC-11\TU-11\TUG-2\TUG-3\VC-4\TU-4\AUG\STM-n, được chỉ dẫn bằng các đường kẻ đậm trong Hình 1.41. Như được trình bày trong hình 1.47, tín hiệu DS-1 được ánh xạ trước hết thành C-11 và sau đó VC-11 POH được nạp vào đó để biến đổi nó thành VC-11. Đạt được TUG-2 khi TU-11 PTR được gán tới VC-11, và sau đó nó được ghép thành bốn. Ngay đối với các tín hiệu TUG-2 chúng ta có thể thấy rằng các con trỏ TU-11 PTR của các TU-11 được gộp lại với nhau và được đưa ra ngoài. Ngoài ra, TUG-3 đạt được nhờ ghép kênh một TUG-2 thành 7 TUG-2 và sau đó, gán FOH vào đầu của chúng. TUG-3 lại được ghép thành 3 TUG-3 và các FOH cùng các VC-4 POH sẽ được gán vào phía trước chúng để đạt được VC-4.

Theo bề ngoài, tín hiệu VC-4 cũng giống như tín hiệu thu được nhờ ghép TUG-2 thành 21 TUG và sau đó gán VC-4 POH và FOH vào phía trước chúng.

Khi kiểm tra các kết quả ghép kênh chúng ta có thể biết rằng mỗi một trong 84 tín hiệu TU-11 có thể được truy nhập trên VC-4. Đồng thời, FOH chỉ được sử dụng như một mào đầu được điền tạm để điều chỉnh kích thước.

Có thể thu được AU-4 nhờ gán AU-4 PTR vào VC-4 và nó cũng giống như tín hiệu AUG. Cuối cùng có thể thu được tín hiệu STM-n khi một AUG được ghép thành n AUG và sau đó. một mào đầu đoạn được gắn trên chúng.

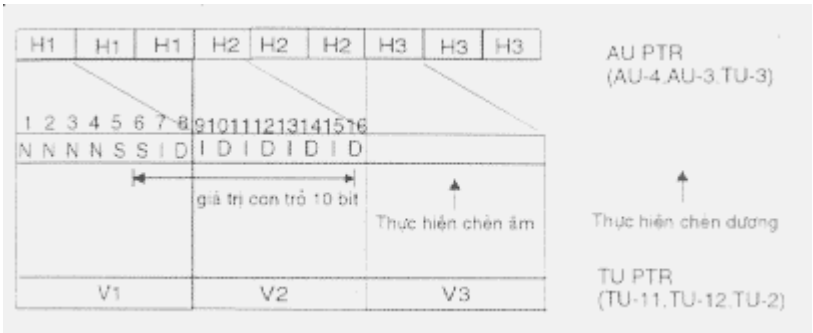
1.4.7 Con trỏ và đồng bộ hoá

Trong SDH, kỹ thuật con trỏ được sử dụng để đồng bộ hoá. Con trỏ này được sử dụng để chỉ thị sự thay đổi mối quan hệ khi VC được đồng chỉnh theo tín hiệu TU hoặc AU và khi VC chỉ thị địa chỉ xuất phát trong một khung TU hoặc AU và điểm xuất phát của nó bị thay đổi.

Như được trình bày trong hình 1.41 các loại con trỏ khả dụng là AU-4 PTR, AU-3 PTR, TU-3 PTR, và TU-11 PTR, TU-2 PTR, TU-12 PTR v.v.... Trong số đó AU-4 PTR, AU-3 PTR xuất hiện trên vị trí của AU PTR được chỉ rõ trong hình 1.46 và TU-3 PTR được bố trí trên đỉnh của hàng đầu tiên trong phạm vi khung TU-3.

Các con trỏ của lớp có mức cao nói trên được đánh dấu với H1, H2 và H3. các con trỏ của lớp có mức thấp, chẳng hạn như TU-11 PTR, TU-2 PTR và TU-12 PTR được đánh dấu bằng V1, V2 và V3. Các con trỏ của lớp mức thấp này được cấu trúc như sau: ba trong số các byte đầu tiên của mỗi đoạn sẽ đạt được nhờ phân chia TU tương ứng thành một đoạn 125 m s. Trong số đó, việc ứng dụng các đoạn mà ba byte đầu tiên của chúng là các con trỏ V1, V2 và V3, còn byte thứ tư là V4, thì còn chưa được xác định. Đồng thời, vùng trường tin của mỗi TU sẽ bố trí các địa chỉ trên byte đứng ngay đằng sau V2 và sau đó, theo trình tự 0, 1, 2 ....

Các con trỏ H1, H2, H3 và V1, V2, V3 có cùng một chức năng như nhau, trong khi chúng được dánh dấu một cách khác nhau. Hình 1.48 chỉ rõ phải xác định cách sử dụng ba byte này như thế nào. Bốn bít của cờ hiệu số liệu mới (NDF-New Data Flag) chỉ thị trạng thái của số liệu mới, còn bít SS được sử dụng để phân định loại của TU hoặc AU tương ứng. Địa chỉ bắt đầu của VC tương ứng được ghi trên 10 bít sau đó. 10 bít này được phân chia thành 5 bít I (Increment - gia tăng) và 5 bít D (Decrement - giảm) như được trình bày trong hình. Trong số đó, bít I sẽ bị huỷ bỏ mỗi khi địa chỉ của điểm xuất phát được gia tăng và bít D bị huỷ bỏ mỗi khi địa chỉ của điểm xuất phát giảm đi. Cuối cùng, byte H3 (hoặc V3) được sử dụng để nạp các số liệu hợp lệ khi thực hiện việc chèn âm.



Hình 1.48. Cấu hình và chức năng của con trỏ

Khi thực hiện một ghép chèn dương, các số liệu hợp lệ được phát đi bằng cách nạp tải cho byte đứng ngay đằng sau H3 (V3). Khi xảy ra sự khác nhau về tần số giữa khung TU và AU hoặc giữa các VC (là các trường tin của chúng) thì các byte con trỏ có thể được sử dụng để giải quyết các vấn đề này nhờ sử dụng phép chèn dương/ không/âm. Nếu tần số của VC tương ứng bắt đầu lớn hơn so với khung TU/AU thì trường tin cần phát sẽ được gia tăng. Đồng thời, đợi cho tới khi tổng số các dữ liệu được tích tụ do sự khác biệt tần số trở nên bằng 1 byte (trong trường hợp VC-4 là ba

byte), rồi khi đó nạp chúng cho một byte H3 hoặc V3 (trong trường hợp VC-4 là 3 byte), đồng thời huỷ bỏ các bít D. Khi đó, trên khung kế sau, ghi lại địa chỉ mới mà nó đã được giảm đi 1 tương ứng với địa chỉ đã được ghi trước đó trên một con trỏ 10 bít để tiến hành chèn âm. Sử dụng các phương pháp tương tự để tiến hành chèn âm khi tần số của VC tương ứng bắt đầu thấp hơn so với khung TU/AU. Tuy nhiên, khi đó các bít I sẽ bị huỷ bỏ và các số liệu không hợp lệ sẽ được nạp sang byte tiếp sau của H3 hoặc V3 và địa chỉ sẽ được gia tăng 1.

1.4.8 Các đặc điểm của Phương pháp Truyền dẫn Đồng bộ

Như đã phân tích cho tới lúc này, khi được so sánh với truyền dẫn không đồng bộ có một số đặc điểm nổi bật. Trong phần sau đây sẽ giải thích đặc điểm này.

1. *Khung 125 às*

Có thể thấy đặc điểm đầu tiên của truyền dẫn đồng bộ trong cấu trúc khung của nó; đó là cấu trúc khung được hình thành bằng các khối 125. Đặc điểm này không có trong phân cấp số không đồng bộ hiện dùng. Trong phân cấp số đồng bộ nó cho phép việc truy nhập từ các tín hiệu phân cấp mức cao tới các tín hiệu phân cấp mức thấp; đặc biệt là xuống tới tín hiệu DS-O được thực hiện một cách dễ dàng. Bằng đặc điểm này, toàn bộ quá trình xử lý số liệu có thể được thực hiện nhờ một đơn vị byte. Tuy nhiên đặc điểm này làm nảy sinh vấn đề trong phân cấp số không đồng bộ hiện tại. Do đó mà biến động (jitter) thời gian đợi trở nên nặng nề. Có nghĩa là việc chèn dương/không/âm là cần thiết khi các tín hiệu C-1 và C-2 được hình thành từ các tín hiệu số DS-1 và DS-2. Nhờ đó, các vấn đề liên quan đến jitter có thể được giải quyết.

2. *Sự hợp nhất các phân cấp số*

Cấu trúc ghép kênh đồng bộ có khả năng hoà hợp các tín hiệu số Bắc Mỹ và Châu Âu. Có nghĩa là, các tín hiệu STM-n có cùng hình dạng bề ngoài có thể được hình thành qua thủ tục ghép kênh đồng bộ ngay cả khi được gán bất kỳ tín hiệu nào trong số các DS-1, DS-2, DS-3 của Bắc Mỹ và các DS-1E, DS-2E, DS-3E, và DS-4E của Châu Âu. Ngoài ra, các tín hiệu Bắc Mỹ có thể kết hợp được với các tín hiệu Châu Âu trong quá trình ghép kênh đồng bộ, và ngược lại. Trước đây, không thể thực hiện được điều này. Ghép kênh tất cả các đường là phi thực tế và khả năng sử dụng phương thức đó cần phải được xác định để chuẩn bị cho sự liên kết mạng toàn cầu.

3. *Cấu trúc phân lớp*

Một trong những đặc điểm nổi bật của truyền dẫn đồng bộ là nó có thể thoả hiệp các khái niệm phân lớp khác nhau. Dựa trên khái niệm này, các mào đầu được phân loại thành SOH và POH trong cấu trúc khung. Có nghĩa là mạng thông tin chủ yếu được phân lớp thành các đường và các đoạn. Các mào đầu cần thiết cho các đường sẽ không được xử lý tại các đoạn mà chúng được truyền đi một cách trong suốt. Các SOH nằm ở phần phía trên hoặc phần phía dưới của con trỏ sẽ được phân loại theo chức năng - chúng được gán tương ứng với chức năng đoạn tái tạo và chức năng đoạn ghép kênh. Có nghĩa là các đoạn lại được phân lớp một lần nữa thành các đoạn ghép kênh mức cao và các đoạn tái tạo mức thấp.

4. Sử dụng một cách hệ thống các mào đầu

Trong các tín hiệu STM-1, mào đầu đoạn và con trỏ chiếm một không gian 9x9B. Mào đầu thực tế sẽ tăng lên khi các mào đầu và con trỏ của đường đang xét bị vượt quá trên một số các tầng. Chúng ta có thể biết rằng các mào đầu trong STM-1 vượt quá 105 khi tốc độ báo hiệu DS-4E là 139,264 Mbit/s. Đây là một điều cải tiến to lớn so với mạng phân cấp số không đồng bộ hiện nay. Các mào đầu được sử dụng đầy đủ sau khi được phân loại thành SOH, POH và PTR. Chúng được sử dụng để tạo điều kiện dễ dàng cho công tác quản lý điều hành và sửa chữa mạng thông tin.

5. Đồng bộ hoá bằng con trỏ.

Trong quá trình ghép kênh đồng bộ, mạng thông tin được đồng bộ hoá nhờ việc thỉnh thoảng gài vào các con trỏ. Có nghĩa là sự xê dịch tần số giữa đồng hồ hệ thống và các tín hiệu thu có thể được xử lý phù hợp với con trỏ và chèn dương/không/âm. Thông qua việc sử dụng bộ nhớ cơ động, phương pháp đồng bộ hoá kiểu này tạo điều kiện khả thi cho đồng bộ hoá băng rộng nhờ việc đưa ra khả năng quan hệ với môi trường cận đồng bộ. Phương pháp đồng bộ hoá bằng con trỏ tương ứng với việc nhồi byte, nếu chúng ta nghiên cứu nó trong bối cảnh của đồng bộ hoá nhồi bit. Vì lý do đó, phương pháp đồng bộ hoá con trỏ tạo ra jitter tần số thấp và jitter biên độ cao. Một trong những vấn đề quan trọng là phải giải quyết jitter này.

6. Ghép kênh một bước

Trong quá trình ghép kênh đồng bộ, các đường truyền trên đó các tín hiệu TUG-2 được ánh xạ trực tiếp thành các tín hiệu VC-4, hoặc các tín hiệu AU-3 được ánh xạ trực tiếp thành các tín hiệu. Cái đó gọi là ghép kênh

một bước; tầng trung gian bị bỏ qua trong quá trình ghép kênh. Khái niệm này không hề được ứng dụng đối với quá trình ghép kênh không đồng bộ đang được sử dụng.

Ngoài ra, khi áp dụng trên một mạng thông tin, nơi một số lượng lớn các tín hiệu được gửi đi nhờ tiến hành một số quá trình ghép kênh, khái niệm này tạo điều kiện dễ dàng và kinh tế cho kết nối phân chia và kết nối chéo. Ghép kênh một bước trở nên khả thi nhờ dựa vào khái niệm côngtenơ.

7. Khái niệm Mạng thông tin.

Phương pháp truyền dẫn đồng bộ đã được thiết lập dựa trên cơ sở của khái niệm mạng thông tin. Do bởi các hệ thống thông tin quang hiện nay đã được thiết kế dựa trên quan niệm truyền dẫn điểm nối điểm cho nên sẽ không có hiệu quả khi thực hiện các kết nối tách/nhập hoặc nối kết chéo thường xuyên xảy ra đối với các tín hiệu đã được tạo ra trên các nút ở giữa, sau khi hình thành mạng truyền thông. Tuy nhiên, khi số lượng các hệ thống thông tin quang được sử dụng ngày một nhiều thì các hệ thống và các tiêu chuẩn dựa trên khái niệm của mạng quang đã trở nên cần thiết và khái niệm ghép kênh một bước đã được áp dụng. Hơn nữa, về mặt các mào đầu thì các SOH cần cho các đoạn và POhH cần cho các đường đã được phân loại và một vài loại mào đầu trong số đó đã được gán cho việc khai thác và bảo dưỡng mạng thông tin được hiệu quả.

8. Mạng thông tin toàn cầu

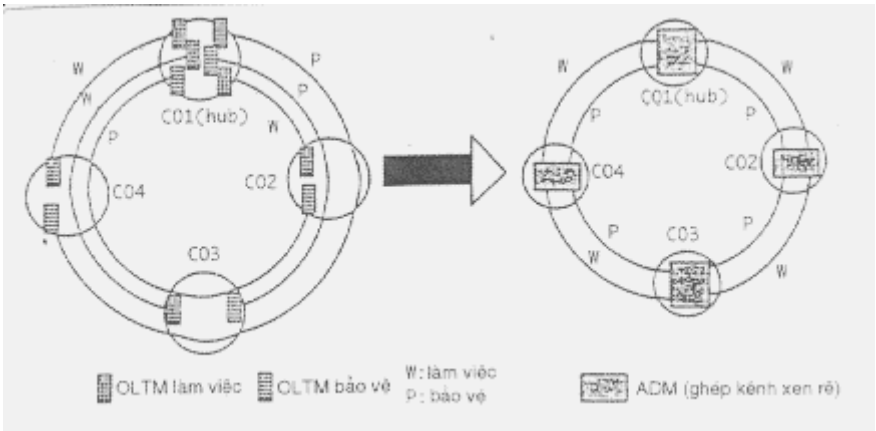
Một đặc điểm khác của mạng truyền dẫn đồng bộ là nó được dựa trên cơ sở khái niệm thông tin toàn cầu. Việc đồng bộ hoá được tiến hành một số lần qua việc sử dụng các con trỏ là yếu tố cho phép mạng truyền dẫn đồng bộ được đồng bộ hoá với mạng thông tin toàn cầu. Vì mục đích đó, phân cấp số của Bắc Mỹ và của Châu Âu đã kết nối với nhau. Nếu các mào đầu từ bên ngoài và cấu trúc ghép kênh được sử dụng đều dựa trên khái niệm này của mạng thông tin thì mạng thông tin toàn cầu có thể trở thành hiện thực.

1.6.6 Các mạch vòng tự hàn gắn (SHR)

1. Lợi ích của việc sử dụng các SHR

Các mạng hiện tại với công nghệ cáp sợi quang đang sử dụng phương pháp định tuyến bảo vệ phân tập tự động và tìm hướng kép để bảo vệ mạng trong những trường hợp đứt cáp hoặc hư hỏng các trung tâm chính. Những mạng như vậy có thể được phát triển thành các vòng SHR nếu như SHR chứng tỏ được là kinh tế hơn. Một mạng mạch vòng là một tập hợp các nút hình thành nên một vòng khép kín, trong

đó mỗi nút được kết nối qua một phương tiện truyền thông song công. Một SHR là một mạng mạch vòng cung cấp dải thông và hoặc thiết bị mạng dự phòng sao cho các dịch vụ bị gián đoạn có thể được phục hồi một cách tự động sau sự cố mạng. Các thiết bị ghép kênh dùng trong các cấu trúc vòng là các thiết bị ADM có nhiệm vụ xen và rẽ các kênh tại chỗ và chuyển tiếp xuyên suốt các kênh quá giang. Hình 1.68 miêu tả một thí dụ về một kịch bản phát triển mạng từ mạng bảo vệ phân tập sang mạch vòng. Hình 1.68(a) miêu tả một mạng cáp quang hướng tâm với ba CO và trung tâm phục vụ của chúng. Các đường truyền thông giữa một CO và trung tâm của nó được đi qua chặng cáp quang ưu tiên điểm - nối - điểm, chặng này được bảo vệ nhờ chặng cáp quang phân tập vật lý do hệ thống APS điều khiển. Các bộ ghép kênh đầu cuối được sử dụng trong mạng cáp quang hướng tâm này có thể được phát triển thành một hệ thống ADMS tốc độ cao, trong đó các ADM này bắt đầu có hiệu lực và khái niệm mạch vòng chứng minh được là có hiệu quả kinh tế. Khi so sánh với đối tác hướng tâm của nó, mạch vòng có thể sẽ cần đến các ADM tốc độ cao hơn, bởi vì nó sử dụng chung không chỉ các phương tiện cáp quang mà còn thiết bị ghép kênh.



Hình 1.68 Phát triển của cấu trúc mạch vòng

Như được mô tả trong hình 1.68, cấu trúc mạch vòng đã có những ưu điểm sau đây so với cấu trúc hướng tâm 1:1/DP: (1) giảm bớt các sợi quang và các thiết bị quang/điện tử và các bộ tái tạo; và (2) khả năng sinh tồn đầy đủ trong khi đứt cáp quang và hỏng nút mạng (trừ nút bị hỏng). Đối với thí dụ trình bày trong hình 1.68(a), mạng hướng tâm 1:1/Dp yêu cầu 12 bộ OLTM, còn mạng mạch vòng trình bày trong hình 1.68(b) chỉ đòi hỏi có 4 bộ ADM. Phụ thuộc vào các tốc độ đường dây được dùng, một số ADM ít hơn cho mạch vòng có thể không nhất thiết chứng tỏ rằng các chi phí đầu tư là thấp hơn. Nếu ta nghiên cứu một trường hợp trong đó cả hai mạng vòng và hướng tâm đều sử dụng cùng một tốc độ đường dây, và chi phí của một OLTM vào khoảng 80% chi phí của một ADM (tại cùng một tốc độ đường

dây) thì mạng vòng có thể tiết kiệm dược 58% chi phí đầu tư so với đối tác hướng tâm của nó. Bây giờ chúng ta nghiên cứu một trường hợp khác, trong đó mạng hướng tâm 1:1/DP sử dụng hệ thống 565 Mbit/s và mạng vòng sử dụng hệ thống 2,40 Gbit/s. Giả thiết rằng giá thành tương đối của một thiết bị kết cuối 565 - Mbit/s là 1 và chi phí của thiết bị 2,40 Gbit/s gấp ba lần giá thành này. Mạng vòng đang nghiên cứu ở đây cần đến bốn bộ ADM 2,4 cobit/s, điều này dẫn đến một giá thành tương đối là 12 (1 x 3 x 4 = 12), trong khi đó mạng hướng tâm 1:1/DP cần đến 12 bộ OLTM 565 Mbit/s, điều này dẫn đến một giá thành tương đối là 9,6 (1 x 0,8 x 12 = 9,6). Do vậy, trong thí dụ đặc trưng này, mạng hướng tâm 1:1/DP dường như ít đắt hơn mạng vòng. Tuy nhiên, có thể phải cần đến các bộ tái tạo cho các chặng bảo vệ phân tập dài hơn trong các mạng hướng tâm cáp quang rộng hơn và có thể điều chỉnh những lợi thế của việc sử dụng các OLTM tốc độ thấp. Khi số lượng các nút trong mạng vòng tăng lên tới tám hoặc lớn hơn, mạng 1:1/DP sẽ bắt đầu ít hấp dẫn hơn so với mạch vòng.

Lưu ý rằng thảo luận ở đây chỉ chú ý đến giá thành của thết bị ghép kênh, bởi vì nó là yếu tố nổi trội nhất của toàn bộ giá thành hệ thống chuyển tải bằng cáp quang đối với các mạng "intra LATA".

Trong nhiều trường hợp, mạng vòng có các ưu điểm về kinh tế so với đối tác hướng tâm của nó, tuy nhiên, nó có thể gặp khó khăn hơn hoặc đắt đỏ hơn để nâng cấp hệ thống khi dung lượng mạch vòng đã cạn kiệt. Mạch vòng cũng có thể cần đến một hệ thống điều khiển mạng phức tạp hơn so với đối tác định tâm của nó, bởi vì rằng tất cả các nút sẽ tương tác với nhau khi các tình huống sự cố xảy ra hoặc có yêu cầu tái cấu hình. Tuy nhiên, vấn đề cạn kiệt của dung lượng mạch vòng có thể được giảm bớt hoặc được giải quyết nhờ quy hoạch mạng cẩn thận hoặc triển khai ADM tốc độ cao hơn nhiều (chẳng hạn, tính khả dụng của các ADM 9,6 Gbit/s). Vả lại (xem mục 4.5), hệ thống điều khiển dùng cho mạng vòng có thể được đơn giản hoá khi thiết bị SONET được triển khai. Bảng 1.17 tổng kết hoá một sự so sánh tương đối giữa các cấu trúc mạng vòng và định tâm với mạng bảo vệ phân tập (Hub/DP).

Bảng 1.17. So sánh giữa định tuyến bảo vệ phân tập và cấu trúc SHR

Các thuộc tính	Hub/DP	SHR/ADM
Khả năng nâng cấp	Dễ dàng	Khó khăn - đắt
Tổng số cáp quang	Nhiều hơn	Ít hơn
Tổng số đầu cuối	Nhiều hơn	Ít hơn
Tốc độ đầu cuối	Thấp hơn	Cao hơn

Khả năng sinh tồn của cáp sợi quang	Ê 100% *	100%
Khả năng sinh tồn của trung tâm **	Nghèo	Tốt hơn

* Phụ thuộc vào cấp bảo vệ 1:1 hay 1: N

** Giả thiết toàn bộ toà nhà trung tâm bị hư hỏng.

2. SHR của SONET

SHR là một mạng đường vòng cung cấp dải thông hoặc và thiết bị mạng dư thừa, sao cho các dịch vụ bị gián đoạn có thể được khôi phục một cách tự động. Giải pháp chung để bảo đảm một khả năng tự hàn gắn là cung cấp một vòng truyền thông thứ hai song song với vòng làm việc thứ nhất. Trong trường hợp này, một sự cố trên vòng có thể được bỏ qua nhờ chuyển các cuộc truyền thông sang vòng thứ hai; nói chung nó được coi như một chức năng chuyển mạch đường dây (hoặc chuyển mạch bảo vệ). Hơn nữa, nếu vòng thứ hai phát theo hướng ngược lại so với vòng thứ nhất thì một sự ngắt trong cả hai vòng giữa hai nút kề liền nhau có thể được cứu vãn nhờ các nút trên một trong hai phía bị ngắt bằng việc đấu vòng các cuộc liên lạc ngược trở lại sang vòng thứ hai. Nó được gọi một cách thông dụng là chức năng đấu vòng ngược. Hình 1.69 miêu tả các thí dụ về chuyển mạch đường dây và mạch vòng ngược để phục hồi.

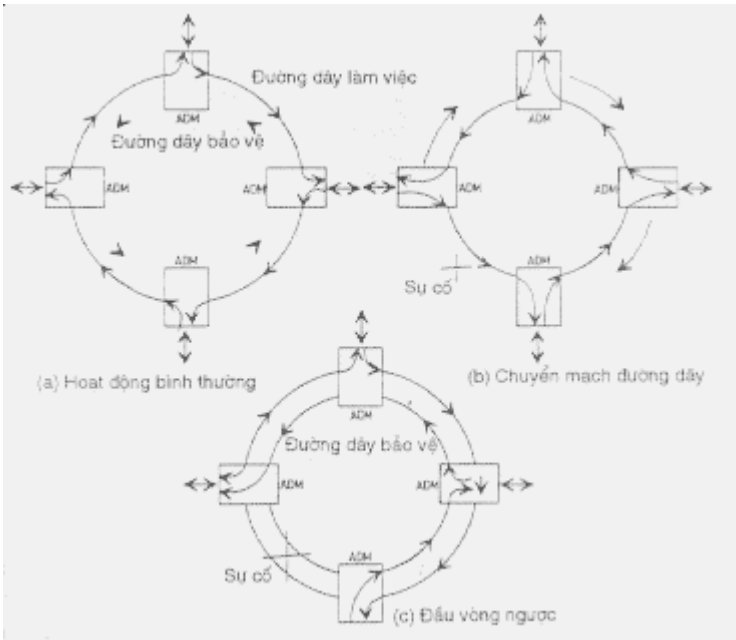
Chú ý rằng một sự kết hợp các chức năng vòng ngược và chuyển mạch đường dây (trên một trong hai phía bị ngắt) có thể được sử dụng để phục hồi dịch vụ bị gián đoạn. Do vậy, một thuộc tính quan trọng của SHR là: nếu vòng bị "gẫy" tại bất kỳ một điểm nào đó, thì hướng truyền dẫn đối với các tín hiệu có thể được đảo lại nhằm tránh việc mất dịch vụ.

Các SHR của SONET có thể được phân chia thành hai loại phổ biến là đơn hướng và song hướng theo hướng của luồng lưu lượng dưới các điều kiện bình thường. Cấu trúc của SHR thuộc về một trong hai loại phổ biến này có thể khác nhau về cơ chế điều khiển bảo vệ cần sử dụng để phục hồi các dịch vụ bị gián đoạn.

SHR đơn hướng

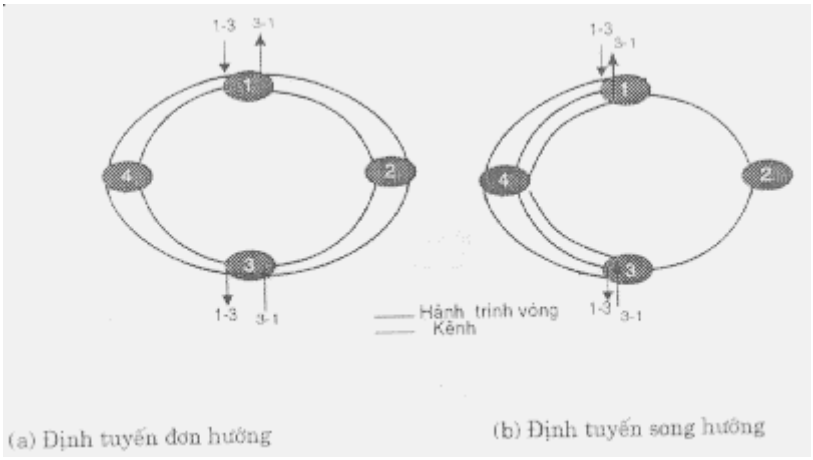
Trong SHR đơn hướng (USHR) lưu lượng làm việc được chuyển quanh mạng vòng chỉ theo một hướng (chẳng hạn ngược chiều kim đồng hồ). Hãy tham khảo hình 1.70(a). Lưu lượng từ bất kỳ một nút nào đó được định tuyến theo các đường truyền thông làm việc từ Nút 1 tới Nút 3 (tức là đường 1-2-3). Lưu lượng quay về tiếp tục đi theo vòng từ Nút 3 quay về Nút 1 theo cùng một chiều như từ Nút 1 đến Nút 3, sử dụng phần còn lại của vòng làm việc (tức là đường 3-4-1).

Do vậy, lưu lượng đi tới tại Nút 1 và Nút 3 theo các con đường khác nhau. Do quá trình truyền dẫn của lưu lượng làm việc bình thường trên USHR này là chỉ đi theo một chiều cho nên dung lượng của vòng được xác định bởi tổng nhu cầu giữa các nút. Các USHR đôi khi được gọi là "các vòng quay ngược" là bởi vì vòng truyền thông thứ hai (chỉ để bảo vệ) được phát đi theo chiều ngược với vòng thứ nhất (vòng làm việc).



Hình 1.69. Chuyển mạch đường dây so với đầu vòng ngược dung để phục hồi đường vòng.

Vì các kênh phục vụ được định tuyến một cách đơn hướng, cho nên cần phải có một cáp quang để vận chuyển chúng. USHR này có thể được cài đặt theo khái niệm bảo vệ 1:1 hoặc 1 + 1. USHR sử dụng một vòng riêng biệt làm vòng bảo vệ mà nó không vận chuyển nhu cầu dịch vụ trong trạng thái bình thường và nó trộn (đấu vòng) các kênh bị gián đoạn sang vòng bảo vệ từ phía vòng làm việc khi thành phần của mạng bị hỏng. Cấu trúc 1:1/USHR này cũng được gọi là một SHR đơn hướng trộn (USHR/L). Tương phản lại, USHR 1 + 1 phân chia các tín hiệu sang cả hai vòng làm việc và bảo vệ tại nút phía phát này (có nghĩa là bắc cầu đầu cuối), còn nút phía thu sẽ lựa chọn tín hiệu tốt nhất trong hai tín hiệu như nhau dựa trên tiêu chuẩn chuyển mạch bảo vệ. Cấu hình USHR 1 + 1 này đôi khi được gọi là một đường đơn hướng SHR (USHR/P). Lưu ý rằng các USHR 1:1 có thể được cấu hình như các USHR 1:N, có nghĩa là một vòng truyền thông bảo vệ được cho N vòng truyền thông làm việc dùng chung: tuy vậy các USHR 1:N không phải là loại tự hàn gắn được toàn bộ.



Hình 1.70. Các định nghĩa về các SHR đơn hướng và song hướng

SHR song hướng

Như được trình bày trong hình 1.70(b), ở trường hợp SHR song hướng (BSHR), lưu lượng làm việc đi theo cả hai hướng trên một đường duy nhất; đường này sử dụng hai đường truyền thông song song với nhau (hướng hoạt động và hướng ngược lại) giữa các nút của vòng (chẳng hạn giữa Nút 1 và Nút 3). Thí dụ, trong điều kiện bình thường, các tín hiệu từ Nút 1 đến Nút 3 được định tuyến qua đường 1-2-3, còn các tín hiệu quay về từ Nút 3 tới Nút 1 được định tuyến qua cùng một đường như vậy (đường 3-2-1). Vì lưu lượng được định tuyến trên một đường duy nhất giữa các nút mà dung lượng dư thừa quanh một vòng có thể được dùng chung trên cơ sở từng tuyến kết nối và nó không được dành riêng cho tổng yêu cầu trên vòng đó (như đối với trường hợp USHR). Do các kênh nghiệp vụ được định tuyến song hướng tại hai nút, cho nên cần đến hai cáp quang để vận chuyển các kênh nghiệp vụ này.

Một BSHR có thể dùng hai hoặc bốn cáp quang, tuỳ thuộc vào việc bố trí dung lượng dư thừa. Trong trường hợp BSHR bốn cáp quang (hoặc cấu hình 1:1) một vòng truyền thông thứ hai, cô lập với vòng thứ nhất, sẽ được cung cấp để bảo vệ. Các kênh làm việc và bảo vệ sẽ sử dụng các vòng truyền thông khác nhau. Các BSHR 1:1 cũng có thể được cấu hình như các BSHR 1:N, tức là một vòng truyền thông bảo vệ dùng cho N vòng truyền thông làm việc. Như được đề cập ở trên, các BSHR 1:N không phải là loại tự hàn gắn đầy đủ, và do vậy, trong mục này sẽ không thảo luận về chúng. Trong trường hợp của BSHR hai cáp quang, các kênh làm việc và bảo vệ sử dụng cùng một cáp quang với một phần dải thông được dự phòng để bảo vệ. Để cung cấp một chức năng tự hàn gắn, thường một nửa dải thông sẽ được dự phòng để bảo vệ. Việc bố trí mạng vòng như vậy có thể bảo đảm chuyển mạch bảo vệ đường dây nhờ sử dụng phương pháp TSI để

hoà nhập các kênh làm việc trong cáp quang bị hỏng với các kênh bảo vệ trong cáp quang không bị ảnh hưởng. Các USHR và BVSR còn có thể được phân loại tiếp thành các SHR chuyển mạch bảo vệ đường dây và đường truyền phù hợp với mức của SONET dùng để: (1) vận chuyển các tin báo gặp sự cố và (2) xúc phát hoạt động chuyển mạch bảo vệ để cho phép vòng được phục hồi một cách tự động khỏi sự cố.

SHR chuyển mạch bảo vệ đường dây

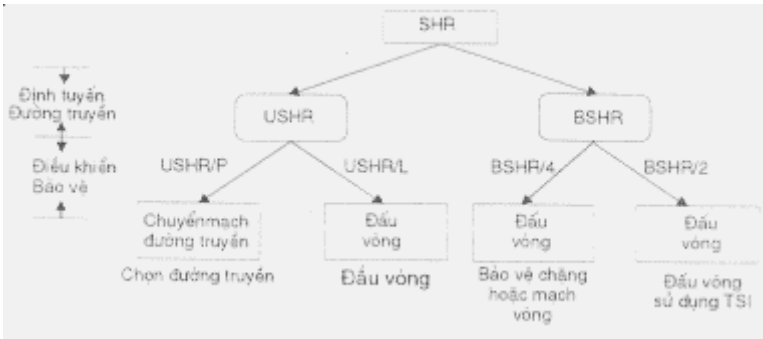
Một cấu trúc SHR chuyển mạch bảo vệ đường dây sử dụng tiêu đề đường dây của SONET (chẳng hạn các byte K1 và K2) để vận chuyển các tin báo sự cố và để xúc phát động tác chuyển mạch bảo vệ. Động tác chuyển mạch bảo vệ chỉ được thực hiện tại lớp đường dây để phục hồi khỏi sự cố và không liên quan đến lớp đường truyền. Nó phục hồi yêu cầu đường dây khỏi một phương tiện bị sự cố. Các cấu trúc chuyển mạch bảo vệ đường dây đã được xác định cho cả hai loại USHR và BSHR, sử dụng nguyên tắc đấu vòng lưu lượng sang đường bảo vệ. Khi một vòng bị đứt cần phải có điều khiển tại chỗvà điều khiển từ xa để thực hiện việc đấu vòng lưu lượng tại các nút nằm trên hai phía của chỗ đứt. Hệ thống chuyển mạch bảo vệ đường dây là một sự lựa chọn tự nhiên đối với tất cả các BSHR bởi vì định tuyến yêu cầu BSHR sử dụng cùng một nguyên tắc như các hệ thống điểm - nối - điểm hiện nay, là những hệ thống sử dụng hệ chuyển mạch bảo vệ đường dây (tức là APS) để phục hồi các yêu cầu nếu một cấu kiện mạng bị hư hỏng.

SHR chuyển mạch bảo vệ đường truyền

Một cấu trúc SHR chuyển mạch bảo vệ đường truyền sử dụng tín hiệu của lớp đường truyền (chẳng hạn, đường AIS) để khởi động chuyển mạch bảo vệ. Khác với hệ thống chuyển mạch bảo vệ đường dây, hệ thống chuyển mạch bảo vệ đường truyền sẽ phục hồi một kênh STS hoặc VT đầu cuối - tới - đầu cuối. Chuyển mạch đường truyền của một đường đặc trưng nào đó độc lập với trạng thái của các đường khác. Mặc dù một nút nào đó phát hiện một sự cố đường dây, thì chuyển mạch vẫn được thực hiện tại lớp đường truyền cho các SHR chuyển mạch đường truyền. Với chuyển mạch bảo vệ đường truyền, người ta xác định rõ hai cấp của các mức mạch vòng: VT và STS. SHR chuyển mạch bảo vệ đường truyền VT được xác định như một vòng, trong đó đường truyền VT được chuyển mạch cho các cuộc sắp xếp lại mạch vòng, và SHR chuyển mạch bảo vệ đường STS được xác định như một mạch vòng trong đó các đường truyền STS được chuyển mạch để tái sắp xếp mạch vòng.

Các vòng chuyển mạch đường truyền STS và VT tương ứng được sử dụng chủ yếu trong các mạng liên tổng đài và các mạng đấu vòng.

Hình 1.71 miêu tả các yêu cầu kỹ thuật của cấu trúc vòng SONET dựa trên cơ sở định truyền yêu cầu và cơ chế điều khiển bảo vệ.



Hình 1.71.

1.7 SỰ TIẾN TRIỂN SANG BISDN

B-ISDN đã được phát triển để điều tiết các thể loại khác nhau của các tín hiệu băng rộng, dựa trên những khái niệm về tiêu chuẩn ISDN và tiêu chuẩn thông tin quang đồng bộ, trong khi đó hệ thống thông tin ATM đã được phát triển để cài đặt B-ISDN. Mục tiêu chủ yếu của BISDN là liên kết tất cả các tín hiệu liên tục theo thời gian thực và các tín hiệu số liệu theo nhóm có sự phân bố dải tần rộng (cần thiết để cung cấp các dịch vụ băng hẹp, phát hiện từ xa, chẳng hạn như giám sát từ xa, đầu cuối số liệu, điện thoại và fax, và các dịch vụ băng rộng, chẳng hạn như điện thoại thấy hình, hội nghị truyền hình, truyền tín hiệu truyền hình độ nét cao, truyền số liệu tốc độ cao v.v). B-ISDN đòi hỏi một phương pháp hiệu quả để có thể xử lý chung tất cả các dịch vụ nói trên. Hệ thống truyền thông ATM (phương thức chuyển giao không đồng bộ) đã được đề xuất như là một giải pháp.

Các khái niệm về BISDN đã được phát triển để đáp ứng một cách hiệu quả các nhu cầu đang càng ngày càng gia tăng về các thể loại dịch vụ băng rộng khác nhau. Để điều tiết tất cả các loại tín hiệu băng rộng này, các dịch vụ thông tin, chẳng hạn như các thể loại điện thoại video, cần được liên kết với các loại dịch vụ phân bố, chẳng hạn như CATV. Ngoài ra, phải có một chức năng cung cấp cả các dịch vụ chế độ kênh, cả các dịch vụ chế độ gói.

Mặt khác, lại đã từng có một đòi hỏi về khả năng mạng có khả năng cung cấp dịch vụ giám sát từ xa hoạt động tại một tốc độ truyền dẫn thấp (bit/s) cũng như dịch vụ thoại/thị tần hoạt động ở tốc độ truyền dẫn trung bình/cao (vài chục kbit/s cho thoại và vài trăm Mbit/s cho video). Một

giải pháp cho việc này là đề xuất tiêu chuẩn hoá các loại tín hiệu khác nhau của các dịch vụ để ứng có các hình thức bề ngoài như nhau và sau đó, tích trữ chúng lại để ghép kênh. Các tế bào ATM đã được sử dụng để tiêu chuẩn hoá các hình thức bề ngoài của các tín hiệu dịch vụ và hệ thống ATDM (ghép kênh không đồng bộ phân chia theo thời gian) đã được sử dụng để ghép một nhóm các tế bào ATM; một hệ thống truyền thông dựa trên cơ sở các tế bào ATM và ghép kênh ATDM được gọi là hệ thống thông tin ATM.

Hệ thống truyền thông ATM đã liên kết hệ thống thông tin digital chế độ kênh đang hoạt động với hệ thống thông tin chế độ gói. Hệ thống thông tin ATM giống như hệ thống thông tin gói, trong đó nó sử dụng các tế bào ATM như một phương tiện truyền dẫn cơ bản, trong khi đó nó khác với chuyển mạch gói ở chỗ nó đồng thời có thể xử lý được các tín hiệu thời gian thực và tương đương. Ngoài ra, các hệ thống chuyển mạch gói nói chung đã được sử dụng một cách cục bộ trong các mạng LAN, còn đối với hệ thống ATM thì do nó đã được thiết kế để sử dụng trên các mạng công cộng định cỡ lớn, cho nên nó khắc phục được những khó khăn trong việc gán địa chỉ, điều khiển kết nối và lưu trình, chuyển mạch và truyền dẫn. Mặt khác, so với hệ thống thông tin chế độ kênh (phân bố kênh cho mỗi dịch vụ rồi sau đó thông qua các kênh này mà chuyển các tín hiệu thông tin đi như một dãy bít liên tục), ATM phân chia các tín hiệu mang thông tin rồi sau đó nạp chúng vào các tế bào ATM để chuyển chúng đi qua các kênh ảo. Do vậy, một số vấn đề mới liên quan đến việc thiết lập nối kết, quá trình báo hiệu, đến truyền dẫn và chuyển mạch đã phát sinh.

B-ISDSN hay hệ thống thông tin ATM đã được triển khai vào cuối năm 1980, từ đó đến nay nó vẫn được nghiên cứu và nâng cấp. Do vậy trong mục sau đây sẽ xem xét lại các vấn đề liên quan đến chúng, dựa trên các điều khoản thuộc về BISDN của ITU-T.

Hệ thống thông tin ATM đã được phát triển để cài đặt B-ISDN cho nên đôi khi nó được xem là "mạng ATM".

1.7.1 Các khái niệm cơ bản của B-ISDN

Khi xã hội phát triển, khi càng ngày càng có nhiều công ty mọc lên, thì nhu cầu về các dịch vụ đa phương tiện và các dịch vụ băng rộng khác nhau cũng đang gia tăng một cách đáng kể. Bây giờ càng ngày càng có nhiều người sử dụng các đầu cuối số liệu, các máy tính cá nhân, các máy Fax và các hệ thống hội nghị video, và số lượng các công ty nhận tham gia vào các dịch vụ CATV cũng đã tăng lên.

Ngoài ra, nhu cầu về các dịch vụ như điện thoại thấy hình (video), truyền hình độ phân giải cao, truyền số liệu tốc độ cao, dịch vụ giám sát bằng video, truy tìm bằng video, video text băng rộng cũng đang tiếp tục gia tăng. Những dịch vụ kể trên bao gồm các dịch vụ giao lưu cũng như các dịch vụ phân phối mà một số trong các dịch vụ đó có thể cần đến các mạng riêng của mình (do một số trong các dịch vụ đó là các dịch vụ chế độ kênh, một số là các dịch vụ chế độ gói). Song để làm được điều đó cần phải đầu tư mạnh và sẽ làm cho thông tin trở nên kém hiệu quả. Do đó, hiện đang có một nhu cầu liên kết các dịch vụ nói trên thành một mạng truyền thông chung cho tất cả các dịch vụ liên kết.

BISDN - một mạng thông tin số, có khả năng cung cấp các loại hình dịch vụ băng hẹp, chẳng hạn như điện thoại, các đầu cuối số liệu, giám sát từ xa, facximin, teletext, cũng như các dịch vụ băng rộng, chẳng hạn như điện thoại thấy hình, hội nghị truyền hình, truyền dẫn hình ảnh có độ phân giải cao, truyền số liệu tốc độ cao, giám sát bằng video và CATV...

Do vậy, B-ISDN có thể được xem như một mạng thông tin mà nó đã được phát triển từ mạng ISDN băng hẹp hiện đang được sử dụng.

1.7.2 Các đặc trưng tín hiệu của dịch vụ B-ISDN

B-ISDN có những mục đích cơ bản là kết hợp tất cả các dịch vụ hiện hữu vào một mạng truyền thông trong tương lai. Do vậy, về cơ bản nó cung cấp các dịch vụ băng hẹp, chẳng hạn như điện thoại, đầu cuối số liệu, fasimile, soạn thảo văn bản từ xa, đọc số đo từ xa, videotex, bưu chính điện tử, teletex. Ngoài ra, nó có khả năng cung cấp các dịch vụ băng rộng, chẳng hạn như điện thoại thấy hình, hội nghị truyền hình và truyền số liệu tốc độ cao, facsimile màu, CATV, phân phối HDTV, âm thanh nhạy cảm cao, thư truyền hình, giám sát bằng video, truyền chương trình chiếu phim độ phân giải cao và videotex băng rộng.

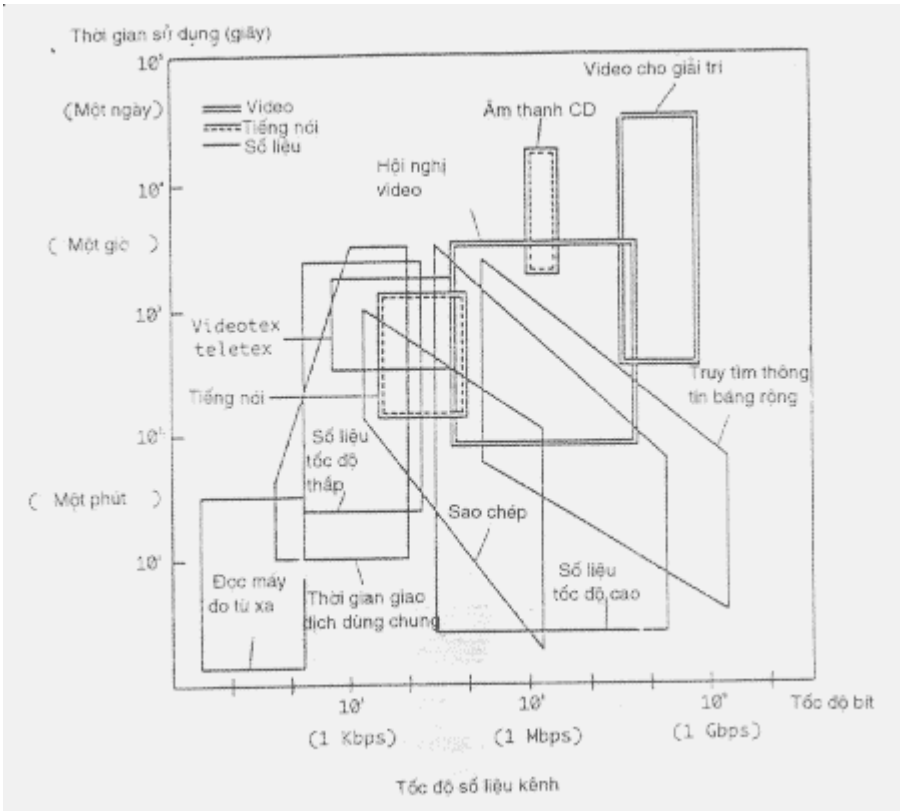
Những dịch vụ BISDN này bao gồm tất cả các dịch vụ có những đặc tính khác nhau. Có nghĩa là, các dịch vụ tương tác chẳng hạn như điện thoại hoặc điện thoại thấy hình và các dịch vụ thông báo chẳng hạn như bưu chính điện tử hoặc bưu chính bằng hình ảnh và các dịch vụ truy tìm để tra cứu bản vẽ và văn bản đều được bao gồm trong đó. Các dịch vụ này là các dịch vụ thông tin mà tín hiệu của dịch vụ được chuyển giao theo cả hai chiều, song bên cạnh đó, chúng còn có các dịch vụ phân phối một chiều, chẳng hạn như dịch vụ CATV.

Những đặc trưng nổi bật nhất của các tín hiệu dịch vụ B-ISDN là phạm vi phân bố dải thông của nó rất rộng. Trong khi tín hiệu cấu hình cơ bản của ISDN băng hẹp được phân bố quanh tín hiệu thoại thì việc phân bố tốc độ tín hiệu của B-ISDN bao gồm các lớp digital khác, các tín hiệu video

khác nhau và các tín hiệu truyền số liệu tốc độ cao. Do đó, đứng trên quan điểm tốc độ truyền dẫn, các tín hiệu của dịch vụ chiếm băng tần rộng từ vài bit/s của các tín hiệu giám sát từ xa tới các tín hiệu video với vài trăm Mbit/s. Ngoài ra, thời gian sử dụng nó trong phạm vi từ các số liệu tốc độ thấp, có độ dài vài giây, tới dịch vụ video có độ dài vài giờ, các dịch vụ thoại có độ dài vài ba phút.

Như đã mô tả, B-ISDN có khả năng cung cấp dịch vụ băng rộng tới nhiều Mbit/s, còn các tần số mà nó sử dụng và phân bố thời gian sử dụng thì có phạm vi rất rộng.

Đặc tính phân bố khác của tín hiệu dịch vụ B-ISDN là các tín hiệu liên tục, chẳng hạn như tiếng nói và hình ảnh, có thể cùng "sống chung" với các tín hiệu nhóm, chẳng hạn như số liệu đầu cuối. Các tín hiệu tiếng nói và hình ảnh có thể trở thành các tín hiệu tốc độ bít bằng nhau nhờ phương pháp số hoá. Tuy nhiên, các tín hiệu số liệu khác nhau là các tín hiệu với tốc độ bít biến đổi rất rộng. Mặt khác, các tín hiệu hình ảnh và âm thanh đòi hỏi được xử lý theo thời gian thực, còn trong trường hợp số liệu thì không cần như vậy.



Hình 1.72. Phân bố dịch vụ của B-ISDN

Do những sự khác nhau như vậy, chuyển mạch và truyền dẫn các tín hiệu dịch vụ B-ISDN trở nên khó mà thực hiện được. Vì lý do đó, chuyển

mạch gói là lý tưởng đối với tốc độ thấp hoặc số liệu nhóm, trong khi đó, đối với tín hiệu tiếng nói và hình ảnh thì chuyển mạch kênh là thích hợp hơn. Ngoài ra, đối với các tín hiệu thoại, chuyển mạch phân chia thời gian đã phát hiện từ lâu là thích hợp hơn cả, còn đối với các tín hiệu video tốc độ cao là chuyển mạch kênh phân chia theo không gian.

Vì vậy, tìm được một hệ thống truyền dẫn có khả năng trao đổi với nhau các tín hiệu tốc độ thấp/cao và các tín hiệu liên tục/ nhóm là cực kỳ khó khăn.

Tốc độ số liệu kênh

1.7.3 Nền tảng kỹ thuật của B-ISDN

Như đề cập trước đây, vì các dịch vụ do B-ISDN cung cấp có những đặc điểm khác nhau, cho nên một số công nghệ cơ bản được đòi hỏi để hiện thực hoá B-ISDN. Thứ nhất, xử lý tốc độ cao và công nghệ môi trường, truyền dẫn băng rộng và công nghệ chuyển mạch băng rộng; chúng được yêu cầu là bởi vì các tín hiệu của dịch vụ băng rộng và tốc độ cao được sử dụng rộng rãi. Vả lại, việc cải thiện công nghệ và thiết bị xử lý video là cần thiết bởi vì các dịch vụ chính của B-ISDN là các loại dịch vụ video khác nhau. Hơn nữa, công nghệ mạng thông tin đối với những vấn đề trên đây là cần thiết, bởi vì các dịch vụ tốc độ thấp/tốc độ cao được cung cấp và các dịch vụ chế độ gói đồng tồn tại.

Những công nghệ cơ bản này đã được phát triển và được nâng cấp liên tục nhằm đáp ứng một cách đầy đủ nhu cầu về các dịch vụ băng rộng càng ngày càng tăng. Thứ nhất, công nghệ thông tin quang đã được nâng cao; suy hao của cáp sợi quang đã được giảm xuống thấp hơn 0,5 dB/Km và giá cả của các phần tử bức xạ/thu ánh sáng đã sụt xuống khá nhanh chóng; Hơn nữa, công nghệ về mạch tích hợp và công nghệ chế tạo các cấu kiện cũng đã rất tiên tiến. Các phần tử Silíc lưỡng cực hoặc GaAs được phát triển một cách thành công có khả năng thực hiện việc xử lý tốc độ cao (hàng trăm Mbit/s hoặc Gbit/s) và CMOS có khả năng xử lý mức 150 Mbit/s. Ngoài ra, công nghệ phần mềm và m p tiến triển một cách thành công tạo điều kiện để điều khiển tốc độ cao, cũng như hoạt động và chuyển mạch tốc độ cao trở nên có thể được.

Việc nén, chuyển đổi và tái tạo các tín hiệu dịch vụ khác nhau đã trở nên dễ dàng do phát triển công nghệ xử lý tín hiệu. Vả lại, việc thu thập, thay đổi và xử lý các tín hiệu dịch vụ đã trở nên dễ dàng hơn nhờ phát triển công nghệ máy tính. Qua việc sử dụng công nghệ nói trên, cùng với công nghệ VLSI, các thiết bị đầu cuối khách hàng hiệu quả đã được phát triển. Thêm vào đó, các thiết bị đầu cuối B-ISDN được sử dụng cho các thiết bị video khác nhau đã được triển khai một cách thành công và được sử dụng

với các monitor TV chất lượng cao, cùng với các camera video có độ nhạy cao.

Mặt khác, các hoạt động tiêu chuẩn hoá của ISDN, theo sáng kiến của ITU-T trong những năm 1980, đã ảnh hưởng đến rất nhiều hoạt động nghiên cứu về sự liên kết các loại tín hiệu dịch vụ khác nhau cũng như việc số hoá mạng thông tin và đã đóng góp vào sự phát triển công nghệ thông tin. Dựa vào những vấn đề nói trên, hệ thống thông tin ATM có khả năng cung cấp dịch vụ B-ISDN có những nét đặc trưng khác nhau. Điều này đã dẫn đến sự phát triển công nghệ liên kết dịch vụ B-ISDN.

1.7.4 Nền tảng của tiêu chuẩn hoá B-ISDN

Trong quá trình tiêu chuẩn hoá B-ISDN tiến hành vào đầu những năm 80, ITU-T đã quy định các kênh H1, H2, H3, H4 là các kênh tốc độ cao của khách hàng. Trong số đó, kênh H1 được phối ghép với nhóm sơ cấp của ISDN trong dạng kênh H11 1,536 Mbit/s và kênh H12 1,920 Mbit/s, và vì vậy hình thành cơ sở của ISDN cùng với giao diện cơ bản 2B + D 144 kbit/s.

H2, H3 và H4 được quy định là các kênh băng rộng tương ứng với phân cấp số đang tồn tại.

Bắt đầu từ năm 1985 người ta đã chú ý đến các kênh băng rộng và kết quả là các tốc độ bit 30 - 40, 45 60 - 70 Mbit/s đã được xem là tiêu chuẩn cho các kênh H2, H3 và H4. Mặt khác, uỷ ban T1 đã đưa ra một dự án sử dụng 149,760 Mbit/s dựa trên cơ sở SONET.

Sau đó, vào tháng Bảy năm 1986, ITU-T bắt đầu tiêu chuẩn hoá giao diện nút mạng (NNI) một cách độc lập với tiêu chuẩn hoá giao diện khách hàng - mạng (UNI) của BISDN.

Nhiệm vụ tiêu chuẩn hoá NNI, vốn được tiến hành dưới nhiều điều kiện khó khăn, đã đi đến thoả thuận là sử dụng tiêu chuẩn tín hiệu STM-1, có cấu trúc 9B x 270 và có tốc độ bit 155,520 Mbit/s, tại hội nghị Seoul được tổ chức vào tháng Hai năm 1988. Sau đó, nó trở thành phân cấp số đồng bộ của các khuyến nghị G.707 - G.709. Mặt khác, nhiệm vụ tiêu chuẩn hoá UNI của B-ISDN do BBTG (Broad Band Task Group- Nhóm đặc trách băng rộng) thực hiện đã hoà nhập với khuyến nghị I.121 vào năm 1988 tại cùng hội nghị trên. Đó là những văn kiện đầu tiên đã đặc tả khuôn khổ cơ bản của B-ISDN. Những văn kiện này quy định rằng B-ISDN phải dựa vào ATM và các dịch vụ của nó, phải được phân chia thành các dịch vụ giao lưu và các dịch vụ phân bố, và rằng cấu trúc chức năng/tiêu chuẩn của B-ISDN phải được thiết lập giống như của ISDN. Các văn kiện này cũng đã xác định rõ mô hình giao thức cho ATM và

kích thước của tế bào ATM là 30 byte. Ngoài ra, các văn kiện này phân định 32,768 Mbit/s cho H21, 43 - 45 Mbit/s cho H22 và 132 - 138, 240 Mbit/s cho H4. Thêm nữa, nó quy định UNI là lớp 150 Mbit/s và lớp 600 Mbit/s.

Sau đó ít lâu, BBTG đã được chỉ định là WP8 nhưng công việc tiêu chuẩn hoá UNI đã gặp những khó khăn liên quan đến kích thước của tế bào ATM, đến tốc độ bit và cấu trúc khung trên mặt giao tiếp.

Ngoài ra, về kích thước của tế bào ATM, "4+32" byte (đầu đề tế bào + trường tin) do người châu Âu đề xuất đã cạnh tranh với "5+64" byte do người Mỹ đưa ra. Song cuối cùng đã quyết định là "5+48" byte sẽ được sử dụng cho mục đích này. Do bị ảnh hưởng mạnh của SDH đã được tiêu chuẩn hoá trước đó, tốc độ bít của mặt giao tiếp đã được quyết định là 155,520 Mbit/s. Ngoài ra, cấu trúc khung của lớp vật lý đã quyết định tuân theo cấu trúc khung STM-1 hoặc dòng tế bào ATM thuần tuý. Hơn nữa, cũng đã được phép bố trí các tín hiệu khác của G.702. WP8 đã xác định rõ những chi tiết của những điều khoản cần được bàn cãi như các khuyến nghị thuộc Seri I tại Hội nghị Masyama, tổ chức ở Nhật Bản vào tháng 11 năm 1990. Như vậy, khuôn khổ tổng thể về BISDN đã được hoàn chỉnh. Mặt khác, khi ITU đã được tổ chức lại vào năm 1993, nhóm nghiên cứu 13 (SG.13) của ITU-T bắt đầu đảm trách các hoạt động nghiên cứu về tiêu chuẩn hoá BISDN.

1.7.5 Nguyên tắc cơ bản của BISDN

Như đã trình bày trước đây, BISDN là một khái niệm được đưa ra để thoả mãn nhu cầu về các dịch vụ băng rộng đang càng ngày càng gia tăng. Các mục đích cơ bản của BISDN là thiết lập một mạng số có khả năng liên kết và cung cấp các hình loại dịch vụ băng rộng khác nhau thông qua việc sử dụng truyền dẫn tốc độ cao, chuyển mạch tốc độ cao, xử lý tín hiệu, máy tính, phần mềm và công nghệ cấu kiện. Vả lại, thông qua BISDN, các dịch vụ giao lưu và phân phối cũng như các dịch vụ chế độ kênh và chế độ nhóm cũng được cung cấp. Thêm vào đó, các dịch vụ băng hẹp và các dịch vụ băng rộng được cung cấp một cách đồng thời. Để đạt được các mục đích nói trên, BISDN phải có khả năng hỗ trợ các nối kết truyền thông bán cố định cố định các nối kết điểm - nối - điểm đa điểm - nối - điểm và các nối kết dành dùng các dấu riêng/cố định; Như vậy, BISDN cần phải có khả năng thông minh để mở rộng và cải tiến các dịch vụ và để quản lý hoạt động, bảo dưỡng và điều khiển mạng một cách hiệu quả.

Cấu trúc của B-ISDN phải như thế nào đó sao cho nó không cản trở sự phát triển công nghệ hoặc sự phát triển phương pháp hiện thực hoá trong tương lai. Ngoài ra, nó phải có khả năng đáp ứng các nhu cầu của khách hàng hoặc sự phát triển mạng mà nó có thể phát sinh một lần nữa. Hơn

nữa, dựa trên các khái niệm của ISDN, tiêu chuẩn giao diện phối ghép và giao thức cũng cần phải được thiết lập một cách phù hợp.

BISDN dùng ATM để thực hành các chức năng của mình. ATM là một hệ thống truyền thông phân chia đều các hình loại dịch vụ khác nhau, sắp xếp chúng vào các tế bào ATM có kích thước như nhau và cuối cùng, chuyển chúng đi nhờ các ATDM. Hơn nữa, nó thiết lập các đường ảo và các kênh ảo để chuyển giao tế bào ATM.

Do đó, thông qua việc sử dụng ATM, có thể thực hiện được kết nối mạng có độ linh hoạt cao và phân bố dải thông biến đổi. Cùng với những cái đó, ATM có khả năng chuyển giao thông tin và số liệu qua các loại phương tiện vật lý và các mạng chuyển tải khác nhau, bởi vì nó được xác định một cách độc lập với các phương tiện chuyển tải của các lớp vật lý.

1.7.6. So sánh B-ISDN và ISDN

B-ISDN là một khái niệm xuất phát từ tiêu chuẩn ISDN. Do vậy, các quan điểm về B-ISDN cũng giống như của ISDN. Tuy nhiên, việc thiết lập B-ISDN được thực hiện khác với thiết lập ISDN.

Thứ nhất, BISDN là một mạng số liên kết đa dịch vụ như trong trường hợp ISDN, nhưng nó khác với ISDN ở chỗ nó bảo đảm việc liên kết cả các tín hiệu băng rộng nữa. Vì lý do đó, mô hình cấu trúc cơ bản của BISDN cũng giống như của ISDN, ngoài trừ khả năng xử lý các tín hiệu băng rộng, đồng thời với các chức năng của ISDN băng hẹp. Về mặt thiết lập cấu trúc chức năng hay cấu hình tiêu chuẩn, BISDN cũng giống như của ISDN. Nhóm chức năng của nó bao gồm TE1, NT1, NT2 và TA, cùng các điểm chuẩn được hình thành từ R, S và T.

Tuy nhiên, chúng chỉ tương tự nhau về mặt khái niệm mà không tương thích nhau về mặt hoạt động thực tế. Có nghĩa là BISDN không thể được thực hiện chỉ bằng việc bổ sung các thiết bị của dịch vụ băng rộng vào mạng ISDN hoặc TE của ISDN không thể được đấu nối tới NT của BISDN. Do đó, các nhóm chức năng của ISDN và các điểm chuẩn cũng giống như các phần tử liên quan của BISDN chỉ về mặt khái niệm. Tuy nhiên nó có thể phối ghép với TE1 của ISDN hoặc với TA qua việc sử dụng TE2 của BISDN. Trong hoạt động thực tế BISDN khác rất xa với ISDN; hệ thống thông tin ISDN có các đặc trưng kết hợp các hệ thống thông tin chuyển mạch kênh số đang hoạt động với hệ thống chuyển mạch gói, trong khi đó BISDN dùng hệ thống ATM hoàn toàn khác với các hệ thống nói trên của ISDN.

Có nghĩa là, trong khi ISDN chủ yếu điều tiết hệ thống thông tin kênh (hệ thống thông tin gói cũng được điều tiết) thì BISDN chủ yếu sử dụng hệ

thống thông tin gói, đồng thời vẫn điều tiết hệ thống thông tin kênh). Do những sự khác nhau về hệ thống truyền thông đó, quá trình truyền dẫn, báo hiệu và quản lý mạng của BISDN cũng được tiến hành khác với ISDN. Do vậy, BISDN cần được coi là khác hẳn so với ISDN.

1.7.7 Hệ thống thông tin ATM

ATM là một hệ thống truyền thông để thực hiện BISDN. ATM là một hệ thống chuyển giao kiểu gói có hình thức đặc biệt, sử dụng ATDM. Trong BISDN, thông tin được chuyển đi nhờ một luồng liên tục cái gói có một kích thước không đổi. Các gói có kích thước cố định này được gọi là các tế bào ATM. Do vậy thông tin dịch vụ cũng được bố trí vào tế bào ATM, sau đó được chuyển đi theo những kích thước không đổi. Và sau đó, tín hiệu truyền dẫn của BISDN được tạo nên như ATDM với các tế bào ATM. Đồng thời ATDM là một phương pháp ghép kênh thống kê, thực hiện việc phân chia theo thời gian để ghép các tế bào ATM của một số kênh đi tới một cách không đồng bộ.

Nếu sử dụng ATM, dung lượng của kênh nghiệp vụ cũng được tính theo số lượng các tế bào ATM. Cho nên sự vượt quá dung lượng truyền dẫn của thông tin được biểu thị bởi số lượng các tế bào ATM. Việc phân phối dung lượng truyền dẫn được xác định theo dung lượng yêu cầu và khả năng phân phối có thể có thông qua thương lượng với mạng thông tin trong quá trình thiết lập cuộc gọi.

ATM - một hệ thống kiểu liên kết - sẽ thiết lập các kênh ảo để chuyển giao thông tin dịch vụ. Mỗi khi một kênh ảo được thiết lập, số hiệu nhận dạng nối kết được gán và khi nối kết được giải toả, số hiệu nhận dạng này cũng được huỷ bỏ. Trình tự sắp xếp giữa các tế bào ATM trong một kênh ảo nào đó do các chức năng của lớp ATM dự kiến trước. Thông tin báo hiệu về thiết lập nối kết được chuyển giao các tế bào ATM riêng biệt.

Hệ thống ATM xác định rõ mô hình chuẩn của giao thức phân lớp để chuyển giao thông tin một cách có hệ thống và cơ động. Các lớp giao thức được sử dụng là lớp ATM, lớp ứng dụng ATM (AAL) và lớp mức cao. Lớp AAL ánh xạ các tín hiệu dịch vụ sang khu vực trường tin của các tế bào ATM, còn lớp ATM thực hiện chức năng tạo đầu đề của tế bào ATM để chuyển giao trường tin một cách trong suốt. Lớp vật lý thực hiện chức năng chuyển đổi các tế bào ATM thành hàng bít và sau đó, chuyển chúng đi.

Kích thước của tế bào ATM là 53 byte. Nó được phân chia thành mào đầu 5 byte và đường bao trường tin 48 byte (hình 1.73(a). Chức năng chủ yếu của mào đầu tế bào là nhận dạng các tế bào thuộc về cùng một kênh

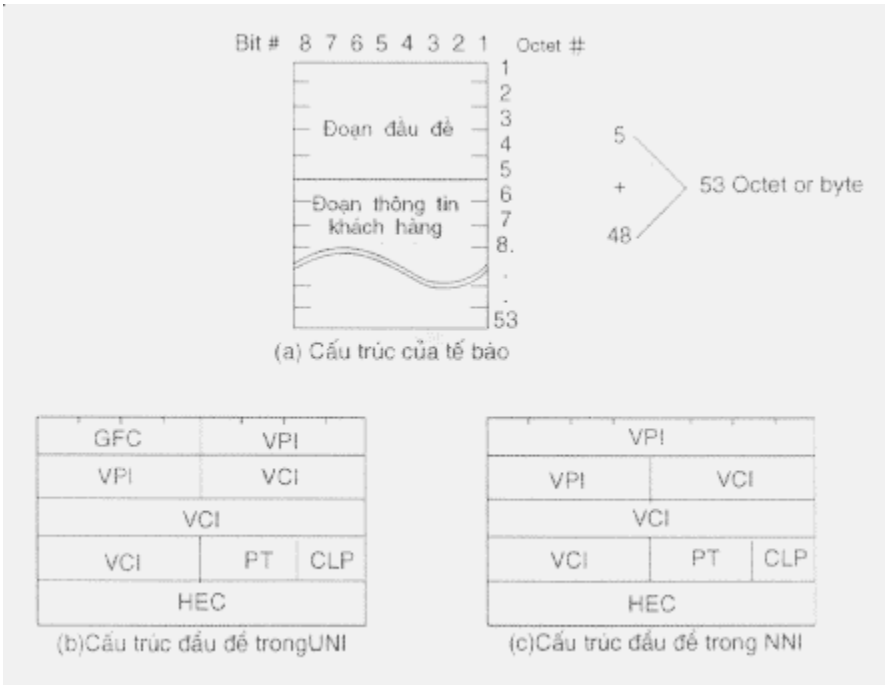
ảo (trong số các tế bào ATM) hiện diện trong một luồng thông tin ATDM.

Đó là chức năng do VPI (phần tử nhận dạng đường ảo) và VCI (phần tử nhận dạng kênh ảo) chỉ rõ trong (b) và (c) của hình 1.73.

(a) Cấu trúc của tế bào

(b) Cấu trúc đầu đề trong UNI

(c) Cấu trúc đầu đề trong NNI



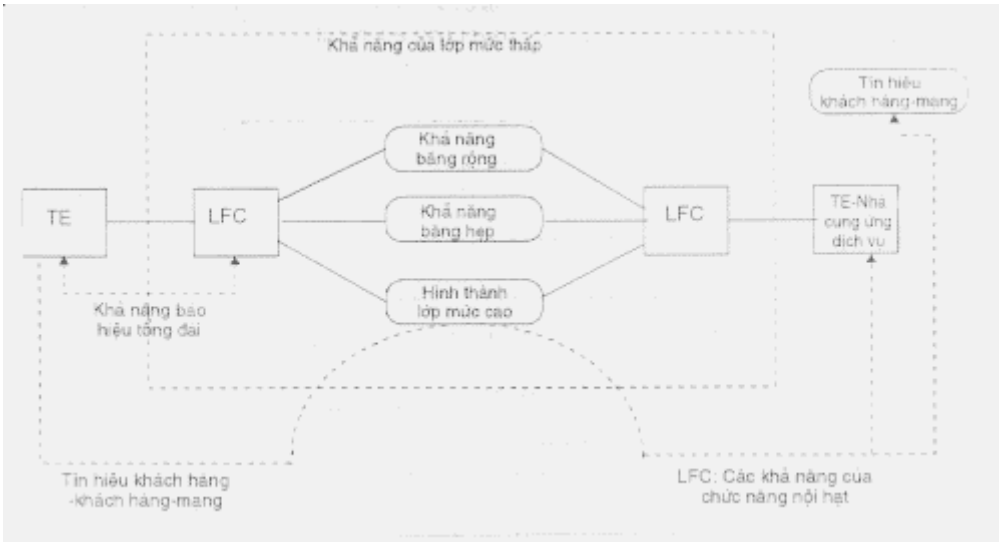
Hình 1.73 Cấu trúc của tế bào ATM

Đồng thời, đường ảo có nghĩa là một bó các kênh ảo cùng sử dụng chung các đường nào đó và mào đầu tế bào cũng được phân loại thành loại trường tin (PT) và chỉ thị thẩm quyền mất tế bào và cung cấp khả năng điều khiển sửa sai của mào đầu. Nó còn cung cấp thêm chức năng điều khiển luồng chung cho mào đầu tế bào trong giao diện UNI.

1.7.8. Cấu trúc chức năng của BISDN

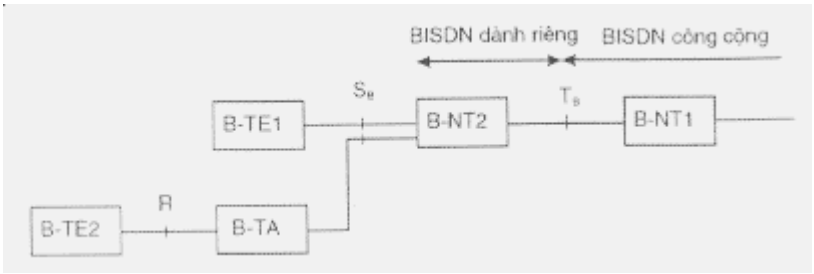
Mô hình cấu trúc chức năng chung của ISDN băng rộng về cơ bản giống như ISDN băng hẹp. Có nghĩa là về mặt cấu hình tiêu chuẩn, nhóm chức năng và điểm gốc, cả hai cấu trúc đó là như nhau. Nó chỉ ra rằng B-ISDN được hình thành trên cơ sở khái niệm của ISDN. Mô hình cấu trúc cơ bản của B-ISDN như được trình bày trong hình 1.74. Cấu trúc của ISDN băng rộng bao gồm khả năng mức cao và khả năng mức thấp.

Khả năng mức cao là chức năng liên quan đến thiết bị đầu cuối (TE) và khả năng mức thấp bao gồm khả năng ISDN băng hẹp dựa trên khả năng băng rộng, 64 bit/s, và khả năng báo hiệu liên tổng đài.



Hình 1.74. Mô hình cấu trúc cơ bản của B-ISDN

Cấu hình tiêu chuẩn của B-ISDN được trình bày trong hình 1.75

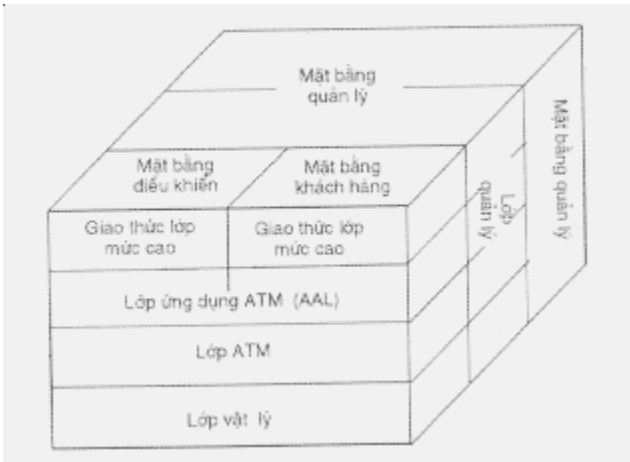


Hình 1.75. Cấu hình tiêu chuẩn của B-ISDN

Điểm gốc là Sb và Tb, nhóm chức năng bao gồm B-TE1, B-TE2 và B-TA, B-NT1, B-NT2. Trong hình 1.75, các thiết bị đầu cuối (B-TE) có chứa B-TE1, B-TE2 và B-TA. Cũng như vậy, B-NT2 và B-NT1 tương ứng nằm trong mạng B-IDN dành riêng và B-ISDN công cộng. Để chỉ thị điểm gốc và nhóm chức năng của mình, B có nghĩa là B-ISDN.

1.7.9. Mô hình chuẩn của giao thức

Mô hình chuẩn giao thức (PRM) của B-ISDN được hình thành từ mặt bằng quản lý, mặt bằng điều khiển, và mặt bằng khách hàng như được trình bày trong hình 1.76. Chức năng của mặt bằng quản lý được phân chia thành : quản lý mặt bằng và quản lý lớp.



Hình 1.76. Cấu hình chuẩn của B-ISDN

Quản lý mặt bằng trong mặt bằng quản lý của PRM của B-ISDN có nghĩa là quản lý tổng thể toàn hệ thống. Cũng như vậy, quản lý lớp hàm ý là quản lý nguồn tiềm năng và khách hàng luôn biến đổi, và quản lý thông tin OAM. Ngoài ra, trên mặt bằng điều khiển, thông tin điều khiển cuộc gọi và điều khiển kết nối sẽ được quản lý. Trên mặt bằng khách hàng, thông tin về khách hàng được giám sát. Các giao thức của mặt bằng điều khiển và mặt bằng khách hàng được phân loại thành lớp mức cao, lớp ứng dụng ATM (AAL), cùng lớp ATM và lớp vật lý. Chức năng của mỗi lớp như trong bảng 1.18.

Lớp	Lớp con	Chức năng
Lớp mức cao		Chức năng hội tụ
Lớp ứng dụng	Hội tụ	Chức năng hội tụ
	Phân đoạn và lắp ráp lại	Chức năng phân đoạn và chức năng lắp ráp lại
Lớp ATM AAL		Chức năng điều khiển dòng chung Chức năng tạo ra và huỷ bỏ mào đầu tế bào Chức năng thông dịch VPI/NCI của tế bào Chức năng ghép kênh và tách kênh cho tế bào
Lớp vật lý	Hội tụ truyền dẫn	Chức năng phân chia tốc độ tế bào Chức năng tạo ra và khẳngdđịnh tín hiệu HEC Chức năng nhận dạng tế bào Chức năng tạo ra và khôi phục dẫn
	Môi trường vật lý	Chức năng thông tin thời gian bit Chức năng liên quan đến môi trường vật lý

Bảng 1.18. Chức năng của mỗi lớp trong PRM của B-ISDN

Lớp AAL được hình thành từ lớp con hội tụ (CS), lớp con phân đoạn và lắp ráp lại (SAR). CS biến đổi thông tin dịch vụ khách hàng của lớp mức cao thành khối số liệu giao thức (PDU) và SAR tạo nên phần thông tin khách hàng của tế bào ATM bằng việc ngăn chặn PDU.

Lớp ATM điều khiển kết nối và dòng thông tin trong UNI bằng việc sử dụng đoạn GFC. Cũng như vậy, nó kết nối VPI/VCI với các điểm truy

nhập dịch vụ sau khi thông dịch và ghép kênh/tách kênh cho các tế bào. Bên cạnh đó, nó xử lý các đoạn PT hoặc CLP và thực hiện chức năng là tạo ra và huỷ bỏ mào đầu tế bào ATM.

Lớp vật lý bao gồm lớp con hội tụ truyền dẫn và lớp con môi trường vật lý. Chức năng của lớp con hội tụ truyền dẫn bao gồm việc phân chia tốc độ tế bào, tạo ra và xác nhận byte sửa sai đầu đề, phát hiện điểm biên giới tế bào. Ngoài ra, trong trường hợp phát theo phân cấp số đồng bộ nó thực hiện chức năng tạo ra và khẳng định khung truyền dẫn. Lớp con môi trường vật lý có nghĩa là bước truyền dẫn cuối cùng qua cáp sợi quang hoặc cáp đồng trục.

1.7.10. Giao diện khách hàng - mạng của B-ISDN

Cấu hình của giao diện khách hàng - mạng (UNI) của B-ISDN được trình bày trong hình 1.77, trong trường hợp chỉ thị nó bằng việc sử dụng các điểm chức năng Tb, Sb và R và các nhóm chức năng B-NT1, B-NT2, B-TE1, B-TE2, và B-TA. Trong hình này, các trường hợp (a), (b), (c), (d), (e), (f), (i), (j) có cấu hình giống như cấu hình trong ISDN. Cũng như vậy, các trường hợp (g), (h) chỉ cho thấy rằng B-NT có thể dung cấp các điểm gốc S và Sb một cách đồng thời.

Cấu hình vật lýcủa UNI để kết nối đã điểm được trình bày trong hình 1.78. Trong hình này, (a) chỉ thị cấu hình chung của loại tập trung hoá, còn (b) chỉ thị cấu hình chung của loại phân bố. Cũng như vậy, (c), (d), (e) chỉ thị lần lượt cấu trúc bus hình sao, cấu trúc bus và cấu trúc vòng của loại phân bố. MA trong hình này là bộ phối hợp phương tiện, còn W chỉ ra điểm kết nối giữa các MA với nhau. Ngoài ra, TE* chỉ thị TE tạo ra cấu trúc kiểu bus và SSB chỉ thị điểm kết nối giữa các TE* này. MA là thiết bị và B là điểm gốc đều thuộc loại phi tiêu chuẩn. B-NT1 thực hiện chức năng của lớp 1, chẳng hạn như điểm cuối đường dây truyền dẫn, xử lý phối ghép truyền dẫn, vận hành và bảo dưỡng. B-NT2 thực hiện chức năng của lớp 1 và lớp có mức cao và nó có thể được cấu hình theo phương pháp tập trung hoặc phương pháp phân bố. Các chức năng liên quan đến B-NT2 là bộ phối hợp phương tiện (MA), tìm kiếm biên giới tế bào, tập trung hoá, nhớ đệm. ghép kênh, tách kênh, gán nguồn, xử lý phối ghép chức năng AAL về báo hiệu, xử lý giao thức báo hiệu và chuyển mạch kết nối bên trong. B-TE thực hiện truyền thông giữa khách hàng - với - khách hàng và giữa khách hàng - với - máy, kết cuối phối ghép, xử lý giao thức báo hiệu, xử lý nối kết trên các thiết bị khác, trên lớp 1 và lớp có mức cao hơn, kể cả OAM.

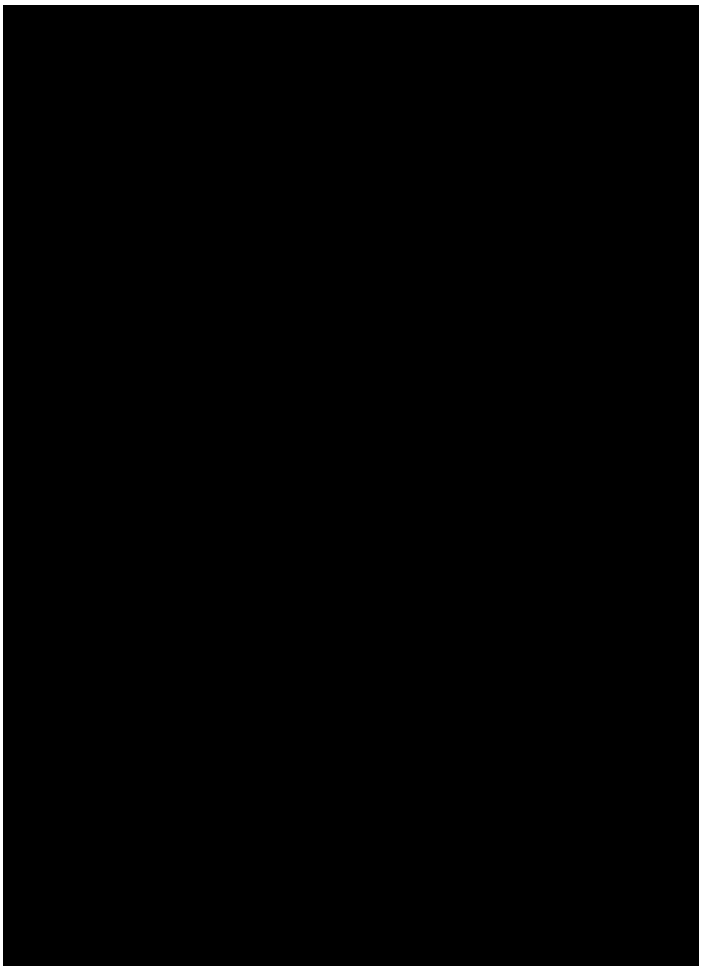
(a), (b) Trường hợp giao diện vật lý là Sb, và Tb

(c), (d) Trường hợp giao diện vật lý là Sb

(e), (f) Trường hợp giao diện vật lý là Tb

(g), (h) Trường hợp S, Sb, Tb là đồng tồn tại

(i), (j) Trường hợp Sb, và Tb là đồng nhất



Hình 1.77. Cấu hình vật lý cơ bản của UNI

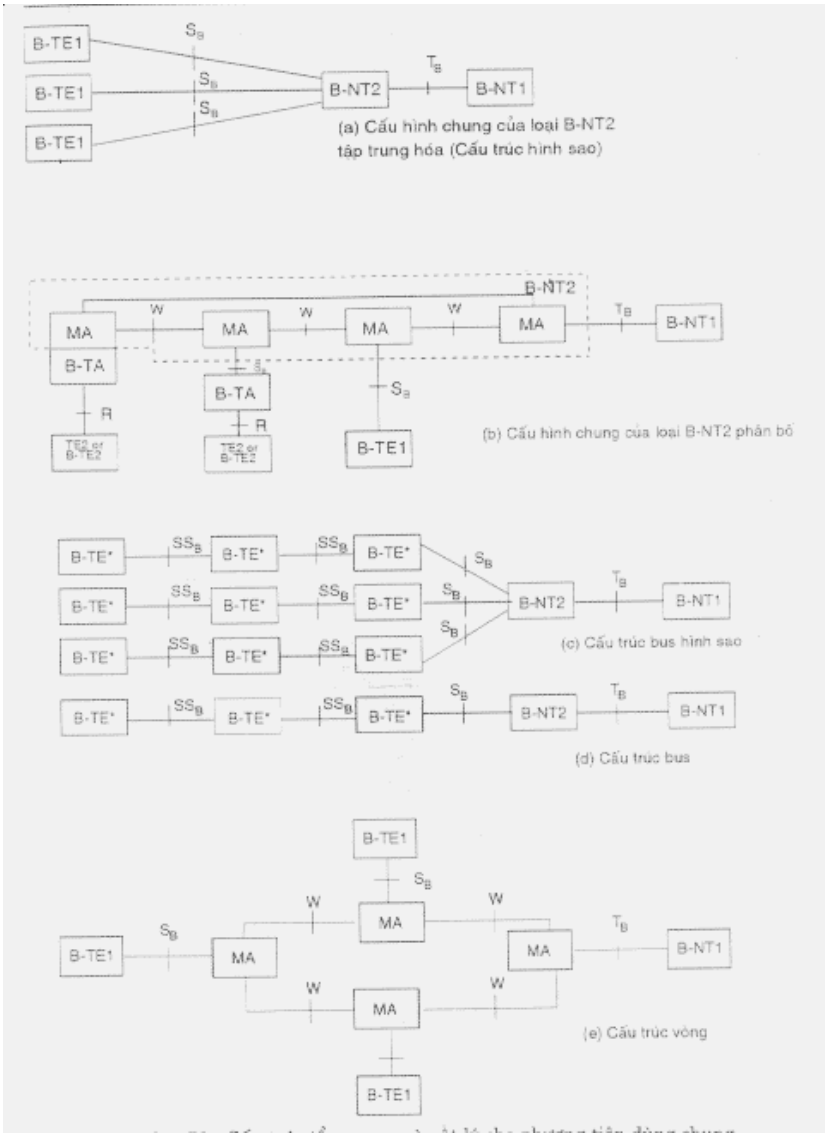
(a) Cấu hình chung của loại B-NT2 tập trung hoá (Cấu trúc hình sao)

(b) Cấu hình chung của loại B-NT2 phân bố

(c) Cấu trúc bus hình sao

(d) Cấu trúc bus

(e) Cấu trúc vòng



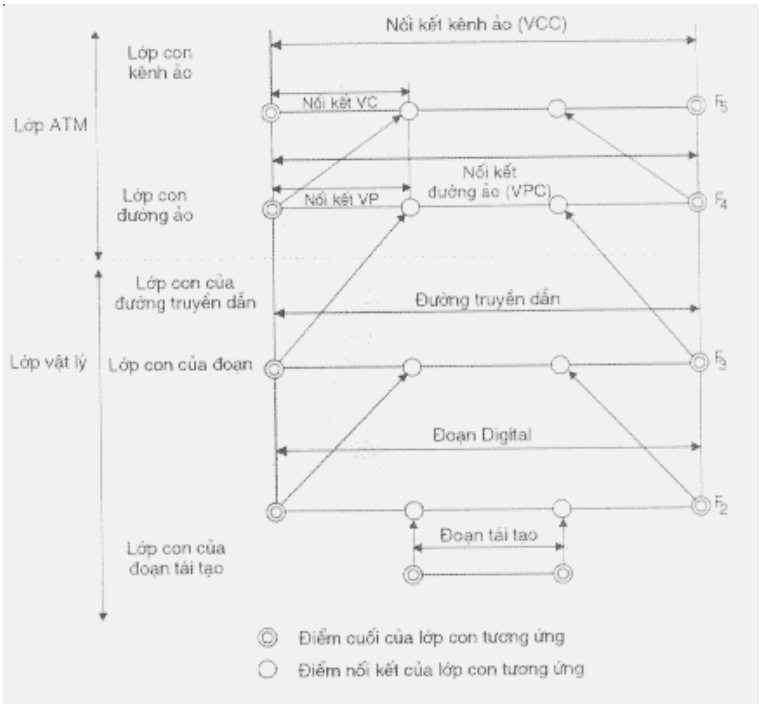
Hình 1.78. Cấu trúc tổng quan và vật lý cho phương tiện dùng chung.

1.7.11 Giao diện mạng của B-ISDN

Nếu cân nhắc rằng BISDN là mạng chuyển tải của ATM, thì có thể đưa ra khái niệm phân lớp của mạng. Có nghĩa là, mạng chuyển tải được phân lớp thành mạng lớp ATM và mạng lớp vật lý. Mạng lớp ATM lại được chia nhỏ thành lớp con của kênh ảo và lớp con của đường ảo.

Điểm cuối của lớp con tương ứng

Điểm nối kết của lớp con tương ứng



Hình 1.79. Mối quan hệ giữa các mạng phân lớp của B-ISDN

Cũng như vậy, mạng của lớp vật lý được chia nhỏ thành lớp con của đường truyền dẫn, lớp con của đoạn digital và lớp con của đoạn tái tạo. Khái niệm các mạng phân lớp này đều được áp dụng trong trường hợp mạng dựa trên tế bào hoặc mạng dựa trên SDH. Mối quan hệ giữa các lớp mạng của B-ISDN được trình bày trên hình 1.79. Trong lớp con của kênh ảo có cung cấp kết nối kênh ảo (VCC - Virtual Channel Connection) để chuyển giao thông tin giữa khách hàng - khách hàng giữa khách hàng - mạng và giữa mạng - mạng. Do vậy VCC được thiết lập giữa các điểm chuẩn Tb hoặc Sb và các tế bào liên quan đến cùng một kết nối VCC sẽ được chuyển giao qua cùng một kênh.

Trong lớp con của đường ảo có cung cấp nối kết đường ảo (VPC - Virtual Path Connection) để chuyển giao thông tin giữa khách hàng - khách hàng, giữa khách hàng - mạng và giữa mạng - mạng. Do vậy, VPC được cấu hình nhờ kết nối liên tục của các kênh kết nối VP, còn VPC, giữa khách hàng - khách hàng được thiết lập giữa các điểm chuẩn Tb hoặc Sb. Ngoài ra, các tế bào liên quan đến cùng một VPC sẽ được chuyển giao trên cùng một đường.

Mạng của lớp vật lý là một mạng truyền dẫn đồng bộ, được kết hợp với mạng của lớp phương tiện truyền dẫn: có nghĩa là lớp con của đường truyền dẫn chính là đường VC-4 trong trường hợp phân lớp dựa trên SDH; lớp con của đoạn digital và lớp con của đoạn tái tạo tương ứng là đoạn ghép kênh và đoạn tái tạo.

2. THÔNG TIN VÔ TUYẾN

2.1 NỀN TẢNG CỦA THÔNG TIN VÔ TUYẾN

Thông tin vô tuyến sử dụng khoảng không gian làm môi trường truyền dẫn. Phương pháp thông tin là: phía phát bức xạ các tín hiệu thông tin bằng sóng điện từ, phía thu nhận sóng điện từ phía phát qua không gian và tách lấy tín hiệu gốc. Về lịch sử của thông tin vô tuyến, vào đầu thế kỷ này Marconi thành công trong việc liên lạc vô tuyến qua Đại Tây dương, Kenelly và Heaviside phát hiện một yếu tố là tầng điện ly hiện diện ở tầng phía trên của khí quyển có thể dùng làm vật phản xạ sóng điện từ. Những yếu tố đó đã mở ra một kỷ nguyên thông tin vô tuyến cao tần đại quy mô. Gần 40 năm sau Marconi, thông tin vô tuyến cao tần là phương thức thông tin vô tuyến duy nhất sử dụng phản xạ của tầng đối lưu, nhưng nó hầu như không đáp ứng nổi nhu cầu thông tin ngày càng gia tăng.

Chiến tranh Thế giới lần thứ hai là một bước ngoặt trong thông tin vô tuyến. Thông tin tầm nhìn thẳng - lĩnh vực thông tin sử dụng băng tần số cực cao (VHF) và đã được nghiên cứu liên tục sau chiến tranh thế giới - đã trở thành hiện thực nhờ sự phát triển các linh kiện điện tử dùng cho HF và UHF, chủ yếu là để phát triển ngành Rađa. Với sự gia tăng không ngừng của lưu lượng truyền thông, tần số của thông tin vô tuyến đã vươn tới các băng tần siêu cao (SHF) và cực cao (EHF). Vào những năm 1960, phương pháp chuyển tiếp qua vệ tinh đã được thực hiện và phương pháp chuyển tiếp bằng tán xạ qua tầng đối lưu của khí quyển đã xuất hiện. Do những đặc tính ưu việt của mình, chẳng hạn như dung lượng lớn, phạm vi thu rộng, hiệu quả kinh tế cao, thông tin vô tuyến được sử dụng rất rộng rãi trong phát thanh truyền hình quảng bá, vô tuyến đạo hàng, hàng không, quân sự, quan sát khí tượng, liên lạc sóng ngắn nghiệp dư, thông tin vệ tinh - vũ trụ v.v... Tuy nhiên, can nhiễu với lĩnh vực thông tin khác là điều không tránh khỏi, bởi vì thông tin vô tuyến sử dụng chung phần không gian làm môi trường truyền dẫn.

Để đối phó với vấn đề này, một loạt các cuộc Hội nghị vô tuyến Quốc tế đã được tổ chức từ năm 1906. Tần số vô tuyến hiện nay đã được ấn định theo "Quy chế thông tin vô tuyến (RR) tại Hội nghị ITU ở Geneva năm 1959. Sau đó lần lượt là Hội nghị về phân bố lại dải tần số sóng ngắn để sử dụng vào năm 1967, Hội nghị về bổ sung quy chế tần số vô tuyến cho thông tin vũ trụ vào năm 1971, và Hội nghị về phân bố lại tần số vô tuyến của thông tin di động hàng hải cho mục đích kinh doanh vào năm 1974. Tại Hội nghị của ITU năm 1979, dải tần số vô tuyến phân bố đã được mở

rộng tới 9kHz - 400 Ghz và đã xem xét lại và bổ sung cho Quy chế thông tin vô tuyến điện (RR). Để giảm bớt can nhiều của thông tin vô tuyến, ITU tiếp tục nghiên cứu những vấn đề sau đây để bổ sung vào sự sắp xếp chính xác khoảng cách giữa các sóng mang trong Quy chế thông tin vô tuyến:

- Dùng cách che chắn thích hợp trong khi lựa chọn trạm.

- Cải thiện hướng tính của anten

- Nhận dạng bằng sóng phân cực chéo.

- Tăng cường độ ghép kênh.

- Chấp nhận sử dụng phương pháp điều chế chống lại can nhiễu.

2.2 CÁC ĐẶC TÍNH CỦA SÓNG VÔ TUYẾN

Tần số sử dụng cho sóng điện từ như vai trò sóng mạng trong thông tin vô tuyến được gọi riêng là "tần số vô tuyến" (RF). Tần số này chiếm một dải rất rộng từ VLF (tần số cực thấp) tới sóng milimét. Không thể lý giải đầy đủ sóng vô tuyến theo lý thuyết, bởi vì nó không chỉ bị ảnh hưởng bởi tầng đối lưu và tầng điện ly mà còn bởi các thiên thể, kể cả mặt trời.

Do vậy, việc đánh giá các trạng thái của các hành tinh, của tầng đối lưu và điện ly và việc dự báo đường truyền sóng vô tuyến cũng như khả năng liên lạc dựa trên nhiều dữ liệu trong quá khứ là hết sức quan trọng. Phần sau đây của chương trình này sẽ giúp bạn đọc hiểu được cơ chế truyền sóng vô tuyến theo tần số thông tin vô tuyến cùng những vấn đề khác, liên quan đến sóng vô tuyến.

2.2.1 Phân loại tần số vô tuyến

Trong thông tin vô tuyến, cơ chế truyền sóng vô tuyến và việc sử dụng thiết bị truyền thông phụ thuộc vào tần số vô tuyến sử dụng. Bảng 2.1 trình bày băng tần số vô tuyến được phân loại theo tiêu chuẩn quốc tế hiện hành và theo cơ chế và phương thức sử dụng sóng vô tuyến.

Bảng 2.1. Phân loại, cơ chế và sử dụng sóng vô tuyến

Tần số	Phân loại băng tần	Cơ chế truyền sóng vô tuyến	Cự ly thông tin và lĩnh vực sử dụng
3KHz~30 KHz	VLF	Sóng đất-điện ly	Thông tin đạo hàng quân sự khắp thế giới

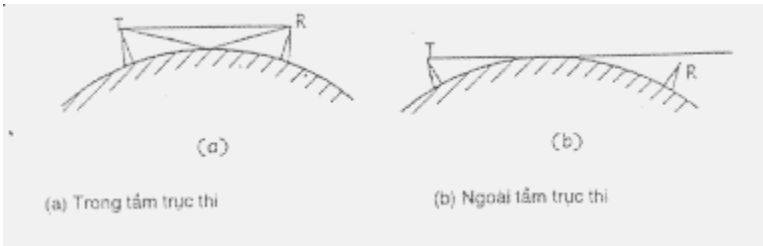
30KHz~300KHz	LF	Sóng đất	1500Km đạo hàng vô tuyến
300KHz~3MHz	MF	Sóng đất (Cự ly ngắn) Sóng trời (Cự ly dài)	Phát thanh cố định Hàng không, đạo hàng, liên lạc nghiệp dư
3MHz~30MHz	HF	Sóng trời	3~6MHz : Thông tin liên tục địa 6~30Mhz : Thông tin di động Thông tin kinh doanh và nghiệp dư, dân sự quốc tế
30MHz~300MHz	VHF	Sóng trời Sóng đối lưu	Thông tin trực thi, VHF, FM Đa thông tin
300MHz~3GHz	UHF	Sóng trời Sóng đối lưu	Rađar, đa thông tin Thông tin di động
3GHz~30GHz	SHF, Viba	Sóng trời	Thông tin vệ tinh, thông tin cố định, Rađar
30GHz~300GH	EHF, Milimeter	Sóng trời	Thông tin cho tương lai

2.2.2 Đường truyền lan sóng vô tuyến

Sóng vô tuyến không truyền lan theo dạng lý tưởng khi chúng ở trong không gian do ảnh hưởng của mặt đất và tầng đối lưu. Hình 2.1 mô tả đường truyền sóng giữa các đầu phát T và đầu thu R và chỉ cho thấy còn có sóng phản xạ từ bề mặt đất để đạt tới trạm thu, ngoài sóng trực tiếp theo đường thẳng.

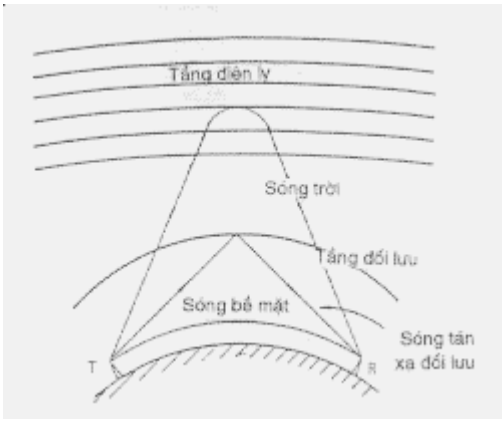
(a) Trong tầm trực thi

(b) Ngoài tầm trực thi



Hình 2.1. Đường đi của Sóng vô tuyến

Khi khoảng cách giữa trạm phát và trạm thu xa nhau hơn, thông tin bằng sóng đi thẳng trở nên không thể được do độ cong của bề mặt trái đất như trình bày trong hình 2.1(b) nhưng vẫn có thể có sóng vô tuyến truyền lan xuống mặt đất do có sóng bề mặt và sóng trời, nhờ hiện tượng khúc xạ (hình 2.2). Nói chung, sóng bề mặt, sóng trực tiếp và sóng phản xạ, trừ sóng trời, đều được gọi là sóng đất. Sóng trời là sóng điện từ bị thay đổi hành trình của mình tại tầng điện ly và quay trở về trái đất; tầng điện ly là nơi hội tụ của vô số điện tích, định hình tại độ cao 100-400Km. Ngoài sóng bề mặt và sóng trời còn có sóng tán xạ - đó là phản xạ do những sự biến đổi mãnh liệt của tầng đối lưu và điện ly hoặc do sóng điện từ va chạm với các vật chất, chẳng hạn như các sao băng, và bị tán xạ để rồi đạt tới đầu thu. Sóng tán xạ được sử dụng trong phương pháp chuyển tiếp qua tán xạ đối lưu.



Hình 2.2. Hành trình của sóng vô tuyến đi qua đường chân trời

1. Sự lan truyền của băng tần số thấp

Sự lan truyền của băng tần số thấp là nhờ vào sóng đất. Nó được thực hiện nhờ nhiễu xạ sóng điện từ. Do độ nhiễu xạ tỷ lệ nghịch với bước sóng cho nên tần số sử dụng càng cao, sóng đất càng yếu (để truyền lan tần số thấp). Hiện tượng nhiễu xạ có mối tương quan chặt chẽ với độ dẫn điện và hằng số điện môi của đất trong đường lan truyền. Vì cự ly truyền sóng trên mặt biển dài hơn so với mặt đất cho nên tần số thấp được sử dụng rộng rãi trong thông tin vô tuyến đạo hàng. Trong trường hợp tần số cực thấp, bước sóng lớn hơn nhiều so với chiều cao từ bề mặt trái đất lên tới tầng điện ly. Cho nên, mặt đất và tầng điện ly đóng vai trò như hai bức

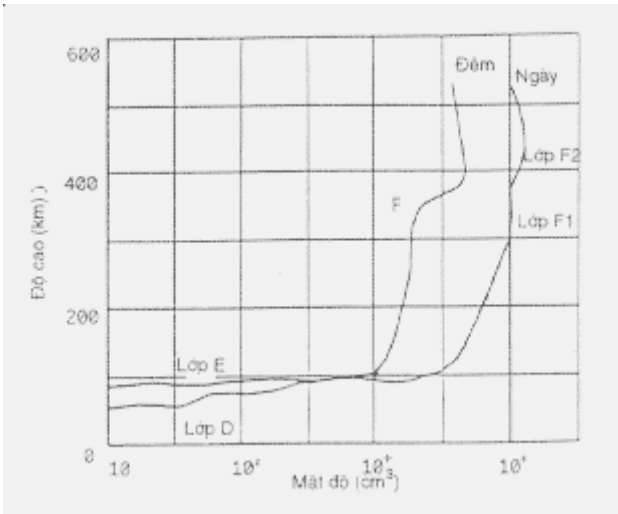
tường. Nó được gọi là chế độ ống dẫn sóng mặt đất - điện ly mà nhờ nó, có thể thông tin tới toàn thế giới. Băng tần số cực thấp được sử dụng chủ yếu cho thông tin hàng hải và thông tin đạo hàng.

2. Sự truyền lan của băng tần số cao

Thông tin cự ly xa bằng băng tần số cao được thực hiện nhờ sự phản xạ của sóng trời trên tầng điện ly. Trong phương thức thông tin này, mật độ thu sóng trời phụ thuộc vào tần số vô tuyến và trạng thái của tầng điện ly, trạng thái này thay đổi theo thời gian, theo ngày, theo mùa và theo điều kiện thời tiết. Cho nên việc dự báo trạng thái của tầng điện ly là vô cùng quan trọng đối với thông tin liên lạc sử dụng sóng trời.

(1) Tầng điện ly

Tầng điện ly hình thành tại độ cao 100Km - 400Km là do kết quả của việc ion hoá trạng thái của tầng đối lưu bằng các tia cực tím và tia X do mặt trời bức xạ. Tầng điện ly được phân chia thành một vài lớp có giá trị mật độ điện tử cực đại. Mỗi tầng được phân chia thành các lớp D, E, F theo độ cao của nó. Lớp F lại được phân chia thành lớp F1, F2. Hình 2.3 trình bày mật độ tính theo độ cao của các lớp ion điển hình.



Hình 2.3. Mật độ điện tử /ion của tầng điện ly - theo độ cao

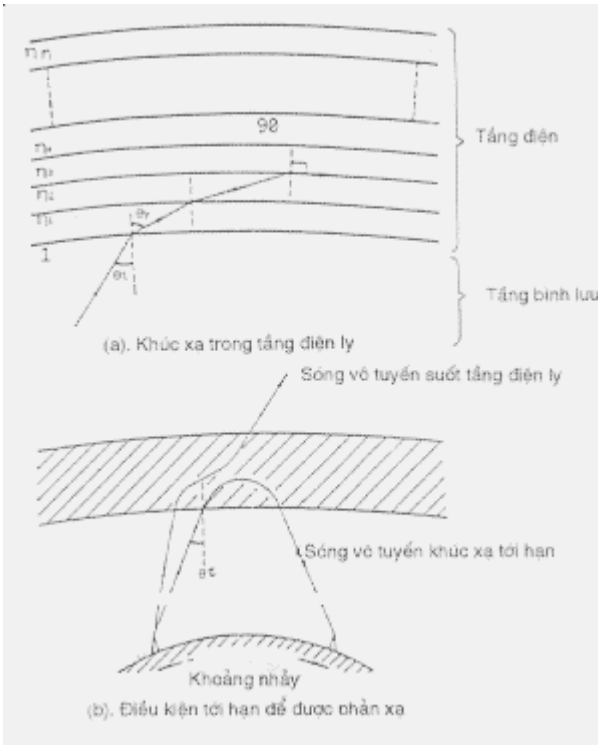
(2) Truyền sóng trong lớp Ion

Trong khi tầng điện ly có thể xem như một tấm dẫn điện phẳng trong việc truyền lan các tần số thấp thì lớp ion hoá giống như một tấm điện môi khổng lồ mà hệ số khúc xạ của nó biến đổi liên tục, vì sự biến đổi của mật độ ion theo bước sóng là không đáng kể trong băng tần số cao (bước sóng ngắn hơn). Hệ số khúc xạ hiệu dụng được xác định như sau:

Trong công thức này, N biểu thị cho số lượng ion trong trạng thái các điện tử tự do hoặc plasma, trên m3. Hình 2.4 trình bày đường đi của sóng

vô tuyến trong tầng điện ly. Góc tới q i đi được xác định theo công thức sau:

Trong chiều tới thẳng đứng (q i = 0), nếu giá trị cực đại của mật độ điện tử trong tầng điện ly là Nm, thì tần số cực đại phản xạ tại điểm này là q Nm, gọi là tần số cực trị cho tầng điện ly này.



Hình 2.4.- Cơ chế phản xạ của tầng điện ly

Nếu tần số cực trị cho biết trước thì tần số lớn nhất được phản xạ đối với góc kích thích có thể được quyết định. Tần số này gọi là Tần số khả dụng Cực đại (MUF) và được biểu thị bằng MUF = f.sec q i . Hành trình vô tuyến của MUF là khoảng cách tối đa mà sóng trời có thể đạt tới và được gọi là khoảng nhảy. Vùng mà cả sóng trực tiếp lẫn sóng không gian đều không đạt tới được gọi là vùng nhảy. Khi sóng vô tuyến đi xuyên qua tầng điện ly thì nó sẽ bị suy giảm vì va chạm với các phân tử. Điều này chủ yếu xảy ra ở lớp D có mật độ điện tử cao hơn so với trong lớp E và F. Độ suy hao tỷ lệ thuận với 1/f2, do vậy , về mặt chất lượng thông tin, điều đáng mong muốn là chọn được tần số cao nhất để được sử dụng như sóng không gian.

Bằng việc nghiên cứu sự biến đổi của MUF theo ngày và theo thời gian, người ta thường sử dụng tần số thấp hơn khoảng 15% so với giá trị dự kiến trung bình của MUF trong thông tin bằng sóng trời. Tần số thấp hơn này được gọi là tần số làm việc tối ưu (OWF). OWF thấp hơn MUF trong khoảng 90% tỷ lệ chiếm thời gian.

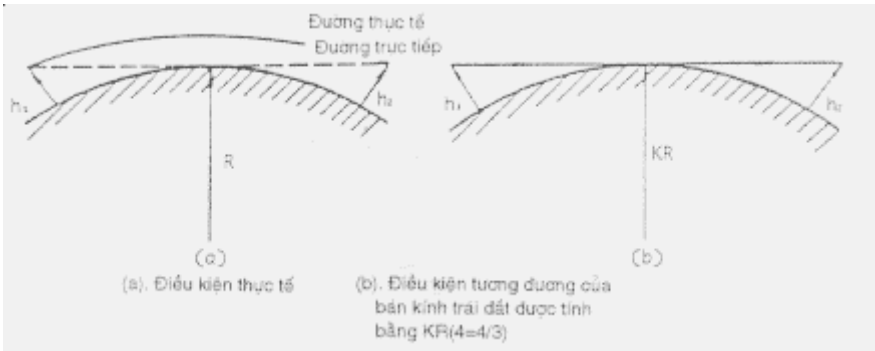
3) Truyền sóng của VHF và UHF.

Trừ một vài trường hợp đặc biệt, giới hạn trên mà sóng không gian truyền lan được là 30 MHz . Sóng không gian được sử dụng cho các tín hiệu lớn hơn VHF. Sự thay đổi hệ số khúc xạ theo độ cao của khí quyển gây ảnh hưởng đến sóng không gian. Khí quyển tiêu chuẩn là một khí quyển lý tưởng có một tỷ lệ biến đổi hệ số khúc xạ theo độ cao một cách đều đặn, bởi vì nó có một hệ số thay đổi cố định của áp suất khí quyển theo độ cao, nhiệt độ và độ ẩm. ITU-R quy định chỉ số khúc xạ của khí quyển tiêu chuẩn theo độ cao h Km như sau:

Vì có sự biến đổi hệ số khúc xạ một cách liên tục, cho nên đường đi thực tế của sóng không gian là khác với đường trực tiếp (thẳng). Để bù lại sự khác nhau này, cự ly thông tin cực đại thực tế được tính toán theo đường trực tiếp dựa trên quy định bán kính hiệu quả của trái đất KR (K=4/3 trong khí quyển tiêu chuẩn) (tham khảo Hình 2.5).

a) Điều kiện thực tế

b) Điều kiện tương đương của bán kính trái đất được tính bằng KR (4=4/3)



Hình 2.5. Khúc xạ của sóng vô tuyến trong khí quyển tiêu chuẩn

4) Sóng tán xạ đối lưu.

Việc lan truyền cuả sóng vô tuyến nhờ hiệu ứng tán xạ đối lưu của khu vực khí quyển rộng lớn trong tầng đối lưu được dùng cho băng tần trên VHF. Phương pháp này cho phép thông tin liên lạc cự ly xa ở các băng tần VHF, UHF, và SHF và phụ thuộc rất nhiều vào thông tin trực thi trước đây. Phương pháp này có nhiều ưu điểm của thông tin băng rộng và ghép kênh cũng như thông tin đồng thời cho một khu vực rộng. Mặt khác nó cũng đòi hỏi công suất phát lớn và máy thu có độ nhậy cao.

2.5. HỆ THỐNG THÔNG TIN DI ĐỘNG

Gần đây, thông tin di động đã trở thành một ứng dụng trong lĩnh vực thông tin vô tuyến. Sự phát triển của thông tin di động được bắt đầu bằng

phát minh thí nghiệm về sóng điện tử của Hertz và điện báo vô tuyến của Marconi và vào thời kỳ đầu của phát minh thông tin vô tuyến, nó được sử dụng trong dịch vụ vận tải an toàn đường biển để điều khiển các tàu. Đối với thông tin vô tuyến mặt đất, sau chiến tranh thế giới thứ nhất, hệ thống điện thoại vô tuyến di động đã được lắp đặt và khai thác trong ngành cảnh sát của Mỹ. Trong dịch vụ thông tin di động hàng không - một hệ thống được khai thác ở các dải thông HF và VHF đã được thiết lập để kiểm soát bay. Hiện nay, hệ thống điện thoại xe cộ tự động và hệ thống điện thoại di động tàu bè đã được thiết lập để sử dụng trong thực tế. Người ta sử dụng chuông bỏ túi, điện thoại không đầy, dải băng nghiệp dư các nhân (CB_máy bộ đàm... và các dịch vụ thông tin vô tuyến di động khác nhau chẳng hạn như dịch vụ vệ tinh hàng hải, điện thoại trên tàu hoả máy bay đang được cung cấp. Tần số sử dụng lên đến VHF và UHF và trong tương lai không xa tần số cận vi ba (quasi microwave) (1-2 GHz) cũng sẽ được sử dụng. Trong mục này, chúng ta sẽ xem xét các dịch vụ thông tin di động khác nhau, sự phát triển của chúng trong tương lai, đặc biệt, thông tin di động mặt đất sẽ được đề cập đến một cách tỉ mỉ hơn.

2.5.1 Các loại và các đặc tính của thông tin di động mặt đất.

1/ Thông tin di động mặt đất.

Thông tin di động mặt đất thường được phân nhóm thành hệ thống công cộng và dùng riêng... Hệ thống công cộng có nghĩa là hệ thống thông tin có thể truy nhập tới mạng điện thoại chuyển mạch công cộng (PPTN) - có điện thoại xe cộ, điện thoại không dập, chuông bỏ túi... Trong hệ thống dùng riêng cả 2 loại hệ thống. Hệ thống thứ nhất là hệ thống dịch vụ công cộng chẳng hạn như cảnh sát, cứu hoả, cấp cứu, điện lực và giao thông. Hệ thống thứ hai là dùng cho các cá nhân hay các công ty. ở đây, ngoài dịch vụ kinh doanh sử dụng sóng vô tuyến dành riêng, còn có hệ thống MCA hệ thống kinh tế trung nhập đa kênh, sử dụng các kênh vô tuyến trong thông tin vô tuyến nội bộ công ty và cá nhân chẳng hạn như máy bộ đàm và vô tuyến nghiệp dư. Ngoài những dịch vụ kể trên còn có các dịch vụ thông tin di động mặt đất khác mới xuất hiện như chuông bỏ túi có màn hiện hình, đầu cuối xa... Các đặc tính của thông tin di động được trình bày trong bảng 2.2.

Bảng 2.2 Các đặc tính của các dịch vụ thông tin di động mặt đất.

	Hệ thống công cộng			Hệ thống dành riêng				
	Âm thanh		Dữ liệu	Âm thanh				Dữ liệu
	Điện thoại xe cộ	Điện thoại	Chuông không dây	Doanh nghiệp	Vô tuyến tư nhân	MCA	Cá nhân	Đầu (truy nhập đa kênh)
Các dạng thông tin	Song công	Song công	Thông tin đơn hướng	Đơn công	Đơn công	Đơn công	Đơn công	Song công
Loại di động	Trang bị trên xe cộ	Bán cố định	Xách tay	Trang bị trên xe	Trang bị trên xe, xách tay	Trang bị trên xe	Trang bị trên xe,xách tay	Xách tay
Vùng di động	Hạn chế thành phố ngoại ô	Toàn quốc	Hạn hẹp	Toàn quốc	Toàn quốc	Hạn hẹp	Toàn quốc	Hạn hẹp (trong T.phố)
Vùng phục vụ của 1 điểm	5~10 Km	20 m	10~15 km	5~10km	0,5~1 km	20~30 km	5~10 km	250~500m
Người sử dụng	Phổ thông (chủ yếu cho bộ phận quản lý của chính phủ và công ty)	Phổ thông	Phổ thông (chủ yếu cho bộ phận quản lý, bác sĩ, cảnh sát)	Công ty	Phổ thông	Công ty	Phổ thông	Công ty
Những trở ngại trong xuyên âm	Nhỏ	Nhỏ	Nhỏ	Bình thường	Nghiêm trọng	Nhỏ	Bình thường	Nhỏ
Các dạng dịch vụ	Không dùng tay, điện thoại cầm tay cho hành khách, điện thoại xe cộ	Điện thoại cầm tay	Tự động truy nhập băng rộng					

2/ Thông tin di động hàng hải

Thông tin di động hàng hải được phân thành hệ thống thông tin tàu thuyền giữa trạm gốc ở cảng và tàu đi dọc theo bờ biển và hệ thống thông tin vệ tinh hàng hải đến với các tàu ngoài khơi xa.

Thông tin điện thoại tàu thuyền được phát triển từ điện báo vô tuyến sử dụng bằng sóng ngắn trung bình, còn hệ thống điện thoại tàu bè thực sự, sử dụng băng tần VHF là hệ thống điện thoại tàu bè của Great Lakes ở Mỹ năm 1952. ở Châu Âu, kênh thông tin hai hướng mở rộng được phát

triển theo các kiểu của Mỹ. Các nước ở vùng biển Bắc bắt đầu khai thác hệ thống này năm 1956, nhưng hệ thống này thuộc kiểu truy nhập khai thác nhân công với băng tần 150 MHz.

Sau đó, ITU-R đã khuyến nghị kiểu truy nhập tự động và bây giờ hệ thống 450 MHz NMT được khai thác ở phía Bắc và kiểu tự động băng tần 250 MHz được sử dụng ở Nhật.

Trong thời kỳ đầu của thông tin vệ tinh hàng hải, hệ thống MARISATA được khai thác như là một hệ thống nội bộ công ty và theo đó INMARSAT được thiết lập và khai thác vào năm 1979 và rất nhiều dịch vụ như điện thoại, telex, dữ liệu, và cứu hộ hàng hải đã được cung cấp.

Hệ thống giải pháp tổng thể GMDSS (Hệ thống cứu nạn và an toàn hàng hải toàn cầu đang được phát triển và sẽ được sử dụng.

3/ Thông tin di động hàng không.

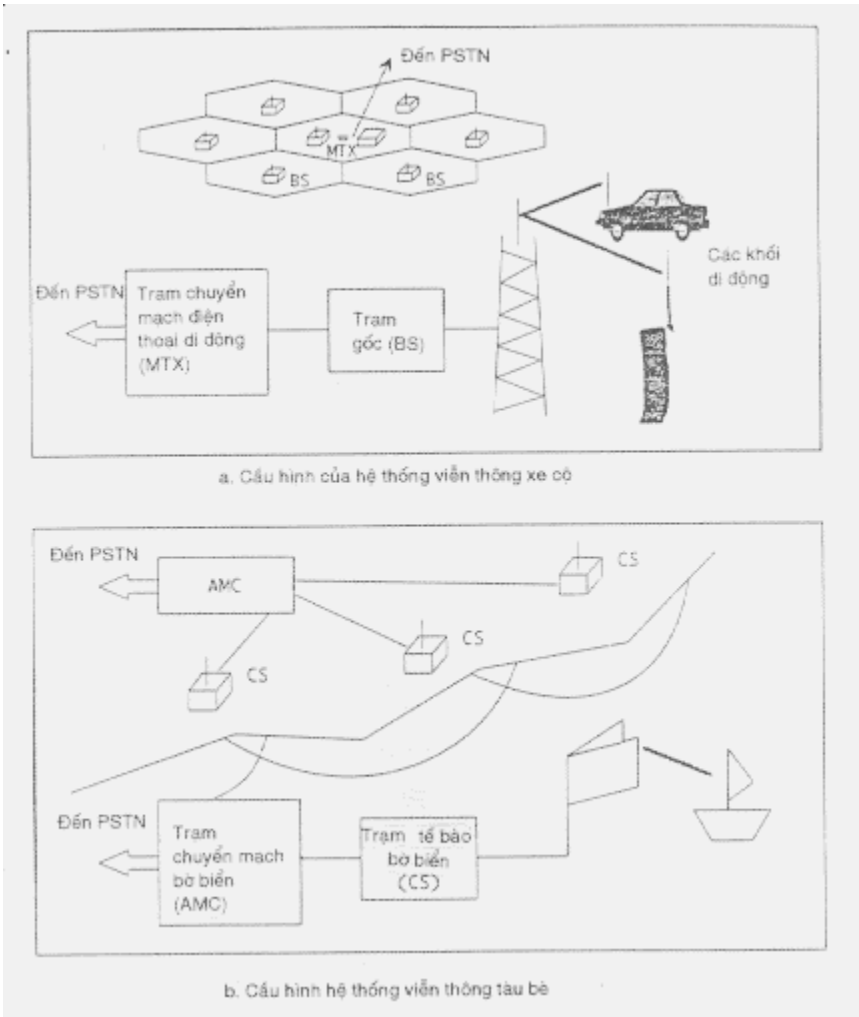
Trong thông tin di động hàng không có dịch vụ điện thoại vô tuyến sân bay để kiểm soát bay và hệ thống điện thoại công cộng hàng không cho hành khách. Dịch vụ điện thoại công cộng hàng không kiểu thông tin trực tiếp giữa đài mặt đất và máy bay - được sử dụng một phần ở Mỹ, Nhật và một số nước khác. Các kiểu chủ yếu của nó là ARINC và Airfone - là những kiểu được phát triển ở Mỹ. Băng tần là 800 - 900 MHz - dùng chung với băng tần của thông tin di động mặt đất. Điều chế ở đây là SSB. Về truy nhập cuộc gọi, loại thứ nhất là chuyển vùng thông tin và loại sau là kiểu vùng thông tin phụ thuộc.

Theo sự phát triển của kỹ thuật thông tin vệ tinh di động hàng không đang được xúc tiến một cách tích cực việc sử dụng dịch vụ điện thoại công cộng hàng không thực sự sẽ được mở rộng cho các đường bay quốc tế sau những năm 1990.

2.5.2 Cấu hình của hệ thống thong tin di động

Cấu hình của hệ thống thông tin di động có thể khác nhau tuỳ theo các dạng dịch vụ và thường bao gồm tổng đài chuyển mạch điện thoại di động, trạm gốc di động và các đầu cuối điện thoại vô tuyến. Các mạng cơ bản tiêu biểu của các hệ thống điện thoại xe cộ và tàu bè được mô tả trong hình 2.32.

Trong đó, vùng bao phủ của một trạm gốc là một vùng thì nhiều vùng tạo nên một trạm chuyển mạch và biên giới vào một trạm chuyển mạch có thể xử lý sẽ là một vùng lưu lượng... Toàn bộ vùng phục vụ được hình thành bởi vùng lưu lượng này.



Hình 2.32 Cấu hình của hệ thống viễn thông xe cộ và tàu bè

1/ Trạm chuyển mạch viễn thông.

Trạm chuyển mạch liên kết mạng thông tin di động với PSTN và hệ thống chuyển mạch ở trạm chuyển mạch là dạng tự động và điều khiển theo chương trình lưu trữ. Các chức năng chính của nó là đấu nối các thuê bao di động với nhau và với các thuê bao của PSTN. Vì vậy MTX cần phải có các chức năng khác với hệ thống chuyển mạch PSTN, chẳng hạn như chuyển vùng tìm kiếm vị trí và đăng ký.

Chuyển vùng nghĩa là trong quá trình cuối gọi, nếu máy di động di chuyển khỏi vùng phục vụ của một khu vực cụ thể thì hệ thống sẽ chuyển cuộc gọi này sang một kênh tần số mới ở một khu vực tế bào mới mà không làm gián đoạn cuộc gọi. Điều này được thực hiện bằng một hệ thống tính toán phức tạp, một hệ thống nhạy cảm và điều khiển chính xác. Phương pháp chung ở đây là bằng việc giám sát chất lượng tín hiệu (mức) của từng kênh thu được từ các trạm gốc khác, khi chất lượng tín hiệu bắt đầu giảm dưới mức quy định thì khu vực tế bào hiện tại sẽ chuyển tín hiệu báo động cho trạm chuyển mạch sau đó trạm chuyển mạch sẽ yêu

cầu đo chất lượng tín hiệu của kênh đi tới trạm góc biên cạnh để xác định xem vùng nào xử lý cuộc gọi và sau đó dựa vào kết quả này chọn ra vùng tối ưu. Việc đăng ký đơn vị là khi thuê bao di động dịch chuyển từ nhà đến vùng lưu lượng khác, trạm nhà sẽ làm cho trạm đã dịch chuyển phát hiện ra thuê bao di động và hệ thống ở nhà sẽ lưu trữ lại các thông tin đăng ký để đấu nối cuộc gọi. Và trạm chuyển mạch cần phải có chức năng là tất cả các thông tin dịch vụ khác được lưu trữ trong hệ thống chuyển mạch để đấu nối các thuê bao di động với nhau và các thuê bao PSTN.

2/ Trạm gốc.

Trạm gốc dùng để nối trạm chuyển mạch viễn thông di động và mạng di động và nó bao gồm thiết bị thu phát, ăngten và thiết bị điều khiển. Chức năng chính của nó là điều khiển và quản lý vùng đã được phân định bằng cách chuyển các tín hiệu gọi đến/gọi đi gán kênh, giám sát kênh và tự chẩn sai. Để giảm tối thiểu can nhiễu của các vùng bên cạnh thì các yếu tố như phân bổ tần số và phân bổ mã vùng rất quan trọng. Những điều này được nhắc đến trong phần hệ thống điện thoại di động.

3/ Máy di động của điện thoại vô tuyến.

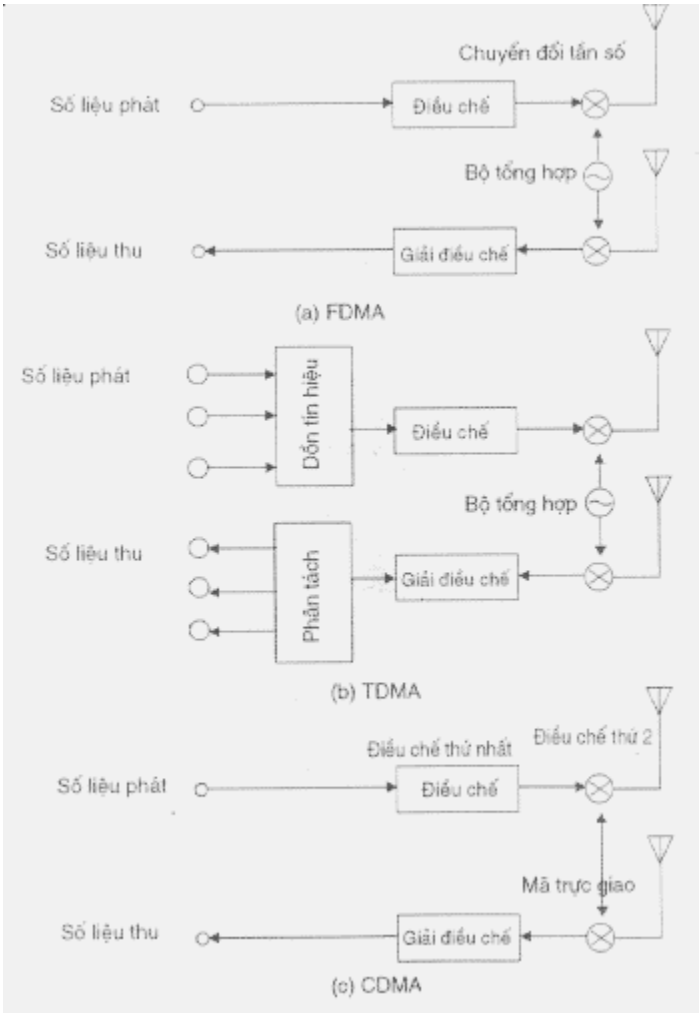
Máy tự động nghĩa là thiết bị thông tin được trang bị để di động như là xe cộ, tàu bè, máy bay và chúng bao gồm điện thoại cầm tay, chuông bỏ túi và điện thoại vô tuyến xách tay.

2.5.3 Phương pháp truy nhập kênh

Trong thông tin di động, cần phải điều tiết càng nhiều người sử dụng càng tốt trên các nguồn tần số giới hạn. Truy nhập kênh được phân loại thành kiểu chiếm dụng kênh và phân chia kênh. Kiểu chiếm dụng kênh là truy nhập tốt đối với thông tin liên tục như điện thoại. Có đa truy nhập phân chia theo tần số trong hệ thống tế bào tương tự, đa truy nhập phân chia theo thời gian đủ sử dụng trong hệ thống tế bào số, và đa truy nhập phân chia theo mã.

Kiểu chia kênh được gọi là truy nhập ngẫu nhiên vì nó cho phép có va chạm và người sử dụng có thể chuyển một cách độc lập tín hiệu gốc một cách ngẫu nhiên. Có các loại truy nhập ALOHA, ICMA (đa truy nhập chuyển tín hiệu rỗi) và CSMA (đa truy nhập nhạy cảm sóng mang). Trong hệ thống tế bào, khi máy di động tiến hành cuộc gọi và chuyển tín hiệu điều khiển để yêu cầu kênh tới trạm gốc thì truy nhập ngẫu nhiên được sử dụng.

1/ FDMA,/TDMA/CDMA



Hình 2.34 Cầu hình của hệ thống thu phát (trạm gốc)

Mặt khác trong CDMA thì sóng đã được điều chế thứ nhất của số liệu phát được điều chế trực giao thứ hai bằng mã khuyếch tán. Tỷ lệ dải thông giữa sóng điều chế lần thứ hai và sóng điều chế lần thứ nhất gọi là hiệu quả khuyếch tán. Nếu khuyếch tán ngược bằng mã khuyếch tán này thì chúng ta lại nhận được sóng điều chế lần thứ nhất.

Ngược lại với trường hợp FDMA và TDMA trong đó tín hiệu là trực giao trong từng miền tần số và từng miền thời gian, để tránh sự va chạm, các tín hiệu góc của khách hàng trong CDMA điểm đặc trưng của nó là tín hiệu được trực giao hoá ở miền mã.

2/ Truy nhập ngẫu nhiên.

Trong trường hợp truyền thông gói mà yêu cầu thông tin là ngẫu nhiên và khả năng tạo nhóm cao, mặc dù một kênh vô tuyến được dùng chung cho nhiều người sử dụng nhưng xác suất va chạm thấp. Bằng cách sử dụng truyền thống góc theo thống kê này, việc truy nhập để thực hiện ghép kênh được gọi là đa trung nhập thống kê.

Truy nhập ngẫu nhiên đơn giản nhất là ALOHA. Từ mỗi khi góc thông tin cần phát được tạo ra máy di động giữ góc thông tin này tới trạm gốc. Khi có xuất hiện lỗi trong góc thông tin này tới trạm gốc. Khi có xuất hiện lỗi trong góc thông tin thu được do va chạm thì trạm gốc yêu cầu phát trả lại cho máy di động. Chống ICMA phát hiện được khi nào đường thông đến trạm gốc không bị chiếm (chả có máy di động nào phát, và khi nào đường thông đến trạm gốc đang được sử dụng (một máy di động đang phát) và tránh được va chạm trong kênh vô tuyến từ trạm gốc xuống (từ trạm gốc đến máy di động).

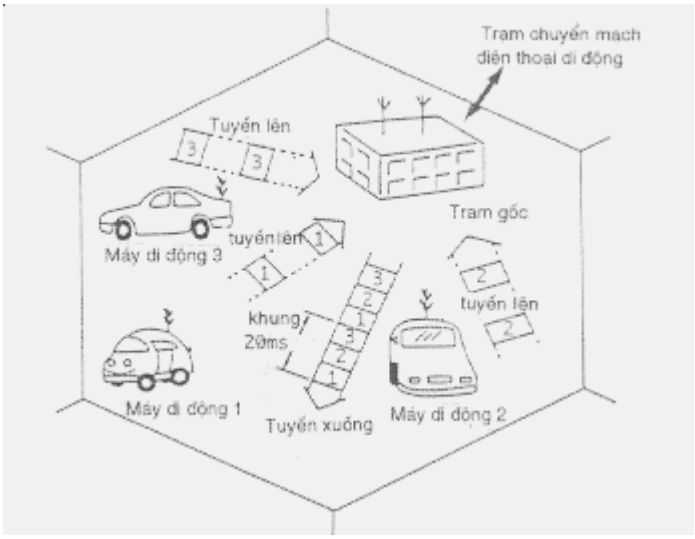
3/ FDMA

Phương pháp đơn giản nhất về truy nhập kênh là đa truy nhập phân chia tần số. FDMA là thể hiện kênh băng hẹp mà đơn giản là bất kỳ đầu cuối nào cũng có một đường điện thoại theo mỗi kênh mà nó có thể truy nhập tới bất kỳ tần số nào. Đôi khi hệ thống này còn được gọi là mỗi kênh trên một sóng mang. Phân chia tần số ở đây là mỗi máy di động có thể sử dụng một đường được tạo ra bằng cách này (xem hình 2.35). Đa truy nhập phân chia tần số có nghĩa là nhiều khách hàng có thể sử dụng dải tần đã được gán cho họ mà không bị trùng nhờ việc chia phổ tần ra thành nhiều đoạn.

Ghép kênh phân chia tần số là: tín hiệu cần được phát tới một số khách hàng từ một máy phát sẽ được phát đi bằng cách phân chia các băng tần và máy thu sẽ chọn thông tin thuộc băng tần của nó. FDMA là phát tín hiệu tới một số máy thu. Do vậy, nếu sử dụng FDMA trong hệ thống tế bào thì FDMA phải là kênh nghịch (backward channal) FDM là kênh thuận (Forward channel). Nó được gọi là FDM/FDMA.

Hình 2.35 (trunked). 1 mạch trên một mạch RF

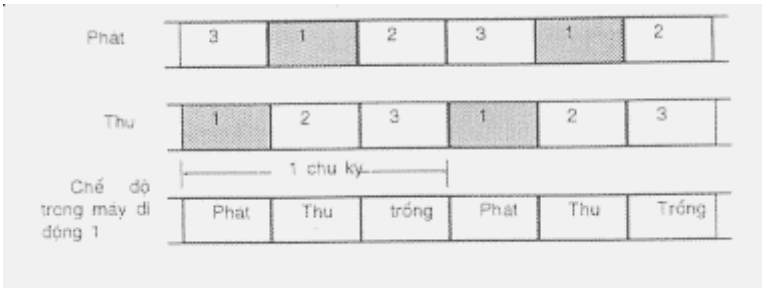
Những ưu điểm của đa truy nhập phân chia tần số là một trong những vấn đề khó khăn trong việc thực hiện hệ thống tế bào số đó là sự khuyếch tán trễ do thời gian đến bị trễ của sóng đa đường trong kênh tế bào, nó gây ra



Hình 2.36 Sơ đồ khái niệm của thông tin di động TDMA

(1) Định thời phát và thu

Hình 2.37 Chỉ rõ việc định thời phát và thu tại trạm gốc và chế độ định thời tại máy di động trong trường hợp ba kênh TDMA, chu kỳ phát, thu, trống được lặp đi lặp lại trong máy di động. Do việc định phát và thu không trùng nhau nên không cần đến bộ lọc chọn lựa thu phát trong máy di động. Khoảng thời gian trống được sử dụng để đo mức thu của các trạm gốc lân cận.

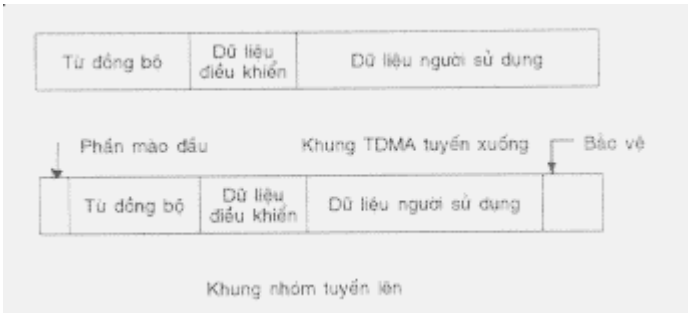


Hình 2.37 Định thời phát thu ở trạm gốc

2/ Cấu hình của khung

Cấu hình của khung được trình bày trong (Hình 2.38). Nhóm của tuyến lên (từ máy di động đến trạm gốc) bao gồm phần mào đầu, từ mã đồng bộ dữ liệu điều khiển, dữ liệu của người sử dụng và thời gian bảo vệ. Vì khung của tuyến xuống (từ trạm gốc đến máy di động) là tín hiệu liên tục nên không cần thiết phải có phần mào đầu và thời gian bảo vệ. Phần mào đầu là hệ thống mã của đồng bộ sóng mang và đồng bộ đồng hồ. Khi phát hiện trễ thì việc tái tạo sóng mang là không cần thiết và mã đồng bộ sóng mang là mã 1 bởi vì sóng thu phải là sóng chuẩn để phát hiện bằng cách tạo ra thời gian trễ mã 1).

Từ mã đồng bộ chỉ rõ điểm bắt đầu của dữ liệu điều khiển và dữ liệu người sử dụng. Dữ liệu điều khiển dùng để điều khiển kênh vô tuyến trong thông tin.



Hình 2.38 Cấu hình của khung

3/ Điều chỉnh thời gian bảo vệ và định thời phát.

Khi một máy di động gửi chùm tín hiệu hướng lên để tạo định thời cho tín hiệu TDMA hướng xuống, đôi khi chùm này bị xung đột bởi vì cự ly giữa các máy di động tới trạm gốc là khác nhau. Chẳng hạn như khi khe 1 được gán cho một máy di động ở xa trạm gốc và máy di động gần nhất được gán khe 2 thì phần cuối của tín hiệu chùm sẽ va chạm với khe 2 bởi vì chùm tín hiệu của máy di động 1 đến chậm. Điều này như được trình bày trong hình <hình 2.38>, có thể tránh được bằng cách đưa vào sử dụng thời gian bảo vệ. Tình huống mà có thể tránh được xung đã được trình bày trong <Hình 2.39>. Khi bán kính tế bào là R thì thời gian bảo vệ (g) điển hình là 2R/C (giây) trong đó C là vận tốc ánh sáng. Khi R-3km thì g là 20s. Nếu thời gian bảo vệ quá dài thì hiệu quả của khung [(độ dài của dữ liệu điều khiển + dữ liệu người sử dụng) độ dài khung] bị giảm.

Việc điều chỉnh đồng thời phát là phương pháp điều chỉnh định thời gian phát của máy di động theo cự ly từ trạm gốc để nhận được tín hiệu khởi của từng máy di động mà việc định thời nó được mô tả ở <Hình 2.37> vào không gây ra xung đột ở trạm gốc. Mặc dù hiệu quả sử dụng khung không giảm nó vẫn cần phải đo khoảng cách. Nó được chấp nhận sử dụng khi hệ thống có tốc độ bít cao, nơi không thể chấp nhận giảm hiệu quả khung dự có thời gian bảo vệ giống như hệ thống tế bào lớn.

4/ Thu tín hiệu nhóm.

Tuy nhiên, các tín hiệu nhóm từ các máy di động không xung đột với nhau do điều khiển định thời phát và thời gian bảo vệ và định thời đồng hồ của tín hiệu nhóm là nhập đồng bộ. Vì vậy, việc tái tạo lại đồng hồ nhóm của mỗi máy di động là cần thiết ở trạm gốc.

Vì tín hiệu nhóm được phát một cách tuần hoàn từ máy di động trong kênh truyền thông cho nên việc tái tạo đồng hồ mà không cần phải vì

phần mào đầu được thực hiện bằng cách duy trì gia của tín hiệu đồng hồ đã được tái tạo cho đến khi thu được tín hiệu nhóm tiếp theo và thực hiện phương thức tái tạo đồng hồ thông thường khi nhận được tín hiệu nhóm. Mặt khác, kênh điều khiển chung là truy nhập ngẫu nhiên và tín hiệu nhóm được bổ sung phần mào đầu để tái tạo đồng hồ. Để không làm giảm hiệu quả khung thì việc đồng bộ hoá đồng hồ cần phải được chèn vào 1 phần mào đầu ngắn với tốc độ cao. Nó có thể là đồng bộ tốc độ cao bằng cách đồng bộ hoá pha đầu tiên của đồng hồ tái tạo với tín hiệu nhận được.

(5) Giám sát mức thu ở trạm gốc bên cạnh sự điều khiển chuyển vùng để làm cho cuộc gọi được liên tục bằng cách phát hiện ra bào đôi dịch chuyển và chuyển tế bào này sang kênh vô tuyến khi máy di động đang gọi tới tế bào đã di chuyển là một kỹ thuật điều khiển quan trọng khi cường độ trường của tín hiệu thu được tại trạm gốc bị giảm (trong hệ thống tế bào tương tự) các trạm gốc trong tế bào bên cạnh sẽ đo cường độ tín hiệu của máy di động ngay lập tức. Cường độ tín hiệu mạnh nhất của tế bào trạm gốc được nhằm vào tế bào đã dịch chuyển và kênh vô tuyến của trạm gốc này được gán cho máy di động. Tuy nhiên sự phát hiện tế bào dịch chuyển này đã được sử dụng trong FDMA. Nếu số người sử dụng tăng lên thì quá trình điều khiển chuyển vùng sẽ rất lớn ở trạm gốc. Trong TDMA ngoài khe phát và thu còn có một khe trống. Nên nó được sử dụng thì quá trình điều khiển của trạm gốc sẽ được đơn giản hoá rất nhiều bởi vì có thể đo cường độ tín hiệu từ trạm gốc gần đó và nó được đánh giá là tế bào đã dịch chuyển.

5/ CDMA

Trước đây rất lâu, do những đặc tính của hệ thống thông tin trại phổ là rất mạnh về mặt chống nhiễu và có lợi thế cho thông tin bí mật đường dài, cho nên nó đã được sử dụng trong thông tin quân sự. Đầu những năm 1980 do công nghệ bán dẫn VLSI và nhờ sự phát triển của ký thuyết thông tin đó truy nhập phân chia theo mỗi trong đó nó ghép kênh bằng việc điều chế dãy trực tiếp đã được thương mại hoá trong các hệ thống thu GPS và Ommi-Tracs. Cũng theo cách như vậy, CDMA đã nổi lên như một hệ thống thông tin di động đôi kênh từ cuối những năm 80.

Trong bối cảnh này trước hết, nguyên lý cơ bản, được xuất phát từ lý thuyết của Shannon, trong đó dung lượng thông tin có thể đạt rất lớn theo công thức sau; mặc dầu độ rộng của băng tần sử dụng (w) lớn thay cho việc tỷ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) nhỏ hơn 1.

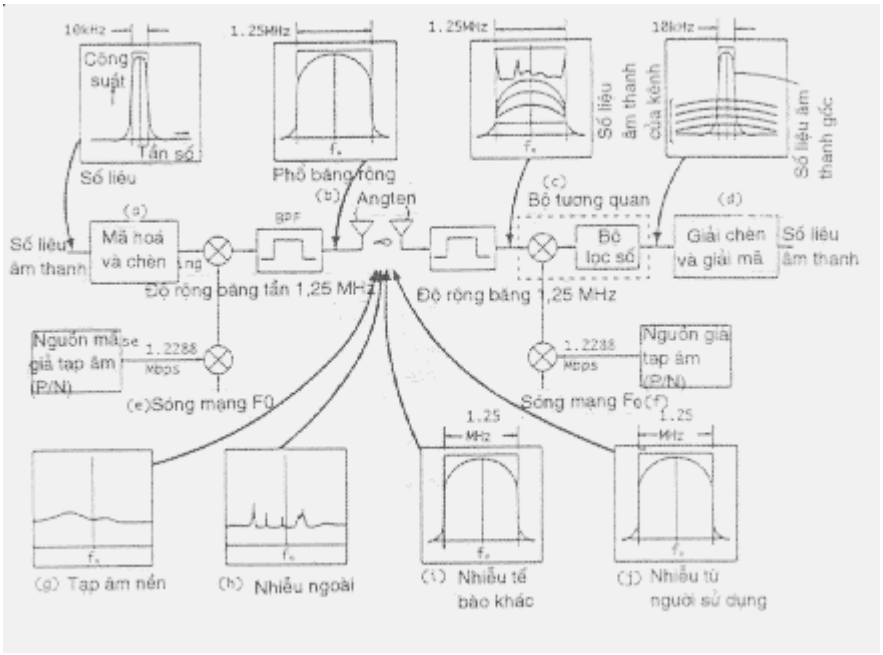
$$C = W \log_2 (1+S/N) \text{ [bps]} \quad (2.40)$$

$$= 1.44W \, n(1+S/N)$$

Trong đó nếu S/N nếu 0,1 thì C sẽ là

$C = 1.44\ W\ (S/N)$ (2/41)

Vì vậy, khi W>S/N thì C có thể lớn vô hạn, nếu nhiều người sử dụng phát và thu dựa nhau theo một mã khác nhau thì có thể truy nhập lựa chọn 1-1 giữa tần số phát và thu.



Hình 2.40 Nguyên lý của hệ thống CDMA

Ở đây, để hiểu một cách đơn giản quá trình mã hoá phổ khuếch tán giữa phát và thu của hệ thống CDMA, nguyên lý của nó được trình bày trong hình 2.40. Cụ thể là ở phía phát, thì đối tượng để mã hoá và chèn dữ liệu âm thanh đã được số hoá (9,6 Kbps) được ghép kênh thành tín hiệu điều chế nhờ mã giả tạp âm 1,2288Mbps (9,6kbps x 128) với tần số sóng mang Fo. Nó được bức xạ qua ăngten rằng cách được ghim trong bộ lọc băng thông có đồng băng là 1,25MHz. Mặt khác, ở phía thu thì tín hiệu thu từ ăngten đi qua bộ lọc băng thông có độ dải thông là 1,25MHz và được điều chế với sóng mang giống như ở phần phát bằng bộ mã hoá giả tạp âm 1,2288 Mbps, cộng với bộ tương quan và sau đó số liệu âm thanh nguyên thuỷ và giả tạp âm được lọc bằng bộ lọc số. Và số liệu âm thanh có thể được tái tạo bằng cách giải chèn và giải mã.

Đồng thời số liệu âm thanh của các kênh khác cũng như tạp âm và nhiễu vì số liệu âm thanh gốc có thể được phân chia và nhận được như trong hình 2.40. Điều đó có nghĩa là số liệu âm thanh giống như (a) được bức xạ cùng với (c) với và mỗi tín hiệu băng đã được khuếch tán từ bộ ghép kênh giống như (b) được bức xạ từ ăntenra không trung với cường độ chỉ khuyếch tán trong độ rộng băng 1,25 MHz. ở ăntenthu có thể thu được tạp âm nền (g), nhiễu bên ngoài (h), nhiễu của tế bào khác (i), tạp âm từ người sử dụng khác (j) mà nó được phát ở chỗ khác, cũng như sóng thu

mong đợi. Nhóm sóng vô tuyến này được lọc trong bộ lọc có độ rộng băng là fo+(1,25/x) MHz và được cộng vào với bộ tương quan có fo=91,2288/x) Mbps của được tạo ra ở phía thu.

Khi đi qua bộ lọc, (g), (h), (i), (j) sẽ trở thành băng khuếch tán trong phạm vi 1,25MHz. Tín hiệu khuếch tán mong muốn (b) bị co lại trong phạm vi dải 10KHz, nhưng nó chia sẻ với tín hiệu mong muốn ở (d) và tín hiệu khuếch tán không cần thiết sự phân bố cường độ của chung (năng lượng điện) vẫn giữ nguyên như là cường độ tạp âm ở độ rộng băng 10KHz giống như (d), vì vậy (C/I) của tín hiệu mong đợi (c) trở nên tốt như là hiệu quả khuếch tán (128 lần).

Để hiểu được thư tuệ khuếch tán này một cách dễ dàng, công thức đơn giản được trình bày như sau. Đầu tiên nếu số liệu âm thanh 9,6kbps được điều chế lần thứ nhất ở phần phát là a(t), hệ thống PN là C(t), sóng được phát là y(t) thì khi đó chúng ta có thể nhận được công thức liên quan như sau:

$$Y(t) = a(t) \times c(t) \quad (2.42)$$

Nếu tín hiệu không giảm và không có can nhiễu hay tạp âm thì y(t) thể hiện tín hiệu thu như nó vốn có. Trong trường hợp khuếch tán ngược do nó được nhân với cùng một trong của phân phát nên đầu ra khuếch tán ngược z(t) là:

$$Z(t) = Y(t) \times c(t) = a(t) \times \{c(t)\}^2 \quad (2.43)$$

Trong đó, mặc dù c(t) là số ngẫu nhiên thì giá trị của nó chỉ giới hạn trong 1 với bình phương của c(t) bao giờ cũng = 1. Cho nên J(t) giống như được trình bày dưới đây:

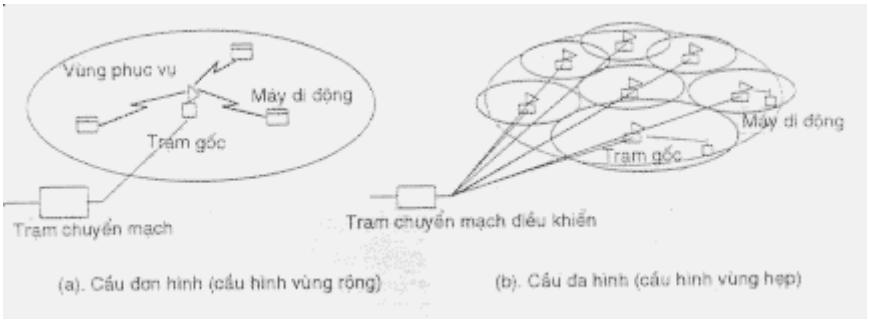
$$z(t) = a(t) \quad (2.44)$$

Tương tự như vậy ta có thể biết rằng sóng hoàn toàn giống như vậy có thể được tạo ra tại cùng một thời điểm ở phía thu. ở đây nếu hệ thống PN là 1 số ngẫu nhiên bên trong thì đó là một trường hợp tốt. Nhưng nếu là như vậy thì không thể tạo ra được một cách đồng thời một hệ thống hoàn toàn giống như vậy. Vì vậy phải sử dụng số giả định.

2.5.4. Cấu hình tế bào

1/ Khái niệm về hệ thống tế bào.

Do nguồn tần số giới hạn của thông tin vô tuyến điều quan trọng là cần phải tận dụng tần số một cách tốt nhất. Vì vậy khi chúng ta thiết lập một hệ thống viễn thông di động, vấn đề cốt lõi là phải sử dụng lại cùng 1 tần số ở địa điểm cách xa nơi sử dụng cùng tần số này.



Hình 2.41 Cấu hình vùng

Trong số các dạng truyền thông của thông tin di động thì có những dạng mà các máy di động liên lạc với nhau không cần trạm gốc giống như thiết bị thu phát và có những dạng mà các máy di động liên lạc với nhau thông qua trạm gốc như điện thoại trên tắc xi và trên xe cộ. Đối với loại thứ I thì bản thân người sử dụng kiểm tra xem có nhiễu không, sau đó mới liên lạc. Có thể sử dụng lại tần số nhưng hiệu quả thì thấp. Mặt khác đối với dạng thông tin thông qua trạm gốc có thể sử dụng kế hoạch tần số lập lại một cách rất hiệu quả bằng cách phân bổ tần số ở trạm gốc. Tuy nhiên trong trường hợp hệ thống viễn thông di động có trạm gốc thì nó có 2 loại: loại thứ I là trạm bao phủ khu vực phục vụ giống như là liên lạc vô tuyến tắc xi, loại thứ II là đa trạm gốc bao phủ khu vực phục vụ như là hệ thống điện thoại xe cộ. Vùng là một miền mà sóng vô tuyến có thể đến được trạm gốc và loại thứ nhất là loại vùng đơn, loại thứ II là loại đa vùng.

Vùng đơn được gọi là vùng lớn bởi vì 1 trạm gốc bao phủ một khu vực phục vụ lớn. Có thông tin vô tuyến tắc xi, hệ thống nhắn tin và MCA (TRS). Dạng này có cấu hình đơn giản được nối với máy di động, các thiết bị phát/thu ở trạm gốc, tổng đài hay hệ thống chuyển mạch. Nhưng để duy trì được vùng phục vụ lớn thì công suất phát của máy di động của trạm gốc cần phải lớn. Vì vậy, nếu cự ly không đủ lớn thì không thể sử dụng ăng ten một tần số. Và nếu so sánh với dạng đa vùng thì đơn vùng không sử dụng lại tần số theo địa lý vì vậy hệ số sử dụng tần số thấp hơn đối với đa vùng. Sở dĩ gọi là vùng nhỏ bởi vì vùng của trạm gốc nhỏ hơn so với vùng của trạm gốc của đơn vùng trong đó vùng phục vụ tương ứng với vùng này. Vùng nhỏ có các đặc tính sau nếu so sánh với vùng lớn.

1/ Hiệu quả sử dụng tần số tốt hơn bởi vì một tần số có thể sử dụng ở nhiều vùng khác nhau có cự ly tương đối xa nhau đơn để tránh nhiễu trong khu vực phục vụ. Trông càng nhỏ thì tỷ lệ sử dụng lại tần số càng lớn.

2/ Chất lượng tốt hơn bởi vì vùng phục vụ bao gồm nhiều vùng nhỏ liên tục. Tương đối dễ đáp ứng được yêu cầu về cự ly khu vực phục vụ, cấu hình v.v...

3/ Công suất phát có thể thấp hơn. Cần phải giám sát trạng thái và điều khiển trung nhập bằng cách trao đổi thông tin giữa nhiều trạm gốc để đảm bảo hiệu quả và tính liên tục của một gốc. Cấu hình của hệ thống thì phức tạp. Mặc dù cấu hình của vùng nhỏ phức tạp nhưng nó có thể bao phủ 1 khu vực phục vụ rộng lớn và thực hiện được một hệ thống lớn có hiệu quả tần số cao.

Vì vậy nó được sử dụng trong hệ thống điện thoại, xe cộ và hệ thống điện thoại di động. Trong cấu hình của vùng nhỏ thì khu vực phục vụ giống nhiều vùng và mỗi vùng trông như một tế bào và nếu trạm gốc là lỗi thì nó được gọi là hệ thống tổ ong (collular). Mỗi vùng được gọi là một tế bào. Trong hệ thống tổ ong cần phải xác định số lượng và độ lớn của tế bào bằng xem xét địa hình, sự lan truyền sóng vô tuyến lưu lượng v.v... Đặc biệt chúng ta cần phải nghiên cứu nên bố trí trạm gốc như thế nào để loại trừ những lỗ hổng của khu vực phục vụ và cần nâng cao hiệu quả sử dụng tần số như thế nào. Việc nghiên cứu này được gọi là phân bố tế bào.

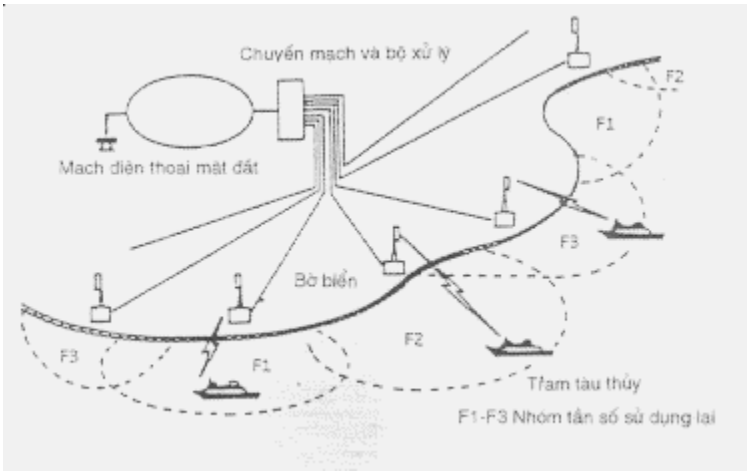
2/ Phân bố tế bào.

1/ Phân bố tế bào theo kiểu tuyến tính đa theo kiểu địa hình khi phân bổ tế bào được bố trí theo kiểu tuyến tính do khu vực phục vụ nằm trên bờ, dọc theo bờ biển hay dọc theo đường trục giữa các thành phố lớn cách nhau vài chục kilomét thì tế bào được bố trí theo hàng dọc và sử dụng lại tần số sau mỗi vòng. Chẳng hạn, 3 tế bào sử dụng lại cuộc gọi trên tàu ở càng, cuộc gọi trên tàu hoả và cuộc gọi trên máy bay. <Hình 2.42> miêu tả sự lặp lại của 3 tế bào trên sự phân bổ tế bào kiểu tuyến tính.

Khi khu vực phục vụ có kiểu địa hình (mặt phẳng) giống như các cuộc gọi của các xe cộ thì rất nhiều tế bào được phân bổ một cách phức tạp theo mô hình tế bào lặp lại trên khu vực phục vụ không có chỗ hở.

Phân bổ tế bào theo địa hình như sau:

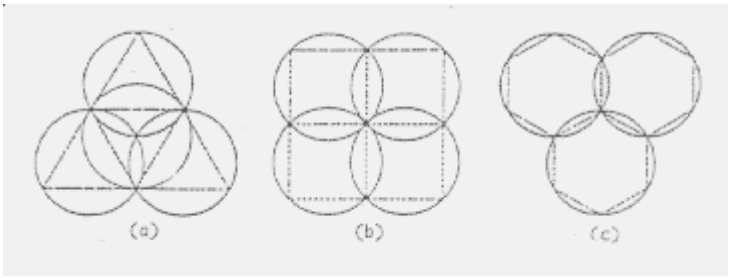
Mặc dù hình dạng tế bào thực tế phức tạp do sự lan truyền vô tuyến chịu ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên và địa lý, tế bào sẽ được mô hình hoá và các vị trí tế bào được phân bổ đều đặn trên vùng phục vụ ở đó.



Hình 2.42 Ví dụ kiểu tuyến tính lặp lại ba tế bào

2/ Hệ dạng tế bào

Nếu ăngten đa hướng phát sóng vô tuyến trên khu vực mặt bằng thì vùng bao phủ có dạng hình tròn. Khu vực tế bào được xác định bằng các điểm có cùng vị trí mức thu trung bình giữa các vị trí tế bào trong khu vực lan truyền sóng vô tuyến và có dạng hình đa giác. Có 3 phương pháp để bao phủ kín khu vực bằng các tế bào hình dạng đa giác có kích thước như nhau (hình 2.43).



Hình 2.43 Hình dạng tế bào

Bảng 2.3 Khoảng cách tâm giữa các tế bào

Kiểu tế bào đơn vị	Khoảng cách tâm giữa các tế bào kề nhau
Tam giác đều (a)	R
Hình vuông (b)	$\sqrt{2}$ R
Lục giác đều (c)	$\sqrt{3}$ R

Hình vẽ

(a) Trường hợp tế bào hình tam giác đều

(b) Trường hợp tế bào hình vuông

(c) Trường hợp tế bào hình lục giác

Đường nối tâm của khu vực gốc lên nhau sẽ có hình tam giác đều, hình vuông hay hình lục giác đều. Không có bất kỳ hình dạng tế bào đa giác phân bổ đều nào khác ngoài các hình trên. Chúng được gọi là kiểu tế bào tam giác đều kiểu tế bào hình vuông và kiểu tế bào lục giác đều. Mỗi kiểu tế bào có những đặc tính riêng của mình.

a. Cự ly tế bào: Khi bao phủ khu vực với mỗi dạng tế bào thì khoảng cách tâm sẽ như ở trong <bảng 2.3>. Khoảng cách tâm của dạng lục giác đều là lớn nhất.

Bảng 2.4 Khu vực tế bào đơn vị là khu vực gốc lên nhau

Kiểu tế bào đơn vị	Khu vực tế bào đơn vị	Khu vực chống lấn
Tam giác đều	$\frac{3\sqrt{3}}{4}R2$ 1.3R2	$(\frac{2-3\sqrt{3}}{2})R2$ 1.2R2
Hình vuông	2R2	(2 - 4)R2 0.73R2
Lục giác đều	$\frac{3\sqrt{3}}{2}R2$ 0.26R2	$(2-3\sqrt{3})R2$ 0.35R2

R: Độ rộng của tế bào chống lấn

Hình vẽ

Bảng 2.5 Độ rộng của tế bào chống lấn

Kiểu tế bào đơn vị	Độ rộng của tế bào chống lấn
Tam giác đều	R
Hình vuông	$(2-\sqrt{2})$ R 0.59R
Lục giác đều	$(2-\sqrt{3})$ R 0.27R

R : Bán kính

Hình vẽ

b. Khu vực tế bào và khu vực chống lấn: Khi các tế bào phân chia khu vực thành các tế bào đơn vị có cùng kích thước và khu vực chống lấn sẽ khác nhau tuỳ theo từng kiểu tế bào như <Bảng 2.4>. Khu vực tế bào đơn vị là một khu vực được bao phủ bởi tam giác đều tối thiểu hoá số lượng tế bào để bao phủ một khu vực. Độ rộng của tế bào chống lấn được trình bày trong <bảng 2.5>.

c. Số lượng tần số cần thiết tối thiểu: Do không thể sử dụng cùng một tần số vì nhiễu với các tế bào bên cạnh, cho nên số lượng tần số cần thiết tối thiểu được trình bày trong <bảng 2.6>.

Bảng 2.6 Số lượng tần số cần thiết tối thiểu.

Dạng tế bào đơn vị	Số lượng tần số cần thiết tối thiểu
Tam giác đều	6
Hình vuông	4
Lục giác đều	3

Mỗi dạng có những đặc tính riêng của nó. Dạng tam giác đều là không thích hợp trừ trường hợp đặc biệt và dạng tế bào lục giác đều là hiệu quả nhất.

BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG CAO ĐẲNG KỸ THUẬT CAO THẮNG
KHOA ĐIỆN TỬ - TIN HỌC

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

ĐỀ TÀI 1 :

HỆ THỐNG THÔNG TIN SỢI QUANG

LỜI CẢM ƠN

Hôm nay chúng em là những sinh viên sắp phải xa trường, xa thầy cô, xa bạn bè với những kỷ niệm vui buồn trong kí ức. Để được như ngày hôm nay, phải tốn biết bao công sức tiền của của cha mẹ với biết bao nhiêu công lao dạy dỗ của thầy cô và bên cạnh đó là sự chia sẻ , động viên của bạn bè. Vì thế trước lúc ra trường để đi tìm cuộc sống riêng cho mỗi người, chúng em muốn gởi đến cha mẹ, thầy cô và bạn bè đôi lời cảm ơn.

Lời đầu tiên chúng em xin cảm ơn gia đình, cha mẹ và các anh chị em lời cám ơn chân thành vì đã tạo điều kiện cho chúng em học tập và giúp đỡ em nhiều mặt về vật chất cũng như tinh thần. Đó là lời cảm ơn sâu đậm mà chúng ta phải nhớ và tri ân suốt đời.

Bên cạnh đó chúng em xin chân thành cảm ơn Ban Giám Hiệu Trường : Cao Đẳng Kỹ Thuật Cao Thắng đã tạo cho chúng em có một cơ sở học tập với những điều kiện vật chất tốt đẹp.

Tiếp theo chúng em xin chân thành cảm ơn quý thầy cô giảng viên đã dẫn dắt và dạy dỗ chúng em trong 3 năm qua. Thầy cô không những là người gieo mầm kiến thức mà còn là nguồn động viên giúp đỡ chúng em với sự nhiệt tình và vui vẻ mà chúng em khó quên được.

Đặc biệt chúng em xin chân thành cảm ơn Thầy Th.s Tống Thanh Nhân đã tận tình hướng dẫn chúng em hoàn thành đề tài tốt nghiệp và Thầy Th.s Nguyễn Phú Quới đã tận tình dạy dỗ và quan tâm chúng em với cương vị là giáo viên chủ nhiệm.

Đồng thời chúng em cũng gởi lời cảm ơn đến tất cả các bạn bè đã cùng nhau gắn bó chia sẻ những vui buồn trong 3 năm qua.

Cuối cùng chúng em xin chúc quý thầy cô và các bạn sức khoẻ dồi dào và ngày càng thành công trong cuộc sống.

SVTH

LỜI NÓI ĐẦU

Ngày nay cùng với sự phát triển không ngừng về thông tin viễn thông, hệ thống truyền dẫn quang – truyền tín hiệu trên sợi quang đã và đang phát triển ở nhiều nước trên thế giới. Thông tin quang chiếm giữ vai trò chính trong việc truyền tín hiệu ở các tuyến đường trục và các tuyến xuyên lục địa, xuyên đại dương.

Ở nước ta thông tin tuyến cáp quang đang ngày càng chiếm vị trí quan trọng .Các tuyến cáp quang được hình thành, đặc biệt là hệ thống cáp quang Hà Nội – Hồ Chí Minh chiếm một vị trí quan trọng trong thông tin toàn quốc.

Hiểu được tầm quan trọng của vấn đề nay, chúng em đã chọn "Hệ thống thông tin quang " làm đề tài cho đồ án tốt nghiệp. Đề tài gồm 2 phần:

- Phần I: Lý thuyết chung
  - CHƯƠNG 1:TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG
  - CHƯƠNG 2: SỢI QUANG VÀ CÁP QUANG
  - CHƯƠNG 3: THIẾT BỊ PHÁT VÀ THU QUANG
  - CHƯƠNG 4: KỸ THUẬT GHÉP KÊNH PHÂN CHIA THEO THỜI GIAN
- Phần II: Tính toán và thiết kế
  - CHƯƠNG:TÍNH TOÁN VÀ THIẾT KẾ TUYẾN CÁP QUANG THEO QUỸ CÔNG SUẤT VÀ THỜI GIAN LÊN.

Trong quá trình hoàn thành quyển đồ án này 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 và các bạn đóng góp thêm.

Tp.Hồ Chí Minh, tháng 7 năm 2009.

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,

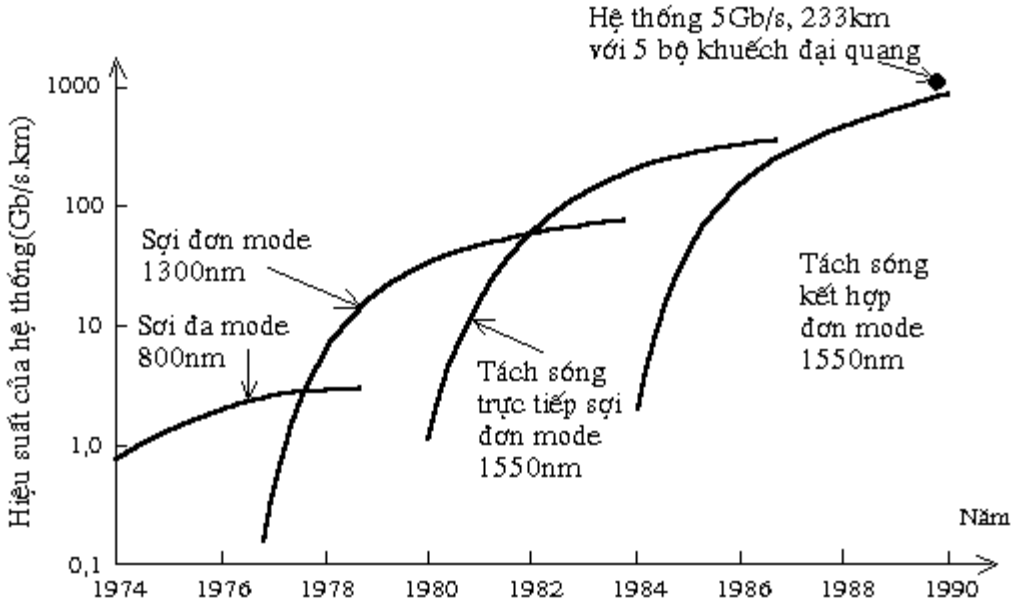
Kapron đã chế tạo ra được sợi quang trong suốt có độ suy hao truyền dẫn khoảng 20dB/km. Cho tới đầu những năm 1980, các hệ thống thông tin sợi quang đã được phổ biến khá rộng rãi với vùng bước sóng làm việc 1300nm và 1500nm đã cho thấy sự phát triển mạnh mẽ của thông tin sợi quang trong hơn 2 thập niên 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 trục, 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.

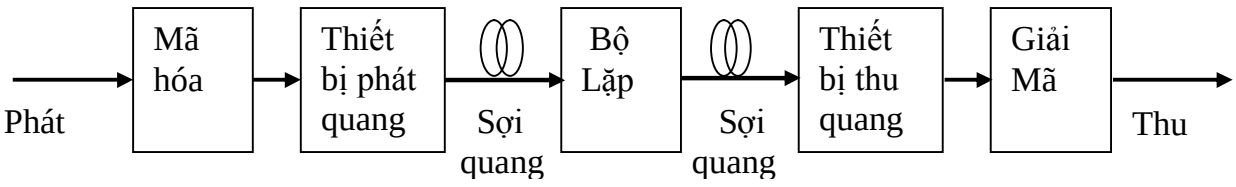
1.3. Hệ thống truyền dẫn quang

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 thi 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. Tổng kết chương

Qua chương 1 ta thấy hệ thông 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 hoc 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. 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.

2.2.1. Chiết suất của môi trường

$$n = \frac{C}{V} \qquad (2.1)$$

Trong đó:

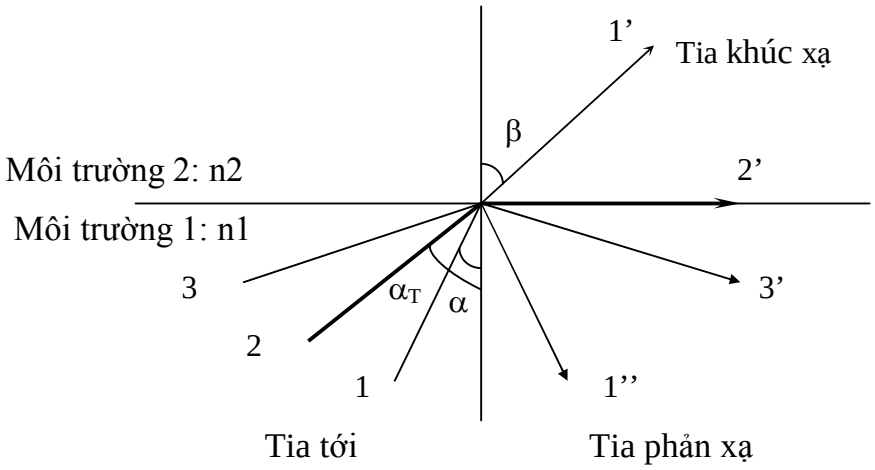
n: chiết suất của môi trường

c: vận tốc ánh sáng trong chân không c= $\mathbf{3.10}^{8}$ m/s

V: vận tốc ánh sáng trong môi trường.

2.2.2. Hiện tượng khúc xạ và phản xạ toàn phần

Định luật Snell: $n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$ (2.2)



Hình 2.1: Sự khúc xạ và phản xạ ánh sáng

Nếu $n_1 > n_2$ thì $\alpha > \beta$ nếu tăng α thì β cũng tăng theo và β luôn luôn lớn hơn α.Khi $\beta = 90^0$ tức là song song với mặt tiếp giáp thì α được gọi là góc tới hạn α_T nếu tiếp tục tăng sao cho $\alpha > \alpha_T$ thì không còn tia khúc xạ mà chỉ còn tia phản xạ, hiện tượng này gọi là sự phản xạ toàn phần.

Dựa vào công thức Snell ta có thé tính góc tới hạn:

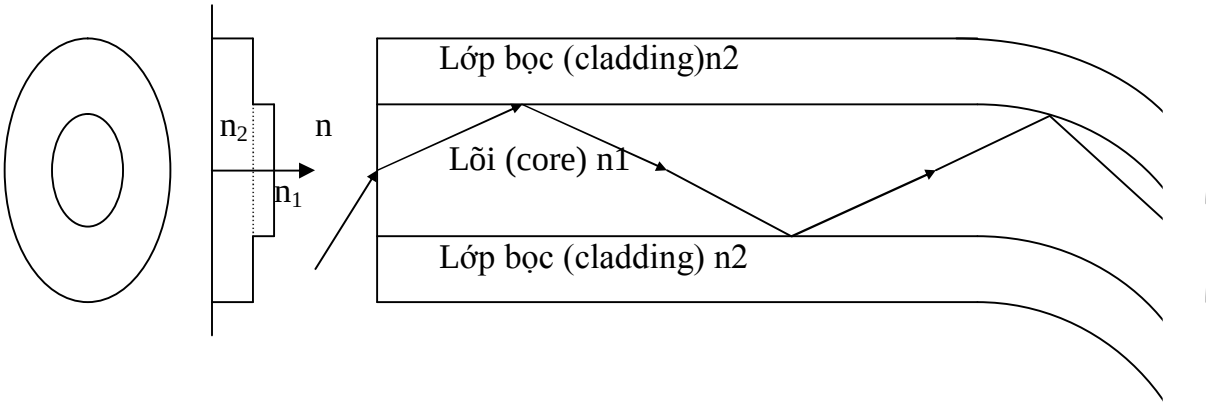
$$\sin\alpha_T = \frac{n_2}{n_1}. \qquad (2.3)$$

2.3. Sợi quang và cáp sợi quang:

2.3.1. Sự truyền dẫn ánh sáng trong sợi quang:

Ứng dụng hiện tượng phản xạ toàn phần, sợi quang được chế tạo gồm 1 lõi (core) bằng thuỷ tinh có chiết suất n1 và 1 lớp bọc (cladding) bằng thuỷ tinh có chiết suất n2 với n1> n2. Ánh sáng truyền trong lõi sợi quang sẽ phản xạ nhiều lần (phản xạ

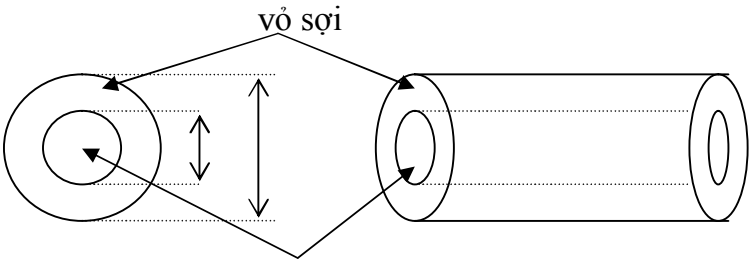
toàn phần) trên mặt tiếp giáp giữa lõi và lớp vỏ bọc. Do đó ánh sáng có thể truyền trong sợi cự ly dài ngay cả khi sợi bị uốn cong trong giới hạn cho phép.



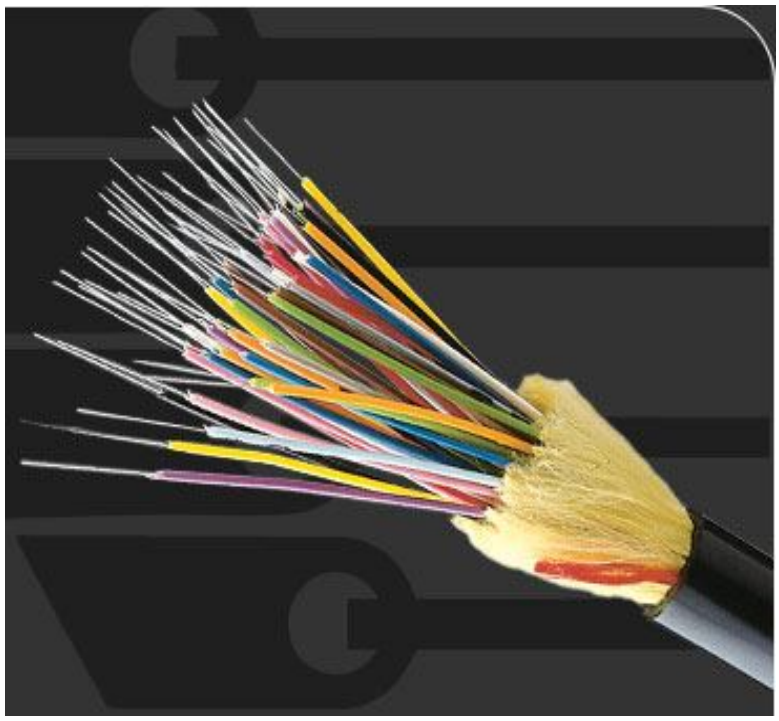
Hình 2.2: Nguyên lý truyền dẫn ánh sáng trong sợi quang

2.3.2. Cấu tạo của sợi quang

Thành phần chính của sợi quang gồm lõi và lớp bọc. Lõi để dẫn ánh sáng còn vỏ bọc để giữ ánh sáng tập trung trong lõi nhờ sự phản xạ toàn phần giữa lõi và lớp bọc.



Hình ảnh sợi quang thực tế:



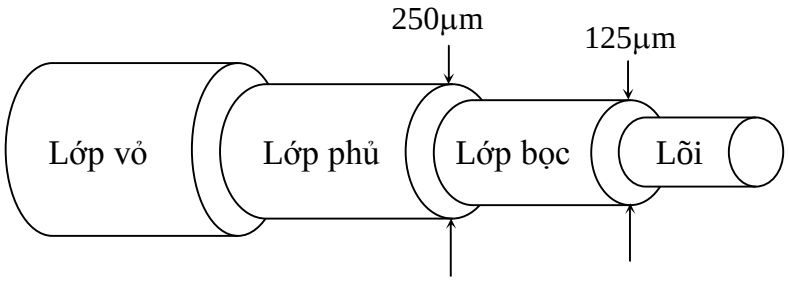
Để bảo vệ sợi quang tránh nhiều tác dụng do điều kiện bên ngoài sợi quang còn được bọc thêm vài lớp nữa:

- **Lớp phủ hay lớp vỏ thứ nhất:** lớp phủ có tác dụng bảo vệ sợi quang
  - Chống lại sự xâm nhập của hơi nước
  - Tránh sự trầy sướt gây nên những vết nứt.
  - Giảm ảnh hưởng vì uốn cong

Lớp phủ được bọc ngay trong quá trình kéo sợi. Chiết suất của lớp phủ lớn hơn chiết suất của lớp bọc để loại bỏ các tia sáng truyền trong lớp bọc vì khi đó sự phản xạ toàn phần không thể xảy ra tại phân các giữa lớp phủ và lớp bọc.

❖ **Lớp vỏ:**

Lớp vỏ có tác dụng tăng cường sức chịu đựng của sợi quang trước các tác dụng cơ học và sự thay đổi nhiệt độ.



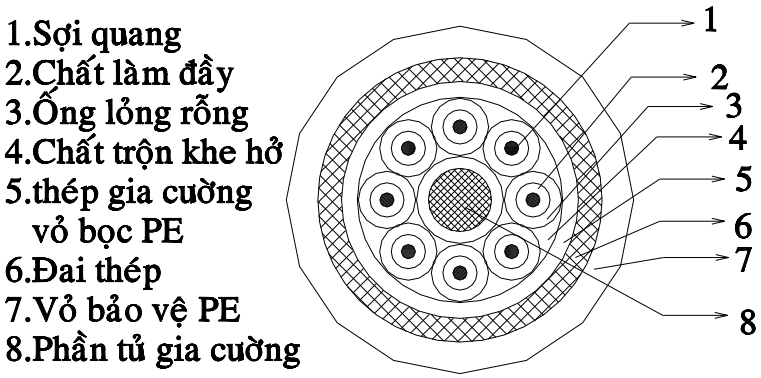
Cấu trúc sợi quang

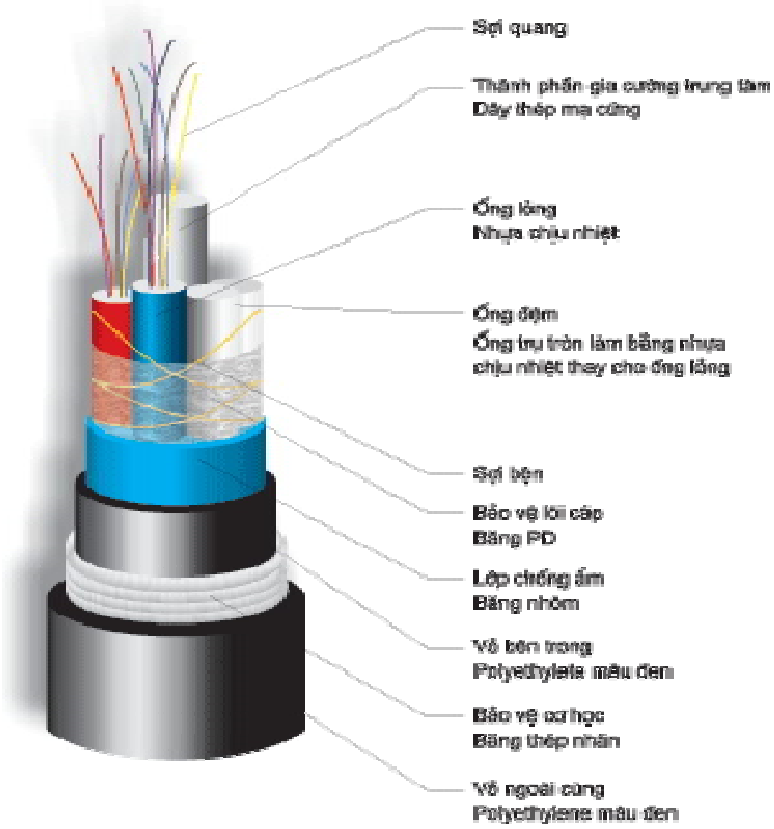
2.3.3. Cáp quang

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...

❖ **Thành phần của cáp quang:** lõi chứa sợi dẫn quang, các phần tử gia cường, vỏ bọc, 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.





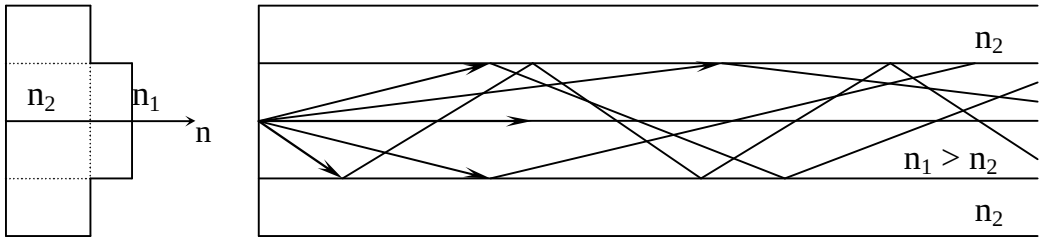
Hình ảnh cáp quang loại chôn trực tiếp dưới đất.

2.3.4. Phân loại sợi quang

2.3.4.1. Dựa vào phân bố chiết suất trong sợi quang

❖ **Sợi quang có chiết suất nhảy bậc (step-index: SI)**

Đây là loại sợi có cấu tạo đơn giản nhất với chiết suất của lõi và lớp vỏ bọc khác nhau 1 cách rõ rệt như hình bậc thang. Các tia sáng từ nguồn quang phóng vào đầu sợi với góc tới khác nhau sẽ truyền theo các đường khác nhau.



Hình 2.3 Sự truyền ánh sáng trong sợi quang có chiết suất nhảy bậc (SI)

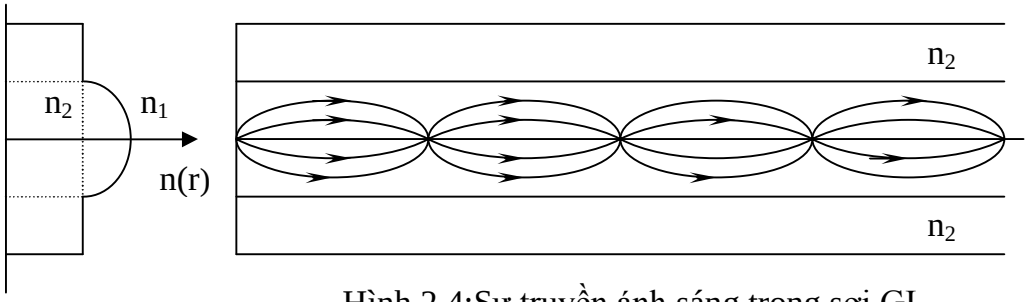
Các tia sáng truyền trong lõi với cùng 1 vận tốc:

$$V = \frac{C}{n_1}$$

Ở đây n_1 không thay đổi mà chiều dài đường đi lại khác nhau nên thời gian truyền sẽ khác nhau trên cùng một chiều dài sợi. Điều này dẫn tới hiện tượng khi đưa một xung ánh sáng hẹp vào đầu sợi lại nhận được một xung ánh sáng rộng hơn ở cuối sợi. Đây là hiện tượng tán sắc, do độ tán sắc lớn nên sợi SI không thể truyền tín hiệu tốc độ cao qua cự ly dài được. Nhược điểm này có thể khắc phục được trong loại sợi có chiết suất giảm dần.

❖ **Sợi quang có chiết suất giảm dần: (Graded – index: GI)**

Sợi GI có dạng phân bố chiết suất lõi hình parabol, vì chiết suất lõi thay đổi một cách liên tục nên tia sáng truyền trong lõi uốn cong dần.



Hình 2.4:Sự truyền ánh sáng trong sợi GI

Đường truyền của các tia trong sợi GI cũng không bằng nhau nhưng vận tốc truyền cũng thay đổi theo. Các tia truyền xa trục có đường truyền dài hơn nhưng lại có vận tốc truyền lớn hơn và ngược lại, các tia truyền gần trục có đường truyền ngắn nhưng lại có vân tốc truyền nhỏ hơn. Tia truyền dọc theo trục có đường truyền ngắn nhất vì chiết suất ở trục là lớn nhất. Nếu chế tạo chính xác sự phân bố chiết suất theo hình parabol thì đường đi của các tia sáng có dạng hình sin và thời gian truyền các tia này bằng nhau. Độ tán sắc của sợi GI bé hơn nhiều so với sợi SI.

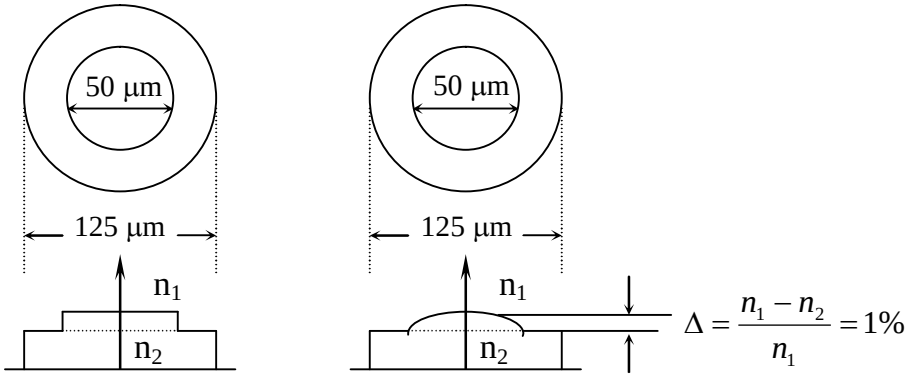
2.3.4.2. Phân loại dựa vào mode truyền dẫn

❖ **Sợi đa mode (Multi Mode: MM):**

Các thông số của sợi đa mode thông dụng (50/125 μm) là:

- Đường kính lõi: d = 2a = 50 μm
- Đường kính lớp bọc: D =2b = 125 μm
- Độ chênh lệch chiết suất: Δ = 0.01 =1%
- Chiết suất lớn nhất của lõi: n_1 = 1.46

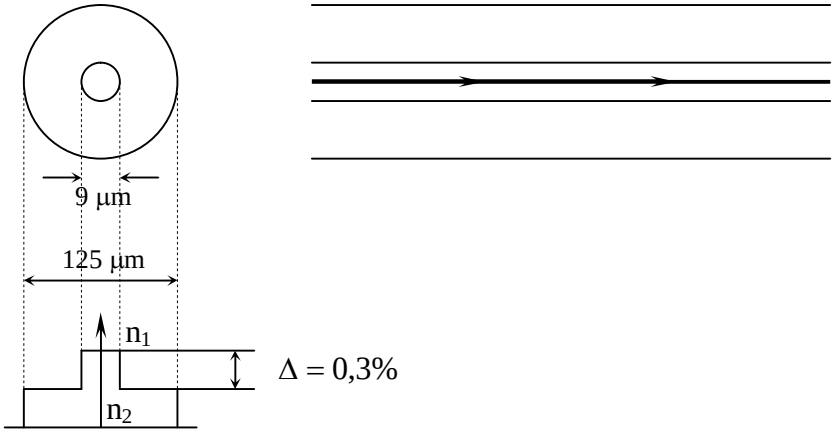
Sợi đa mode có chiết suất nhảy bậc hoặc chiết suất giảm dần.



a) Sợi SI b) Sợi GI

❖ **Sợi đơn mode (Single Mode: SM)**

Khi giảm kích thước của lõi sợi để chỉ có một mode sóng cơ bản truyền được trong sợi thì sợi được gọi là đơn mode. Trong sợi chỉ truyền một mode sóng cơ bản nên độ tán sắc do nhiều đường truyền bằng không và sợi đơn mode có dạng phân bố chiết suất nhảy bậc.



Các thông số của sợi đơn mode thông dụng là:

- Đường kính lõi : d = 2a =9μm ÷ 10μm
- Đường kính lớp bọc: D = 2b = 125μm
- Độ lệch chiết suất: Δ = 0,003 = 0,3%
- Chiết suất lõi: : n_1 = 1,46

Độ tán sắc của sợi đơn mode rất nhỏ, đặc biệt ở bước sóng 1300nm độ tán sắc của sợi đơn mode rất thấp. Do đó dải thông của sợi đơn mode rất rộng song vì kích thước của lõi sợi đơn mode quá nhỏ nên đòi hỏi kích thước của các linh kiện quang cũng phải tương đương và các thiết bị hàn nối sợi quang phải có độ chính xác rất cao. Các yêu cầu này ngày nay đều có thể đáp ứng được do đó sợi đơn mode đang được sử dụng rất phổ biến.

2.3.4.3. Phân loại theo vật liệu điện môi:

❖ Sợi quang thạch anh

- ❖ Sợi quang thuỷ tinh đa vật liệu
- ❖ Sợi quang bằng nhựa liệu

2.3.5. Suy hao 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 lặp tối đa giữa máy phát và máy thu. Mặt khác, do việc khó lắp đăt, chế tạo và bảo dưỡng các bộ lặp 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.

2.3.5.1. 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 α để biểu thị suy hao tính theo dB/km.

$$\alpha = \frac{10}{L}\log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right) \qquad (2.4)$$

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

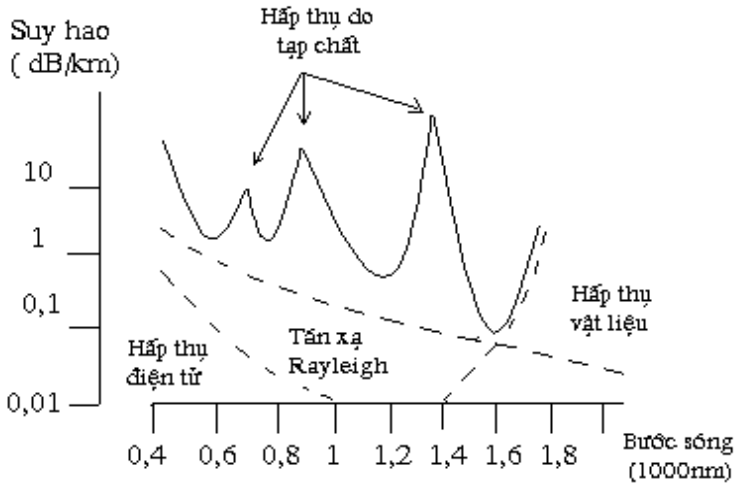
2.3.5.2. Các nguyên nhân gây ra suy hao trên sợi quang

- ❖ **Suy hao do hấp thụ**:

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

- Hấp thụ vật liệu:

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 2.5 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.

❖ **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.

Đối với thủy tinh thuần khiết, suy hao tán xạ tại bước sóng λ do sự bất ổn định về mật độ gây ra có thể được diễn giải như công thức dưới đây:

$$\alpha_{scat} = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4}(n^2-1)^2 k_B T_f \beta_T \qquad (2.5)$$

n: chỉ số chiết suất.

k_B : hằng số Boltzman.

β_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).

- Tán xạ Raylegh:

Các tia sáng truyền qua chỗ không đồng nhất sẽ toả đi nhiều hướng, chỉ một phần năng lượng ánh sáng truyền theo hướng cũ phần còn lại sẽ truyền theo hướng khác thậm chí truyền ngược về phía nguồn quang.

- Tán xạ do mặt phân cách giữa lớp vỏ và lõi không hoàn hảo:

Khi tia sáng truyền đến những chỗ không hoàn hảo giữa lõi và lớp bọc tia sáng sẽ bị tán xạ. Lúc đó một tia tới sẽ có nhiều tia phản xạ với các góc phản xạ khác nhau, những tia nào có góc phản xạ nhỏ hơn góc tơi hạn sẽ khúc xạ ra lớp vỏ bọc và bị suy hao dần.

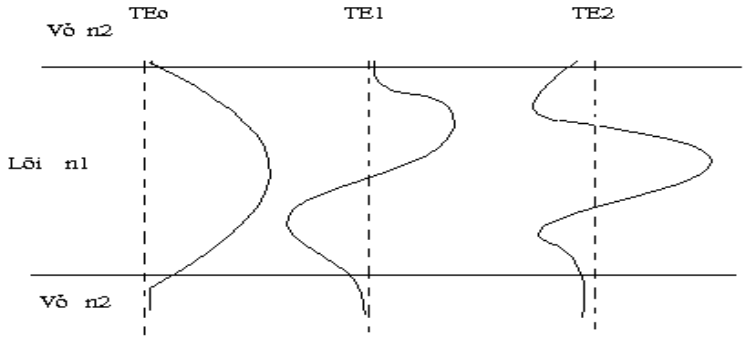
❖ **Suy hao do uốn cong sợi:**

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 xãy 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 2.6)

Đối với trường hợp sợi bi 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.

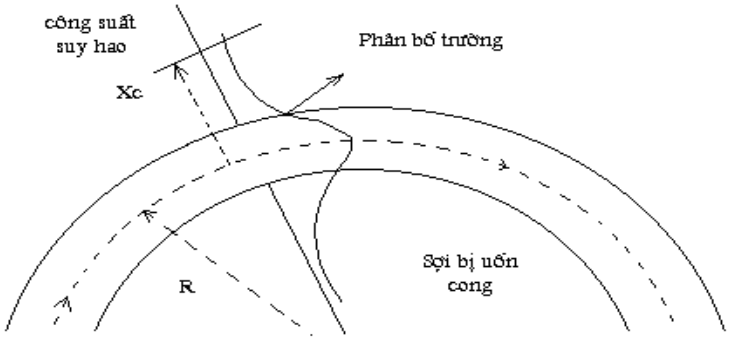


Hình2.6 : Sự phân bố trường điện đối với vài mode bậc thấp hơn trong sợi dẫn quang.

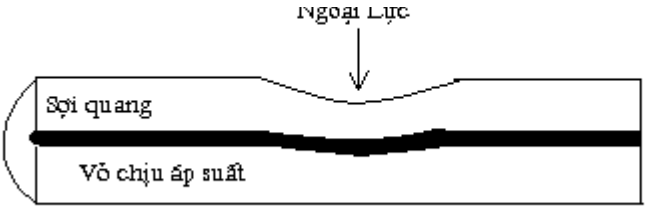
Có thể giải thích các hiệu ứng suy hao uốn cong này bằng cách khảo sát phân bố điện trường mode. Trường mode lõi có đuôi mờ dần sang vỏ, giảm theo khoảng

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 (2.7).

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 (2.8)



Hình 2.7: Trường mode cơ bản trong đoạn sợi bi uốn cong.



Hình 2.8: Vỏ chịu nén giảm vi uốn cong do các lực bên ngoài.

2.3.6. Tán sắc

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 λ. 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 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.

Tán sắc ống dẫn sóng: 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.

❖ **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:

$$\frac{\tau_n}{L} = \frac{1}{V_n} = \frac{d\beta}{cdk} = -\frac{\lambda^2}{2\pi c}\frac{d\beta}{d\lambda} \qquad (2.6)$$

β: là hằng số lan truyền dọc theo trục sợi

L: là cự ly xung truyền đi, và $k = {2\pi}/{\lambda}$

Khi đó, vận tốc nhóm được tính bằng

$$V_n = c\left(\frac{d\beta}{dk}\right)^{-1} \qquad (2.7)$$

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 $d\tau_n/d\lambda$. Nếu độ rộng phổ σ_λ của nguồn phát được đặc trưng bằng giá trị hiệu dụng (r.m.s) σ_λ thì độ giãn xung sẽ gần bằng độ rộng xung hiệu dụng

$$\sigma_n = \left(\frac{d\tau_n}{d\lambda}\right)\sigma_\lambda = -\frac{L\sigma_\lambda}{2\pi c}\left(2\lambda\frac{d\beta}{d\lambda} + \lambda^2\frac{d^2\beta}{d\lambda^2}\right) \tag{2.8}$$

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

❖ **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 tuỳ 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 $n(\lambda)$ ngang bằng với chỉ số chiết suất ở lõi sợi, khi đó hằng số lan truyền β được cho ở trường hợp này là:

$$\beta = \frac{2\pi n(\lambda)}{\lambda} \tag{2.9}$$

Thay thế phương trình này vào (2.4) với $k = 2\pi/\lambda$ sẽ thu được trễ nhóm τ_v cho tán sắc vật liệu:

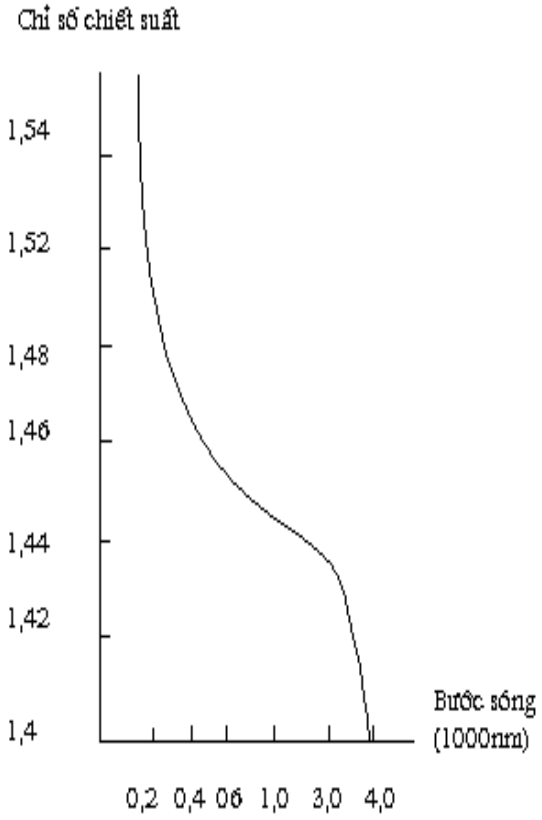
$$\tau_v = \frac{L}{c}\left(n - \lambda\frac{dn}{d\lambda}\right) \tag{2.10}$$

từ (2.12) thì sẽ có được độ giãn xung σ_v đối với độ rộng phổ σ_λ của nguồn phát bằng cách vi phân độ trễ nhóm này.

$$\sigma_v = \frac{d\tau_v}{d\lambda}\sigma_\lambda = -\frac{L}{c}\lambda\frac{d^2n}{d\lambda^2}\sigma_\lambda = D_v(\lambda)L\sigma_\lambda \qquad (2.11)$$

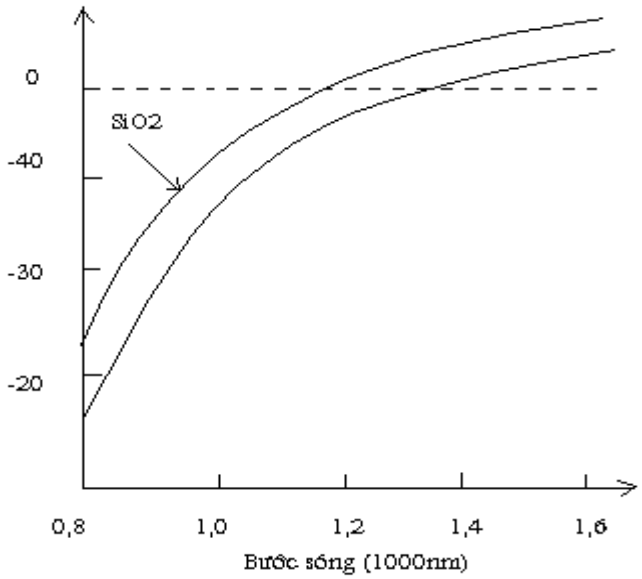
với $D_v(\lambda)$ là tán sắc vật liệu.

Đồ thị của phương trình (2.11) cho đơn vị độ dài L và đơn vị độ rộng phổ của nguồn phát σ_λ 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 2.9: Chỉ sô chiêt suât thay đôi theo bước sóng.

❖ **Tán sắc ống dẫn sóng:**



Hinh 2.11: 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:

$$b = 1 - \left(\frac{ua}{V}\right)^2 = \frac{\beta^2/k^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \tag{2.12}$$

đối với các giá trị chênh lệch chiết suất nhỏ $\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$, phương trình (2.12) có thể được viết lại như sau:

$$b = \frac{\beta/k - n_2}{n_1 - n_2} \tag{2.13}$$

từ đó ta có

$$\beta = n_2 k(b\Delta + 1) \tag{2.14}$$

Sử dụng hệ thức trên và giả sử n_2 không phải là hàm của bước sóng, ta thấy rằng trễ nhóm $\tau_{ds} = \frac{L}{c}\frac{d\beta}{dk} = \frac{L}{c}\left[n_2 + n_2\Delta\frac{d(kb)}{dk}\right]$ (2.15)

Mặt khác, $V = ka\left(n_1^2 - n_2^2\right)^{1/2} \approx kan_2\sqrt{2\Delta}$ thoả mãn đối với các giá trị Δ nhỏ nên (2.15) có thể viết lại

$$\frac{d(Vb)}{dV} = b\left[1 - \frac{2j_v^2(ua)}{j_{v+1}(ua)j_{v-1}(ua)}\right] \quad (2.16)$$

trong đó $n_2 + n_2\Delta\frac{d(Vb)}{dV}$ biểu thị sự trễ nhóm phát sinh do tán sắc dẫn sóng.

❖ **Ảnh hưởng của tán sắc:**

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 bít xuất hiện. Như vậy, đặc tính tán sắc làm giới hạn dung lượng truyền dẫn của sợi quang.

2.4. Tổng kết 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 THU VÀ PHÁT 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.

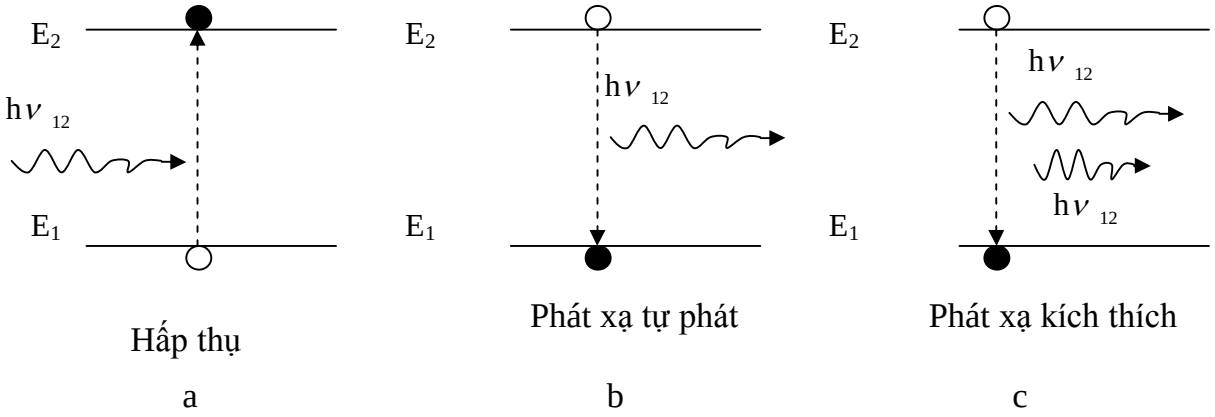
Điện tử rời khỏi mức năng lượng cao E_2 bị hạt nhân nguyên tử hút và quay về trạng thái ban đầu. Khi quay về trạng thái E_1 thì một năng lượng đúng bằng $E_2 - E_1$ được giải phóng. Đó là hiện tượng phát xạ tự phát và năng lượng được giải phóng tồn tại ở dạng ánh sáng gọi là ánh sáng phát xạ tự phát.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

$$\lambda = c\frac{h}{E_2 - E_1} \qquad (3.1)$$

Trong đó, $h = 6{,}625.10^{34}\ js$ (hằng số Planck)

$c = 3.10^8$ là vận tốc ánh sáng

Bước sóng tỷ lệ nghịch với độ lệch năng lượng của các nguyên tử cấu tạo nên linh kiện phát quang. Do đó bước sóng ánh sáng phát xạ phản ánh bản chất của vật liệu.



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 ó 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 phát quang (LED: Light Emitting Diode)

3.2.2.1.Đặc điểm chung:

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.

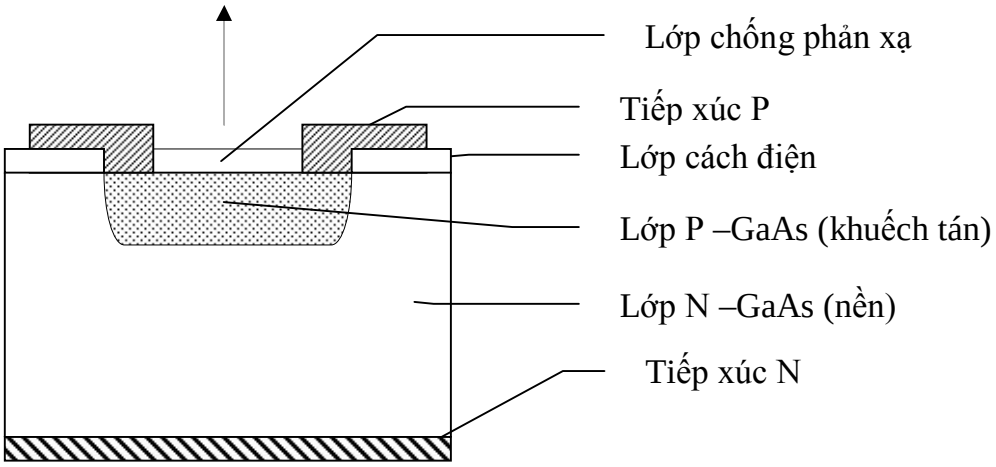
Thời gian đầu, khi công nghệ thông tin quang chưa được phổ biến, điốt phát quang thường dùng cho các sợi quang đa mode. Nhưng chỉ sau đó một thời gian ngắn, khi mà các hệ thống thông tin quang phát triển khá rộng rãi, các sợi dẫn quang đơn mode được đưa vào sử dụng trong các hệ thống thông tin quang 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.

3.2.2.2. Cấu tạo của các loại LED:

- **LED tiếp xúc mặt GaAs:**

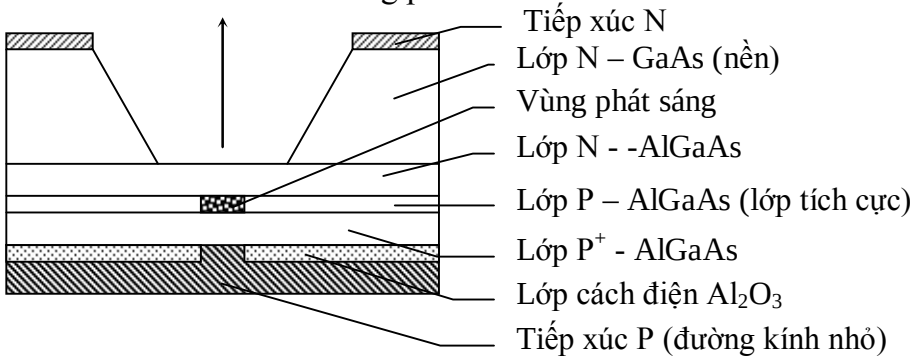
Đây là loại có cấu trúc đơn giản nhất, dùng bán dẫn GaAs với nồng độ khác nhau để làm lớp nền loại N và lớp phát quang loại P. Lớp P dày khoảng 200 μm, ở mặt ngoài lớp P có phủ 1 lớp chống phản xạ để ghép ánh sáng vào sợi quang. Bước song phát của LED GaAs trong khoảng từ 880 đến 950 nm.



Cấu trúc LED tiếp xúc mặt

❖ **LED Burrus**

LED được chế tạo theo cấu trúc nhiều lớp bao gồm các lớp bán dẫn loại N và P với bề dày và nồng độ khác nhau. Với cấu trúc nhiều lớp và vạch tiếp xúc P có kích thước nhỏ, vùng phát sáng của LED burrus tương đối hẹp. Ngoài ra trên bề mặt của LED có khoét môyj lỗ để đưa sợi quang vào gần vùng phát sáng. Bước song của LED Burrus dung bán dẫn AlGaAs/ GaAs trong khoảng từ 800 đến 850 nm. Nếu dung bán dẫn loại InGaAsP/ InP thì bước sóng phát ra dài hơn.

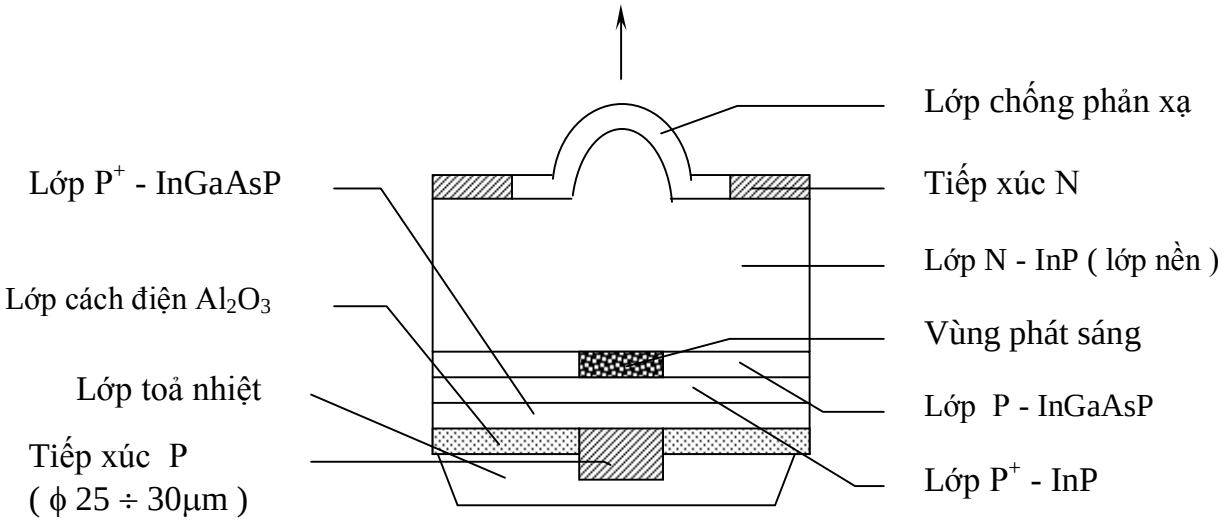


Cấu trúc LED Burrus

❖ **LED phát bước sóng dài**

Một loại LED phát bước sóng dài (1300nm và 1550nm) dùng bán dẫn AlGaAsP/InP. Tương tự như LED Burrus, loại này có cấu trúc nhiều lớp và có đường kính vạch tiếp xúc P nhỏ (25 đến 30 μm) nên có vùng phát sáng hẹp. Điểm khác biệt

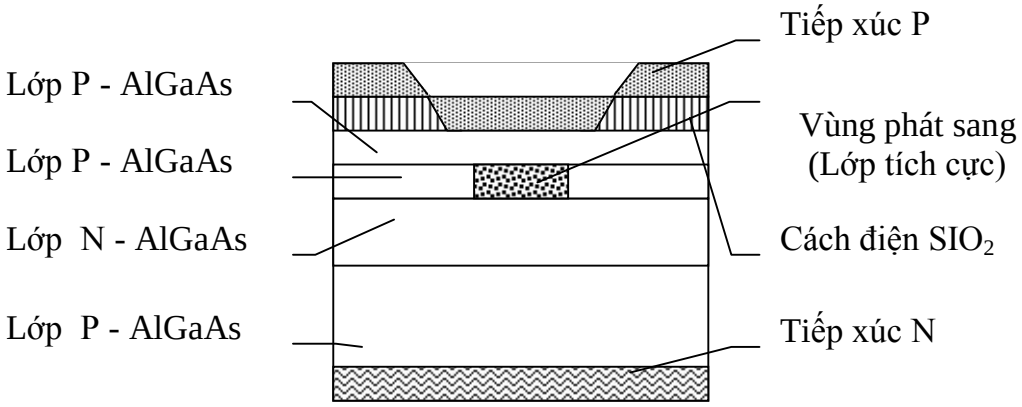
so với LED Burrus là thay vì khoét lỗ để ghép ánh sáng vào sợi quang thì ở đay dung lớp nền InP có dạng 1 thấu kính để ghép ánh sáng vào sợi quang.



LED phát bước sóng dài

❖ **LED phát xạ rìa (ELED :Edge Light Emitting Diode)**

Led phát xạ rìa có cấu tạo khác LED thông thường các điện cực tiếp xúc bằng kim loại phủ kín mặt trên và đáy của ELED. Do đó ánh sáng không thể phát ra hai phía mặt được mà bị giữ trong vùng tích cực có dạng vạch hẹp. Lớp tích cực rất mỏng bằng vật liệu có chiết suất lớn kẹp giữa hai lớp P và N có chiết suất nhỏ hơn.Cấu trúc như vậy tương tự cấu trúc sợi quang hay nói cách khác tương đương 1 ống dẫn song. Ánh sáng phát ra ở cả hai đầu ống dẫn song này, một trong 2 cực được nối với nguồn quang. Cấu trúc này có ưu điểm là vùng phát sáng hẹp và góc phát sáng nhỏ nên hiệu suất ghép quang vào sợi quang cao. Tuy nhiên nó cũng có hạn chế là khi hoạt động nhiệt độ của ELED tăng khá cao nên đòi hỏi phải được giải nhiệt.



LED phát xạ rìa (ELED)

3.2.2.3. Đặc tính kỹ thuật

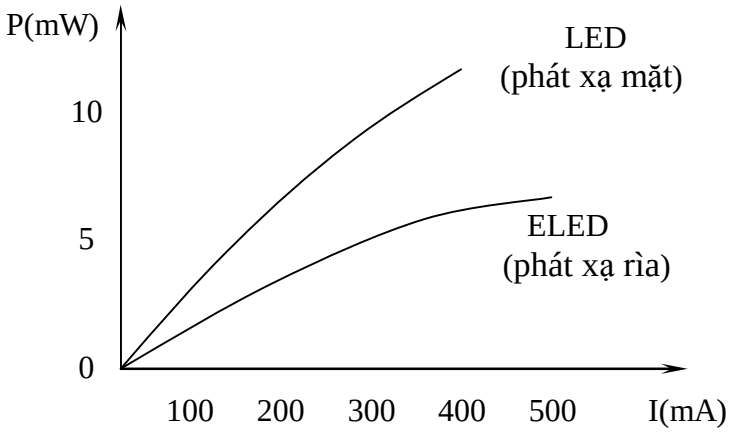
Các đặc tính của LED phụ thuộc rất nhiều vào cấu tạo của chúng. Ngoài ra theo đà phát triển của công nghệ bán dẫn chất lượng của LED ngày càng nâng cao hơn.

❖ **Thông số điện**

- Dòng điện hoạt động tiêu biểu: từ 50mA đến 300mA
- Điện áp sụt trên LED từ 1,5V – 2,5V

❖ **Công suất phát**

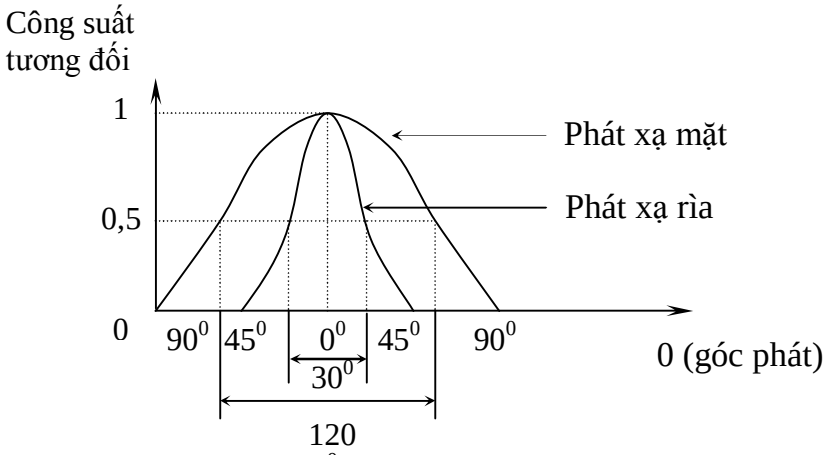
Là công suất tổng do nguồn quang phát ra, công suất phát của LED từ 1 đến 3mW. Đối với loại phát sáng cao công suát của LED có thể lên tới 10mW.Các LED phát xạ mặt có công suất phát cao hơn LED phgats xạ rìa với cùng dòng kích thích. Nhưng điều đó không có nghĩa là sợi quang nhận được công suất quang từ LED phát xạ mặt cao hơn LED phát xạ rìa.



Công suất phát của LED và ELED

❖ **Góc phát quang**

Công suất ánh sang do nguồn quang phát ra cực đại ở trục phát và giảm dần theo góc hợp với trục. Góc phát quang được xác định ở mức công suất phát quang giảm đi một nữa (3dB) so với mức cực đại. LED phát xạ mặt có góc phát quang lớn hơn so với LED phát xạ rìa.



Góc phát quang của LED và ELED

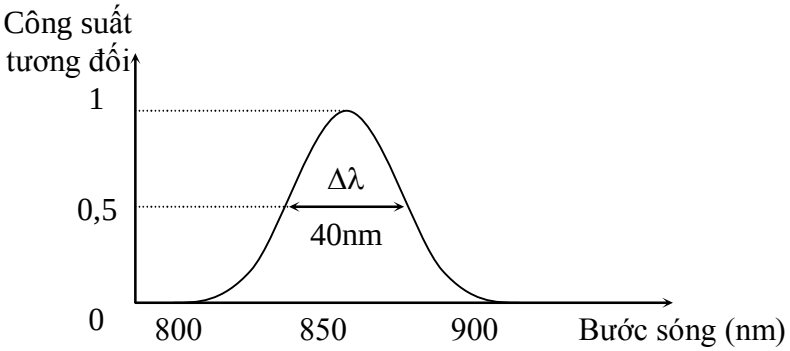
❖ **Hiệu suất ghép quang**

Hiệu suất ghép quang được tính bởi tỷ số công suất quang ghép vào sợi quang với công suất phát quang tổng cộng của nguồn quang. Hiệu suất ghép quang phụ thuộc vào kích thước của vùng phát quang, góc phát quang của nguồn, góc thu nhận (NA) của sợi quang và vị trí đặt nguồn quang và sợi quang. Hiệu suất ghép của Led phát xạ mặt khoảng 1 đến 5% và LED phát xạ rìa trong khoảng từ 5 đến 15%. Từ đó, tuy công suất phát của LED phát xạ mặt lớn hơn nhưng công suất đưa vào sợi quang của LED phát xạ rìa lại lớn hơn.

❖ **Độ rộng phổ**

Nguồn quang phát ra công suất cực đại ở bước sóng trung tâm và giảm dần về hai phía. Độ rộng phổ là khoảng bước sóng mà trong đó công suất quang không nhỏ

hơn nữa mức công suất đỉnh. Thông thường LED có độ rộng phổ trong khoảng 35 đến 100nm.



Độ rộng phổ của LED

❖ **Thời gian chuyển lên**

Là khoảng thời gian mà công suất ra tăng từ 10 đến 90% mức ccong suất ổn định khi có xung điện kích thích nguồn quang. Thời gian chuyển lên của nguồn quang có ảnh hưởng đến tốc độ bit của tín hiệu điều chế, muốn điều chế ở tốc đọ càng cao thì nguồn quang phải có thời gian chuyển càng nhanh. Giải thông tối đa của tín hiệu điều chế phụ thuộc vào thời gian chuyển.

❖ Ảnh hưởng của nhiệt độ

Khi nhiệt độ tăng thì công suất paths giảm, tuy nhiên mức độ ảnh hưởng bởi nhiệt độ của LED không cao.

- Ở bước song 850nm: đọ ảnh hưởng là -1% /^{0}C
- Ở bước sóng 1300nm và 1550nm: đọ ảnh hưởng từ 2 đến 4 % /^{0}C

3.2.3. Diode Laser (LD)

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

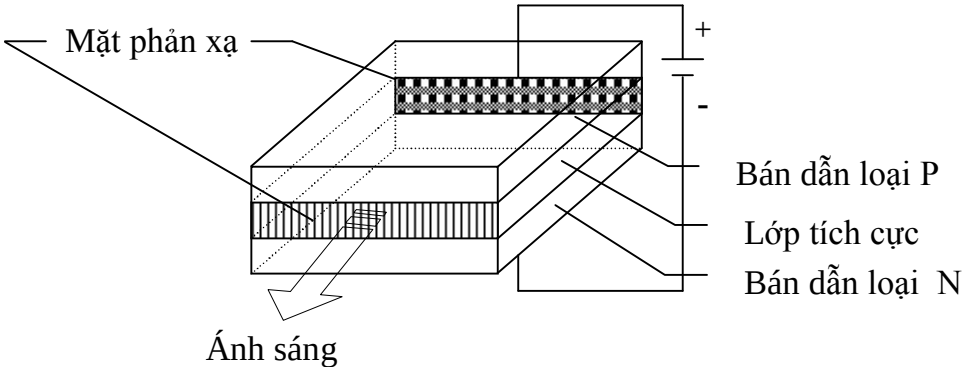
Laser là kết quả của ba quá trình mấu chốt là: hấp thụ phôton, phát xạ tự phát và phát xạ kích thích.

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.

3.2.3.1. Cấu tạo của Laser:

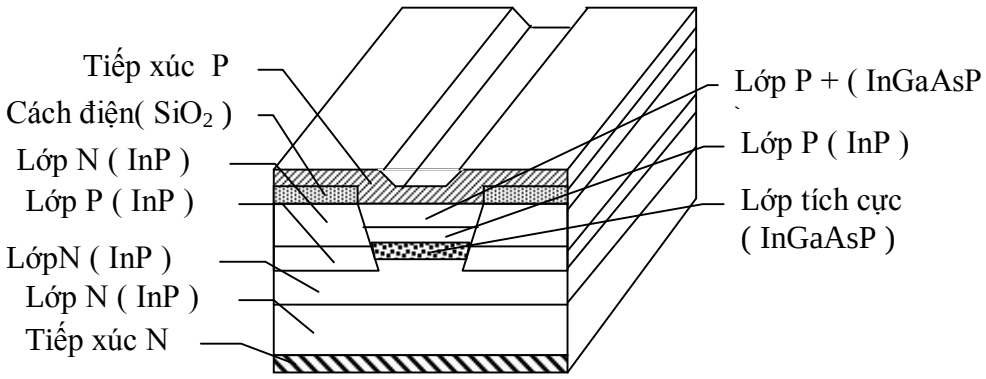
Cấu tạo của nó gần giống với ELED, điểm khác biệt cơ bản là trong Laser có 2 mặt phản xạ ở hai đầu lớp tích cực tạo nên hốc cộng hưởng quang. Phần ánh sang phát ra theo chiếu dọc của hốc cộng hưởng sẽ bị phản xạ qua lại giữa hai mặt phản xạ. Trong quá trình di chuyển theo chiều dọc của hốc ánh sang kích thích các điện tử kết hợp lỗ trống đẻ phóng ra các photon mới. Phần ánh sáng thoát ra theo phương khác bị thất thoát dần. Như vậy chỉ có phần ánh sáng phát ra theo chiều dọc mới được khuếch đại.

Mặt sau của Laser được phủ một lớp phản xạ còn mặt trước được cắt nhẵn để một phần ánh sáng phản xạ còn một phần chiếu ra ngoài.



Nuyên lý cấu tạo Laser bán dẫn

Nhằm tăng hiệu quả phát xạ, các Laser thực tế có cấu trúc phức tạp hơn chẳng hạn như loại Laser có cấu trúc nhiều lớp chon được gọi là Laser BH (Buried Heterostructure) có vùng phát sáng rất hẹp nên hiệu suất ghép quang vào sợi rất cao.

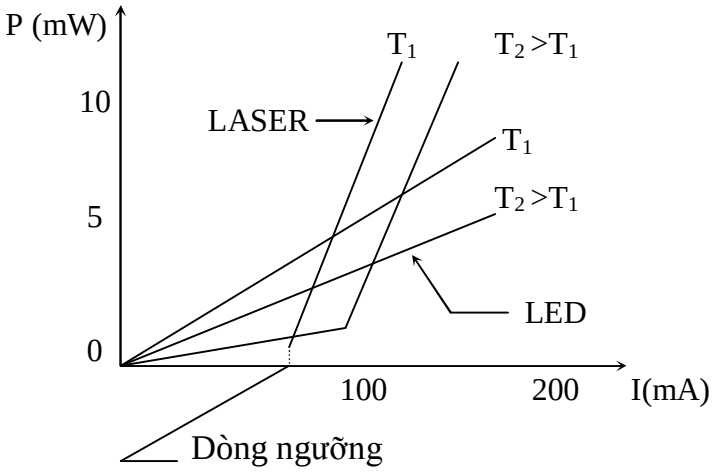


3.2.3.2. Đặc tính kỹ thuật

❖ **Thông số điện**

- Dòng điện ngưỡng:

Khi dòng điện kích thích cho Laser có trị số nhỏ, Laser hoạt đọng ở chế độ phát xạ tự phát nên công suất phát ra rất thấp. Khi được kích thích với dòng điện lớn Laser hoạt động ở chế độ khích thích công suất quang tăng nhanh theo dòng kích thích.



Dòng ngưỡng thay đổi theo nhiệt độ. Đối với Laser cũ thì dòng ngưỡng có giá trị từ 50 đến 100mA còn đối với Laser đời mới thì dòng ngưỡng từ 10 đến 20 mA.

- Dòng điện kích thích: từ vài chục đến vài trăm tuỳ theo loại
- Điện áp sụt trên Laser từ 1,5 đến 2,5V

❖ **Công suất phát**

Công suất phát của Laser từ 1 đến 10mW, đối với những Laser đời mới thì có thể lên tới 50mW hay hơn nữa.

❖ **Góc phát sáng**

Góc phát sáng của Laser theo phương ngang của lớp tích cực chỉ trong khoảng $5 \div 10^{0,}$ còn theo phương vuông góc lớp tích cực góc phát có thể lên tới 40^0. Như vậy mặt bao của góc phát không phải là mặt nón tròn xoay mà là mặt nón hình elip.

❖ **Hiệu suất ghép**

Laser có vùng phát sáng nhỏ, góc phát sáng hẹp nên hiệu suất ghép ánh sáng vào sợi quang rất cao.

Trung bình hiệu suất ghép quang của Laser trong khoảng:

30% đến 50% đối với sợi đơn mode

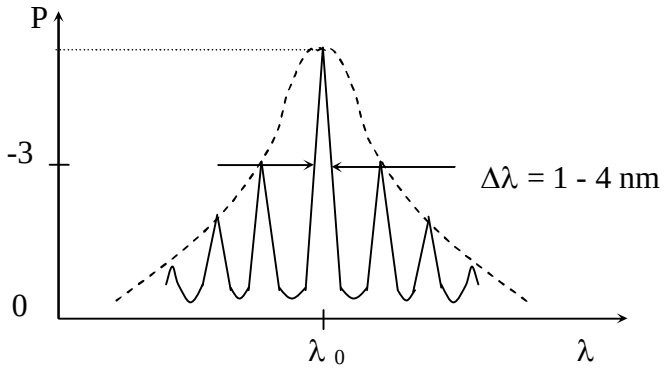
60% đến 90% đối với sợi đa mode

Để tăng hiệu suất ghép quang người ta có thể thêm các chi tiết phụ giữa nguồn quang và sợi quang như đặt thêm tháu kính giữa nguồn quang và sợi quang, tạo đầu sợi quang có dạng mặt cầu….

❖ **Độ rộng phổ**

Dạng phổ của phát xạ của Laser là tổng hợp đặc tuyến khuếch đại (do bề rộng khe năng lượng thay đổi) và đặc tuyến ghốc cộng hưởng quang (phụ thuộc vào chiều dài hốc). So với LED thì phổ phát xạ cảu Laser rất hẹp trong khoảng từ 1 đến 4nm. Dạng phổ gồm nhiều vạch rời rạc nên gọi là phổ của Laser đa mode. Người ta có khuynh hướng chế tạo Laser có phổ ngày càng hẹp để giảm tán sắc chất liệukhi sử

dụng bước song 1550nm. Và trong tương lai có thể áp dụng rộng kỹ thuật ghép kênh theo bước sóng.



Phổ phát xạ của Laser thực tế

❖ **Thời gian chuyển lên**

Thời gian để công suất quang tăng lên từ 10% đến 90% mức công suất xác lập, thông thường không quá 1ns.

❖ **Ảnh hưởng của nhiệt độ**

Khi nhiệt độ thay đổi thì dòng ngưỡng của Laser cũng thay đổi do đó công suất phát ra cũng thay đổi nếu giữ nguyên dòng kích thích, Khi nhiệt độ tăng thì dòng ngưỡng cũng tăng theo dạng hàm mũ của sự gia tăng nhiệt độ. Trung bình độ gia tăng dòng ngưỡng vào khoảng +1%/^{0}C. Ngoài ra khi nhiệt độ thay đổi thì công suất phát cũng thay đổi nhưng múc độ ảnh hưởng thấp.

3.2.3.3.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 tưởng 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

3.3.1. Cơ chế thu quang

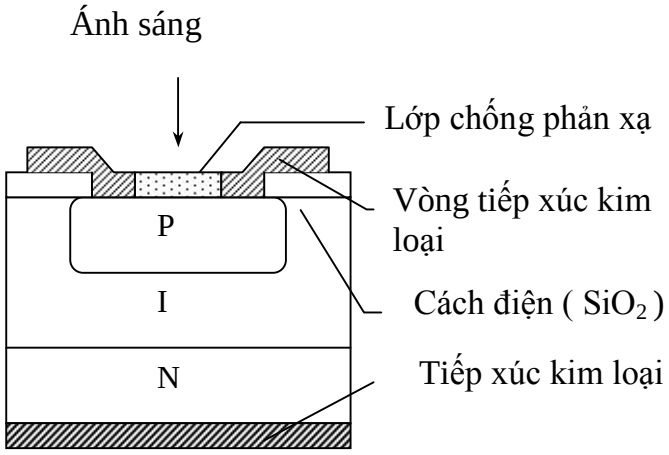
Cơ sở của hiệu ứng quang điện là quá trình hấp thụ ánh sáng trong chất bán dẫn. Khi ánh sáng đập vào một vật thể bán dẫn, các điện tử trong vùng hoà trị được chuyển dời tới vùng dẫn nhưng nếu không có một sự tác động sảy ra thì sẽ không thu được kết quả gì mà chỉ có các điện tử chuyển động ra xung quanh 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. Photodiode PIN

3.3.2.1. Cấu tạo

Cấu tạo của diode thu quang PIN gồm có 3 lớp bán dẫn P-I-N, trong đó lớp I là lớp bán dẫn không pha tạp chất hoặc pha với nồng độ rất thấp. Quá trình hấp thụ photon để tách các điện tử và lỗ trống xảy ra trong lớp I. Do đó lớp I càng dày thì hiệu suất lượng tử sẽ cao nhưng thời gian trôi của điện tử sẽ càng chậm. Điều này làm giảm khả năng hoạt động với tốc độ cao của PIN. Bề dày của lớp P phụ thuộc khả năng thâm nhập của ánh sáng vào bán dẫn, ánh sáng có bước sóng càng cao thì khả năng thâm nhập vào bán dẫn càng lớn.

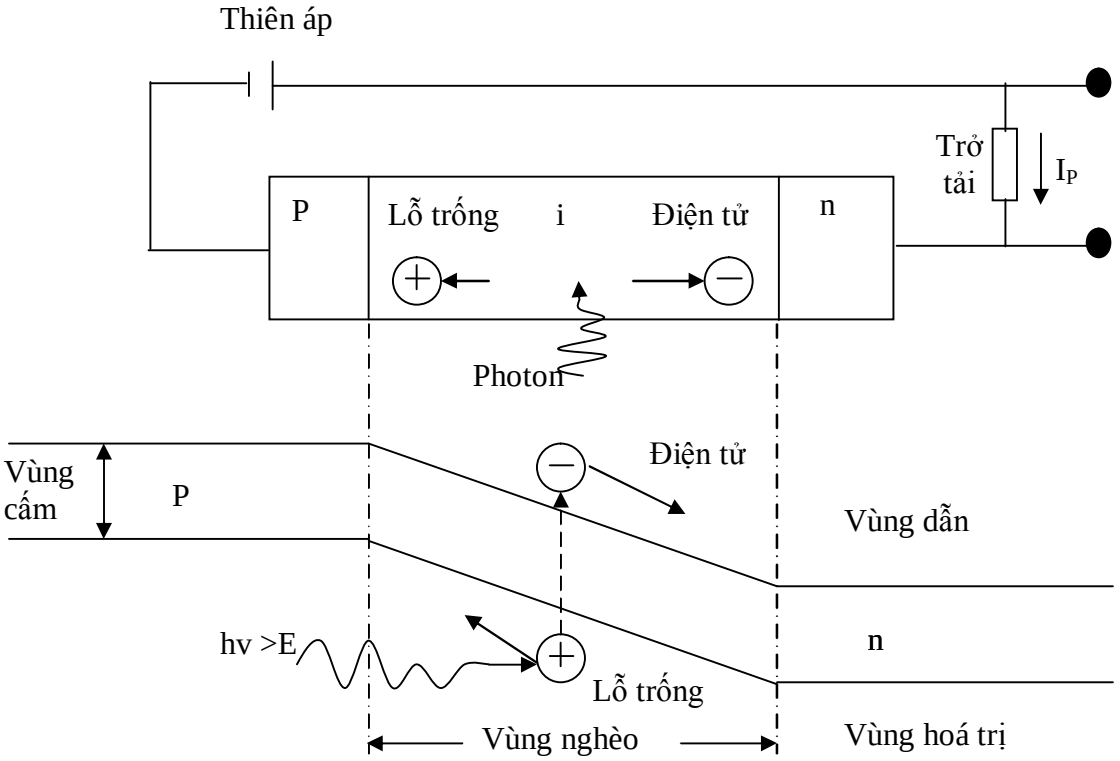


Cấu tạo của diode thu quang PIN

3.3.2.2. Nguyên lý hoạt động

Phôtođiốt PIN là bộ tách sóng dùng để biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Cấu trúc cơ bản của Photođiốt 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 Photođiốt PIN thì sẽ xảy ra quá trình như sau. Nếu một photon trong chùm ánh sáng tới mang một năng lượng hv lớn hơn hoặc ngang bằng với năng lượng dải cấm của lớp vật liệu bán dẫn

trong Photođiốt 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.



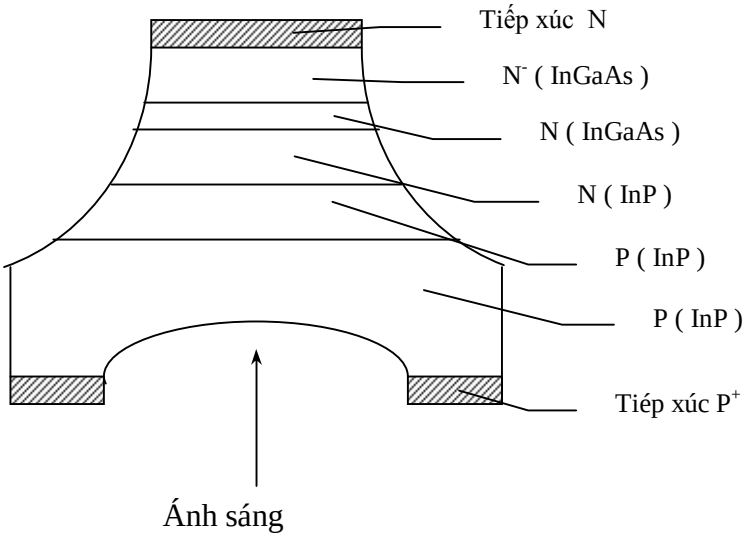
Hình 3.2: Sơ đồ vùng năng lượng của Photođiốt PIN.

Trong trường hợp lý tưởng, mỗi photon chiếu vào phái 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. Photodiode thác APD:

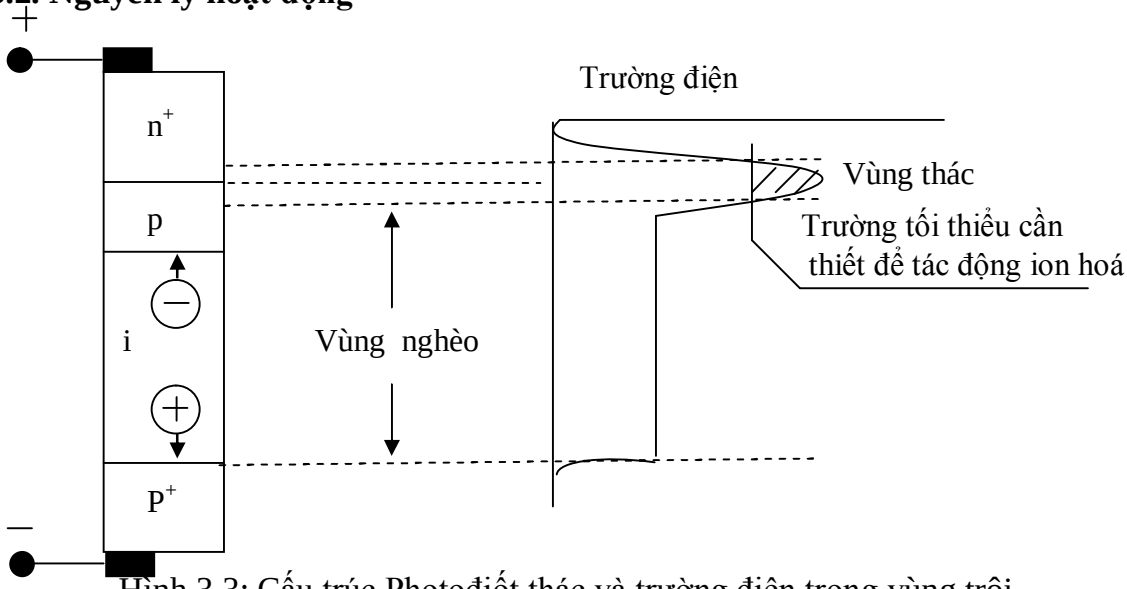
3.3.3.1. Cấu tạo

Ứng dụng hiện tượng nhân điện tử trong bán dẫn người ta chế tạo APD trong đó P^+ và N^+ là hai lớp bán dẫn có nồng độ tạp chất cao còn P^- là lớp có nồng độ tạp chất rất thấp(thay thế lớp I trong PIN).



Cấu tạo APD

3.3.3.2. Nguyên lý hoạt động



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

Khi có ánh sáng chiếu vào các photon bị hấp thụ và sinh ra các cặp điện tử lỗ trống. Lỗ trống di chuyển về phía P^+ nối với cực âm của nguồn còn điện tử di chuyển về lớp tiếp giáp phía PN^+ điện trường cao trong vùng này sẽ tăng tốc cho điện tử. Điện tử va chạm với các tinh thể bán dẫn tạo nên các cặp điện tử lỗ trống mới. Các điện tử thứ cấp mới lại có khả năng gây ra sự oxi hoá do va chạm. Quá trình cứ tiếp diễn và số lượng hạt tải điện tăng lên rất lớn.

3.3.4. Thông số của thiết bị thu quang

- **Hiệu suất lượng tử**

Là tỉ số điện tử được sinh ra trên tổng số photon được hấp thụ. Thông thường các diode đạt hiệu quả khoảng 60 đến 90%.

$$\eta = \frac{n_e}{n_{ph}}$$

Trong đó: η : Hiệu suất lượng tử

n_{ph} : Số photon hấp thụ

n_e : Số lượng điện tử tách ra

- **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

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.2)$$

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: $q_0 = N_0 \eta e$ (3.4)

với $e = 1{,}6.10^{-19} c$

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

$$i_0 = \frac{dq_0}{dt} = \eta.e\frac{dN_0}{dt} \quad (3.5)$$

$$\Leftrightarrow i_p = \frac{\eta.\lambda.eP_T}{hc} = SP_T$$

gọi S độ nhạy quang có thứ nguyên [A/W] và $S = \frac{\eta.\lambda.e}{hc}$ (3.6)

❖ **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 photođiôt 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:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_p}{P_{TS} + P_{KD}} \quad (3.7)$$

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:

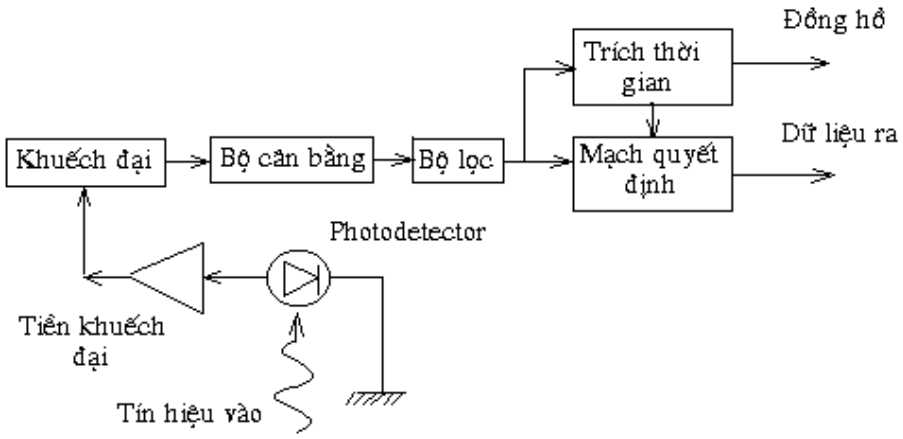
- Sử dụng các bộ tách sóng quang có hiệu suất lượng tử cao nhằm tạo ra công suất tín hiệu lớn.
- Phải hạn chế được các tạp âm của bộ tách sóng quang và bộ khuếch đại tín hiệu trong bộ thu quang càng nhiều càng tốt.

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

ần 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 đươc 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.

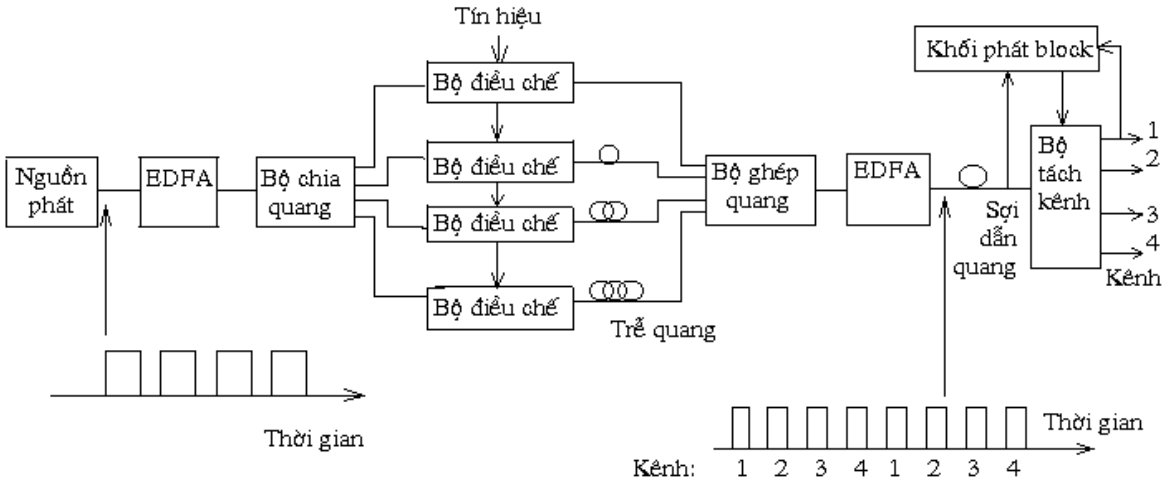
Như ta đã biết, các hệ thống thông tin quang thích hợp với công nghệ truyền dẫn SDH. Kỹ thuật SDH sẽ ghép các kênh để tạo ra các luồng tín hiệu quang, còn OTDM sẽ thực hiện việc ghép các luồng quang này để tạo ra các tuyến truyền dẫn có dung lượng cao.

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. Tuỳ 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.

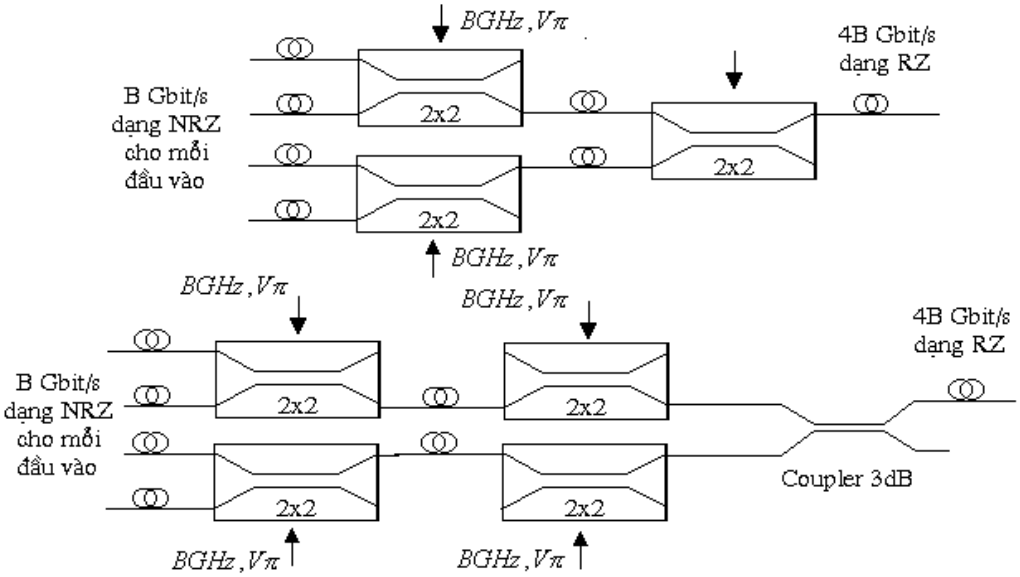
4.3. Phát tín hiệu trong hệ thống OTDM

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

- Tạo luồng số liệu quang số RZ thông qua việc sử lý quang luồng NRZ.

- 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 cầy 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 NZ 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 vời 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.

có thể phát xung rất hẹp ở tốc độ cao và đầu ra của nguồn là các bộ chia quang thụ n 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 tuỳ 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:

- Các Laser hốc cộng hưởng ngoài gõ mode 4x5Gbit/s
- Các Laser DFB chuyển mạch khuếch đại 8x6,25Gbit/s.
- Các Laser vòng sợi khoá mode 4x10Gbit/s và 16x6,25Gbit/s.
- 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 rẽ kênh trong hệ thống OTDM

4.4.1. Giải ghép

Khi xem sét 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.

$$EX = 10\log_{10} A/B \qquad (4.1)$$

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 chờm 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.

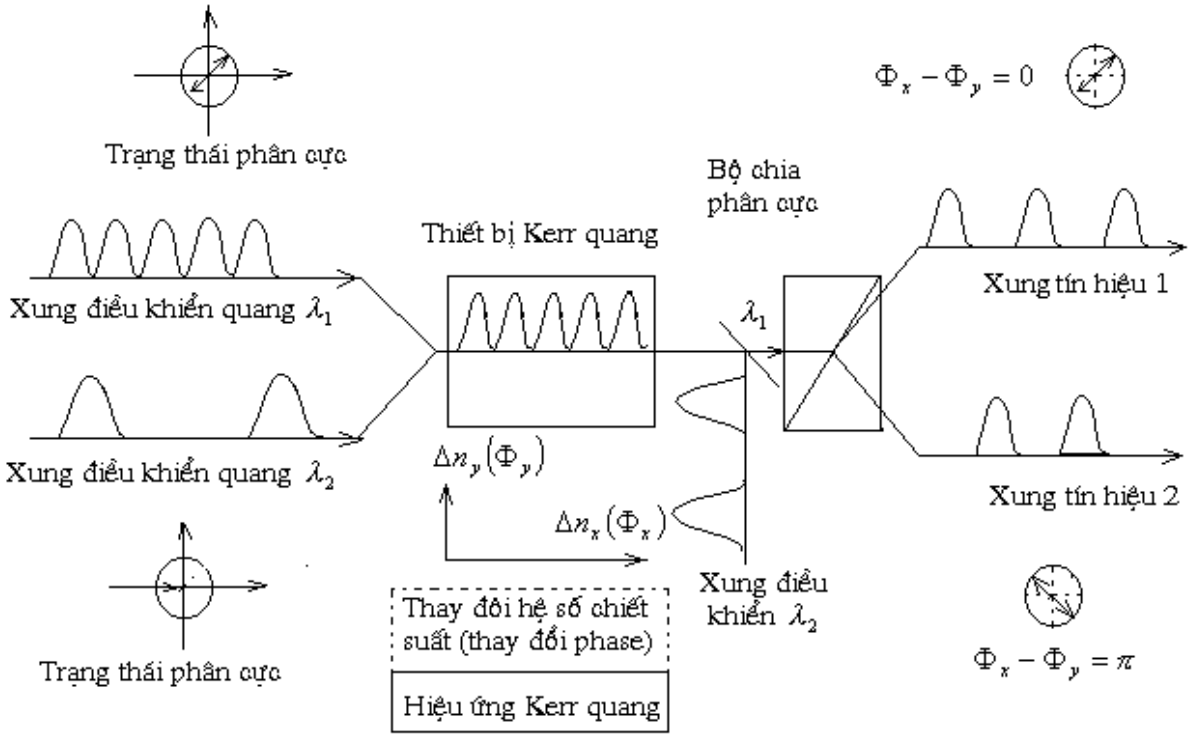
Bảng tóm tắt các phương pháp giải ghép kênh OTDM.

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 số	40>10Gbit/s cửa sổ 22ps. Rẽ và xen kênh
- Bộ điều khiển điện-hấp thụ	Sóng điện hình sin	Không nhạy cảm phân cực 40>10Gbit/s cửa sổ 10ps
- Quang Kerr: sợi	Xung quang	40Gbit/s 5Gbit/s
- Trộn sóng: sợi	Xung quang	100>6,25Gbit/s
- Gương vòng: Sợi	Xung quang	40>20Gbit/s 100>6,25Gbit/s, cửa sổ 6ps Rẽ và xen kênh 40Gbit/s*10Gbit/s
- Trộn sóng: bán dẫn	Xung quang	20>5Gbit/s
- Quang Kerr: bán dẫn	Xung quang	20>10Gbit/s
-Gương vòng: bán dẫn	Xung quang	40>10Gbit/s 250>1Gbit/s cửa sổ 4ps

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 sử lý quang hoàn toàn cho giải ghép với các đặc tính nổi bật sau:

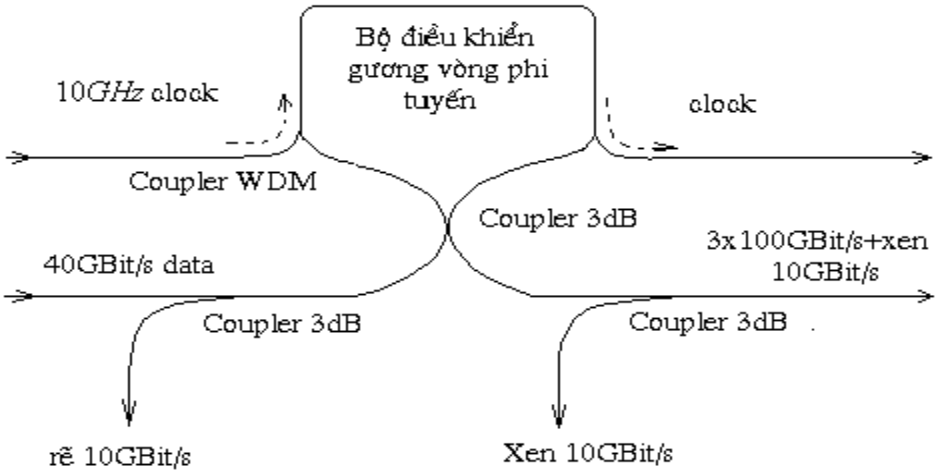
- Cho phép thoả mãn về các mức độ giải ghép kênh.
- Lấy được kênh, truy cập đến các kênh dang truyền để thực hiện việc xen và rẽ kênh.
- Các cửa sổ chuyển mạch có các ưu điểm nổi bật cho hệ thống OTDM, điều này cho phép sử dụng các xung tín hiệu rộng hơn trước khi các kênh kề nhau gây ra xuyên kênh.



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 sảy 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.

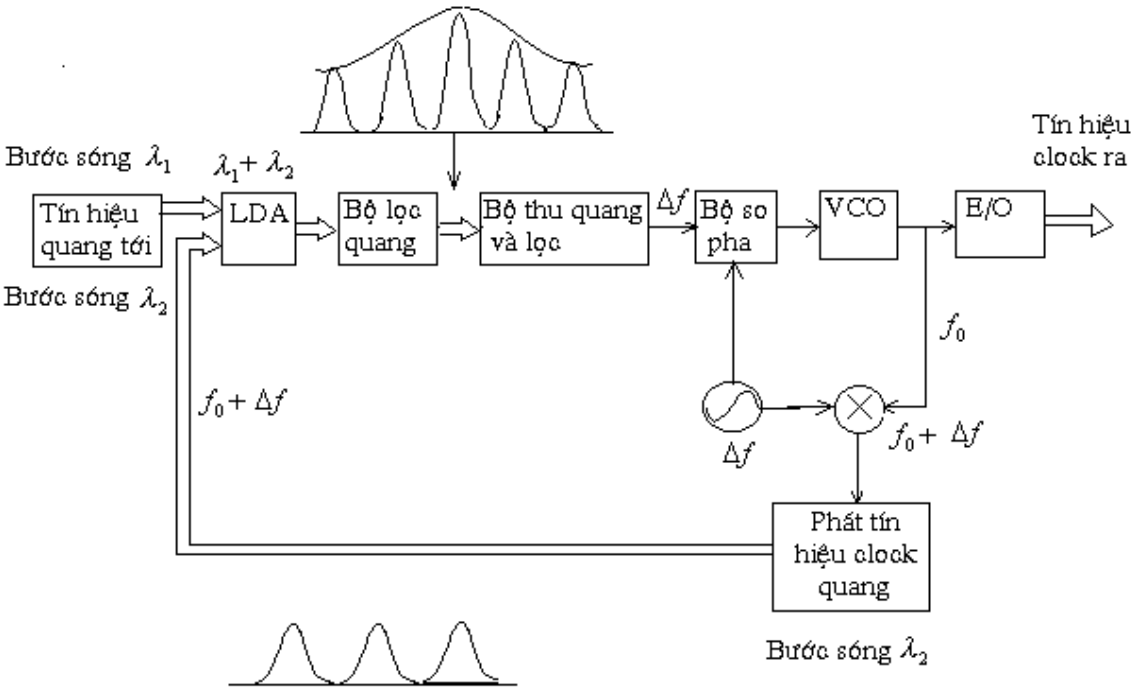
4.4.2. Xen rẽ kênh

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 chuôi 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 khiển 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 chon 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 sử 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 biển đổi thành tín hiệu điện thì các thiết bị truyền dẫn như các thiết bị đầu cuối quang, thiết bị xen rẽ 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 bít 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 rât 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 Δf với Δf 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 Δf 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 $f_0 + \Delta f$ 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 thông 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 sảy 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 ODTM 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 diều 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

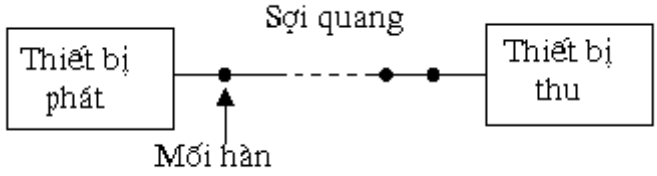
TÍNH TOÁN VÀ THIẾT KẾ TUYẾN CÁP QUANG THEO QUỸ CÔNG SUẤT VÀ THỜI GIAN LÊN.

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 trong 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 bao 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 mối 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 thoả 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:

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

5.3. 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:

$$P_s - P_r = 0 \quad (5.1)$$

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:

$$A = -10\log\frac{p_{out}}{p_{in}} \quad (5.2)$$

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:

$$10\log[P_s.(hs)] - MDP = (\alpha + \alpha_{cap})L + n.\alpha_c + m.\alpha_S + \alpha_d + \alpha_{device} \quad (5.3)$$

Trong đó: P_s là công suất phát [mW]

hs: Hiệu suất ghép quang [%]

MDP: Độ nhạy máy thu

MDP=-27,5dBm [7]

α, 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]

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

- Công suất quang tới P_d [dB]:

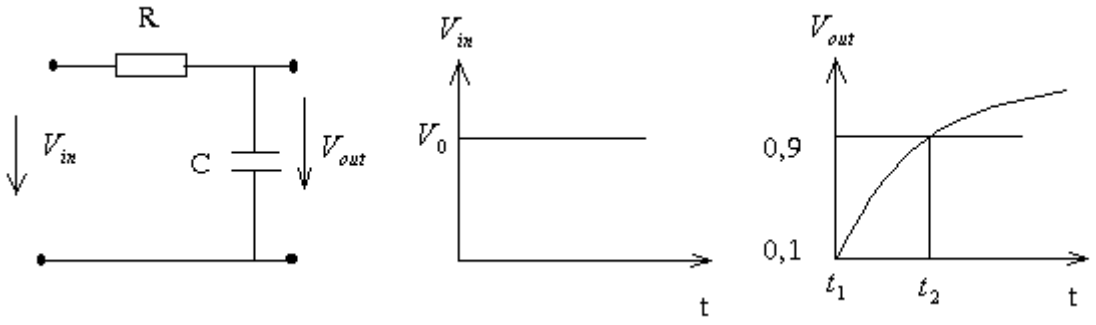
$$P_d = 10\log[P_s.(hs)] - [(\alpha + \alpha_{cap}).L + n.\alpha_c + m.\alpha_s + \alpha_d + \alpha_{device}] \quad (5.4)$$

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 quả 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:

$$V_{in} = V_0.1(t) \Rightarrow V_{in}(p) = V_0/p \quad (5.5)$$

Hàm truyền: $H(p) = \frac{1}{1 + p\tau}$ với $\tau = RC$ (5.6)

$$\Rightarrow V_{out}(p) = H(p).V_{in}(p) = \frac{V_0}{p(1+p\tau)} \quad (5.7)$$

$$\Rightarrow V_{out}(t) = V_0.\left[1-\exp\left(-t/\tau\right)\right] \quad (5.8)$$

tại t_1: $$0{,}1V_0 = V_0\left[1-\exp\left(-t_1/\tau\right)\right]$$

$$\Leftrightarrow \exp\left(-t_1/\tau\right) = 0{,}9$$

tại t_2: $$0{,}9V_0 = V_0\left[1-\exp\left(-t_2/\tau\right)\right] \quad (5.9)$$

$$\Leftrightarrow \exp\left(-t_2/\tau\right) = 0{,}1 \quad (5.10)$$

Từ (5.9) và (5.10) ta có:
$$t_2 - t_1 = \ln(9).\tau$$
$$\Leftrightarrow t = \ln(9)RC = 2{,}2RC \quad (5.11)$$

Từ (5.6) ta có: $$H(f) = \frac{1}{1+2j\pi fRC} \quad (5.12)$$

Do đó băng thông của mạch: $$B = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5.13)$$

Từ (5.11) và (5.13) ta được:

$$t = \frac{2{,}2}{2\pi B} = \frac{0{,}35}{B} \quad (5.14)$$

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:

$$t_{\max} = \frac{0{,}35}{B_{rx}} \quad (5.15)$$

Với tín hiệu loại NRZ: $$t_{rx(\max)} = 0{,}7/R \quad (5.16)$$

Với loại tín hiệu RZ: $$t_{\max} = \frac{0{,}35}{R} \quad (5.17)$$

khi đó thời gian lên của tuyến:

$$t_t = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} t_i^2} \tag{5.18}$$

-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

$$t_n = 350/B \tag{5.19}$$

-Thời gian lên tán sắc mode của sợi quang

$$t_{\mathrm{mod}\,e} = 440.L^q/B_0 \text{ [ns]} \tag{5.20}$$

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

$$t_{VL} = D.L.\sigma \tag{5.21}$$

Trong đó D: Hệ số tán sắc

σ : Độ rộng nguồn phát

(5.17) có thể được viết lại:

$$t_t = \sqrt{t_{tx}^2 + (D.L.\sigma)^2 + \frac{440L^q}{B_0} + \left(\frac{350}{B_{rx}}\right)^2} \tag{5.22}$$

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 rao 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:

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

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 khuyếch đại, có xu hướng chi phối trong quá trình khuyếch đại khi sử dụng photodiode PIN với tỷ số tín hiệu trên nhiễu thấp, có thể đạt được hệ số khuyếch đại tối ưu bằng thiết kế cân bằng giữa nhiễu nhiệt và nhiễu lương tử không phụ thuộc vào hệ số khuyếch 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(^{0}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:

$$i_s = \frac{\eta e}{h\nu} p_s \qquad (5.25)$$

Với: η là hiệu suất lượng tử

h là hằng số plank, h =6,626.10^{-34} Js

Mặt khác ta có công suất trên tải:

$$S = i^2.R_L$$

$$S= (\frac{\eta e}{h\nu}.p_s)^2.R_L \qquad 5.26$$

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

$$. N_{shot} = i^2{}_{shot}.R_L = 2.eI.BR_L = 2e(\frac{\eta e}{h\nu} P_s + i_d).B.R_L \qquad 5.27$$

-Dòng và thế của nhiễu nhiệt:

$$i_{nh}^2 = \frac{4KTB}{R_L} \quad : u_{nh}^2 = 4\text{KTB}.R_L$$

Công suất nhiễu nhiệt:

$$N_{nh} = \frac{4KTB}{R_L} R_L = 4KTB \qquad 5.28$$

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

$$\frac{S}{N} = \frac{(\frac{\eta e}{h\nu} p_s)^2 R_L}{2e(\frac{\eta e}{h\nu}.p_s + i_d)B.R_L + 4K.B.T} \qquad 5.29$$

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 $i^2{}_{shot}$ = 2.e.I.B cũng nhân được lên lớp nhân với hệ số nhân M.

$$i^2_{\hat{e}hot} = (\frac{\eta e}{h\nu}.p_s + i_d)M^{2+x.}B \quad 5.30$$

$$N_{shot} = i^2_{shot}.R_L = 2.eI.BR_L = 2e(\frac{\eta e}{h\nu}P_s + i_d).M^{2+x}.B.R_L \quad 5.31$$

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:

$$\frac{S}{N} = \frac{(\frac{\eta e}{h\nu}M.p_s)^2 R_L}{2e(\frac{\eta e}{h\nu}.p_s + i_d)M^{2+x}B.R_L + 4K.B.T} \quad (5.32)$$

Tỷ lệ lỗi bit: $$BER = \frac{\exp(-q^2/2)}{q\sqrt{2.\pi}} \quad (5.33)$$

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	$\pm 50nm$
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	$\approx 1nA$

Suy hao do hàn nối và bộ nối:

Tham số	Giá trị
Suy hao mối 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:

- LED không được sử dụng với sợi quang đơn mode
- LED không được sử dụng với điốt quang APD
- LD không được sử dụng với sợi đa mode
- 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

5.8. 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 bi 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 km
- Tốc độ bit : B_t =2,5 Gb/s
- Mã sử dụng là mã RZ
- Số conector(mối nối) : 2

- Số Slice(mối hàn) : 20
- BER cho phép 10^{-10} và không sử dụng bộ khuyếch 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 thết 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 ngắn 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=17ps/nm.km.

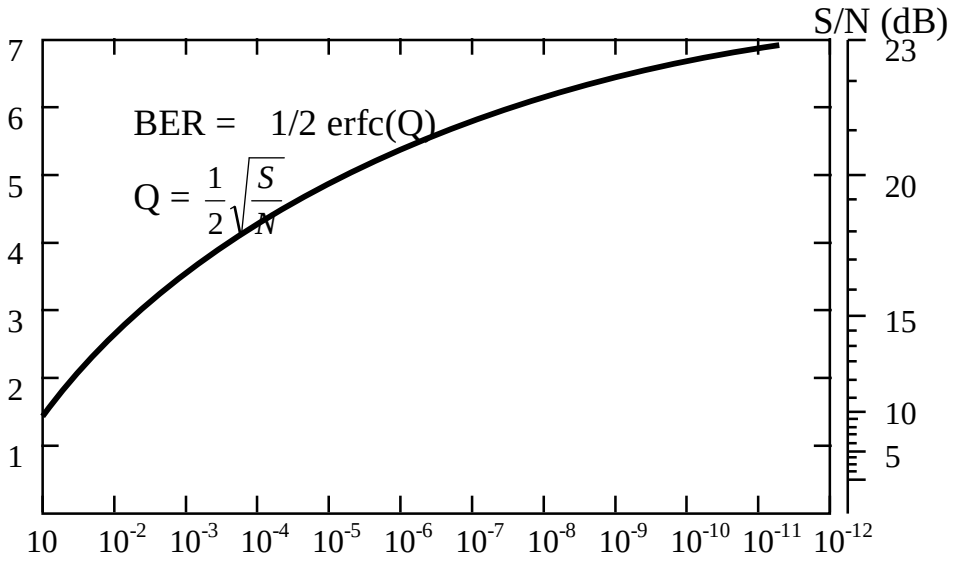
5.8.3. Thiết bị thu quang

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

- Độ nhạy cao với bước sóng làm việc của tuyến.
- Hiệu suất lượng tử lớn
- Đặc tính nhiễu phải thấp
- Hoạt động ổn định với sự thay đổi của môi trường

Việc chọn thiết bị thu ứng với một tỷ lệ lỗi bit BER cho trước làmột công đoạn quang trọng, bởi lẽ độ nhậy tính được ta sẽ có công suất phát tối ưu và như vậy sẽ làm cho tuyến hoạt động ổn định.

Với BER cho trước thì ta sẽ có tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu từ bảng dưới đây:



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 mối hàn	0,1dB	20	2dB
Tổn hao mối 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:

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

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

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

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

Các thông số của PIN:

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

R_L = 50 Ω

I_d = 0,3.10^{-9} A

Các hằng số :

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

Thay các giá trị vào ta được phương trình:

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

Ta được phương trình theo P_S :

0,9025.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} W

P_S = -12,8.10^{-6}W (loại)

Vậy độ nhạy của máy thu là: P_S = 13.10^{-6} W hay P_S =-18.7dBm

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

$P_T = P_A + P_S = 34 + (-18,7) = 15,34$dbm

Như vậy chọn thiết bị phát với công suất danh định là: $P_T = 15,12$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:

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

hay

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

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

Các thông số của APD:

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

$R_L = 50\,\Omega$

$X = 0,7$

$M = 10$

$I_d = 30$ nA

Các hằng số:

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

Thay các giá trị vào ta được phương trình:

$$182 = \frac{(8 \times P_S)^2}{3,2.10^{-19}(0,8 \times P_S + 0,3.10^{-9}) \times .10^{2+0,7}.2,5.10^9 + \frac{4 \times 1,38.10^{-23} \times 300 \times 2,5.10^9}{50}}$$

Ta được phương trình theo P_S:

$$64.P_S^2 - 29{,}189.10^{-6}P_S - 7{,}717.10^{-11} = 0$$

Giải phương trình bậc hai ta được: $P_S = 1{,}35.10^{-6}$ W

$P_S = -8{,}93.10^{-6}$W (loại)

Vậy độ nhạy của máy thu là: $P_S = 1{,}35.10^{-6}$ W hay $P_S = -28{,}7$dBm

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

$P_T = P_A + P_S = 34 + (-28{,}7) = 5{,}3$dBm

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

5.12. Tính toán thời gian lên

-Thời gian lên tối đa của hệ thống

$$t_t = 0{,}7/B_t = 0{,}7/2{,}5.10^9 = 2.8.10^{-10} \text{ s}$$

-Thời gian lên của thiết bị thu:

$$t_n = 350/B = 350/2{,}5.10^9 = 14.10^{-10} \text{ s}$$

-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_o : băng tần một km cáp sợi quang (MHz)

L : chiều dài của cáp

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

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

- Khi đó thời gian lên của tuyến :

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

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

Như vậy thời gian lên của tuyến là: $t_t = 2{,}65.10^{-10}$ 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 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 việc 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 nhưng năm gần đây, các nước phát triển trên thế giới như Mỹ, Nhật Trung quốc, Đức…đang ngiên 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.

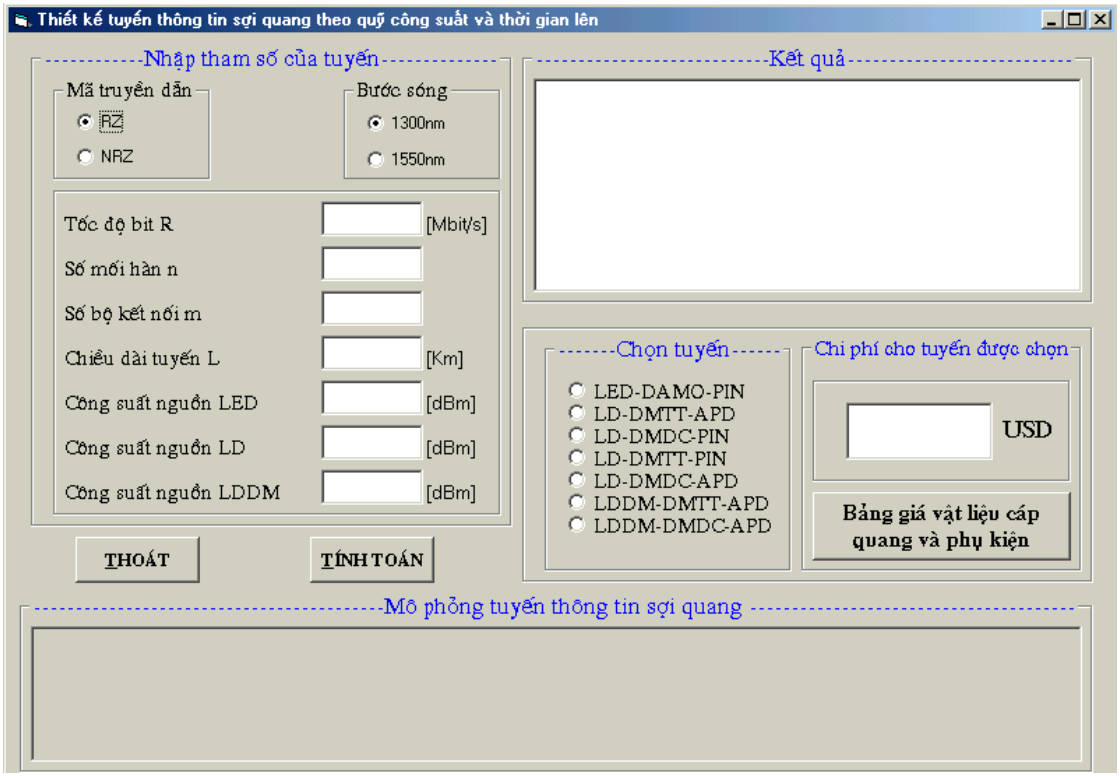
Tuy nhiên, khi hoàn thành đồ án này không thể tránh những sai sót nội dung cũng như trong thiết kế.

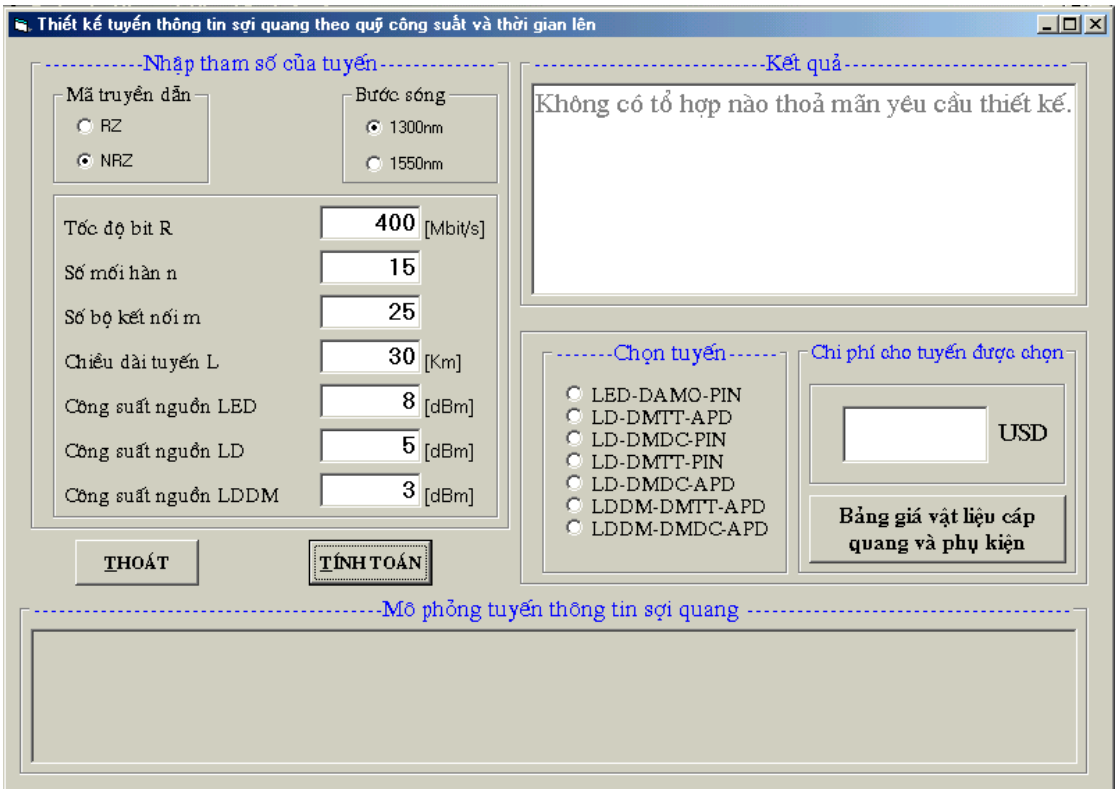
PHỤ LỤC

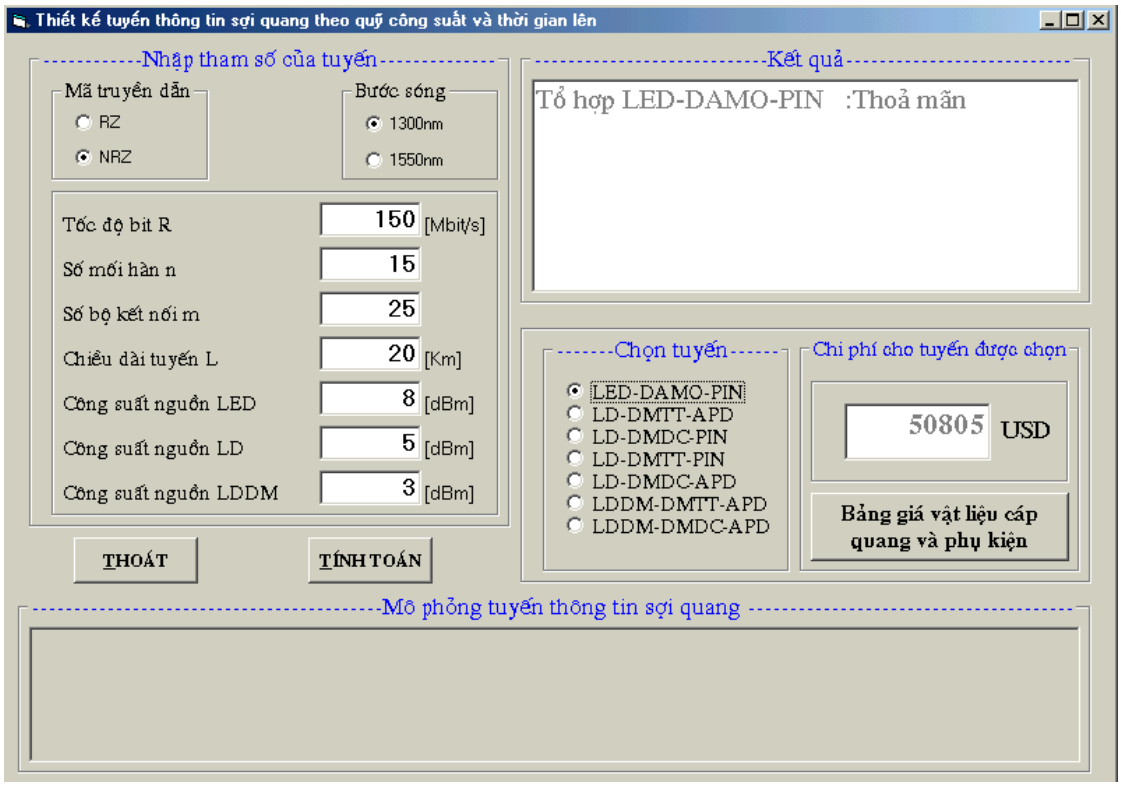
CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN:

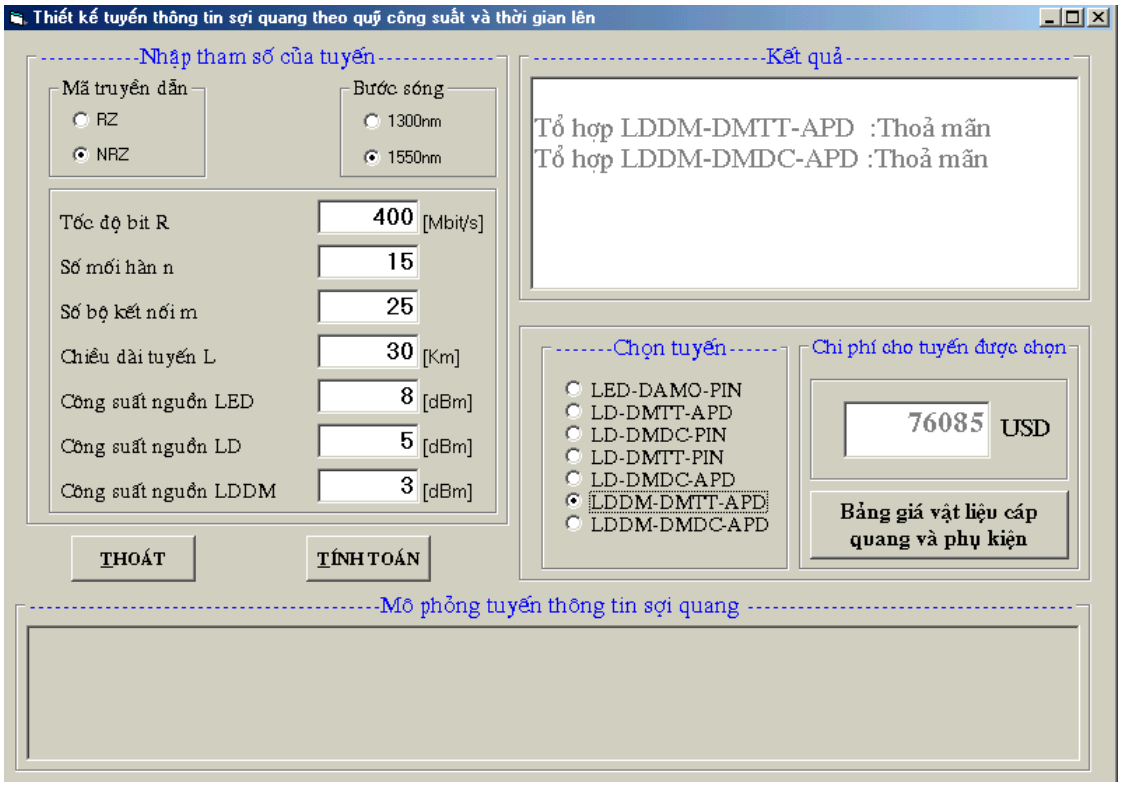
Thiết kế tuyến thông tin sợi quang theo quỹ công suất và thời gian lên

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
400
[Mbit/s]
Số mối hàn n
15
Số bộ kết nối m
25
Chiều dài tuyến L
30
[Km]
Công suất nguồn LED
8
[dBm]
Công suất nguồn LD
5
[dBm]
Công suất nguồn LDDM
3
[dBm]
THOÁT
TÍNH TOÁN
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
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
150
[Mbit/s]
Số mối hàn n
15
Số bộ kết nối m
25
Chiều dài tuyến L
20
[Km]
Công suất nguồn LED
8
[dBm]
Công suất nguồn LD
5
[dBm]
Công suất nguồn LDDM
3
[dBm]
THOÁT
TÍNH TOÁN
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
50805
USD
Bảng giá vật liệu cáp quang và phụ kiện
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 dmdc = 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 ErrorHandle
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 = Calc_Tth(T_LD, D2_DMTT, Bo_DMTT, 2 * R, PH_LD, dL, q)
    Tth4 = Calc_Tth(T_LD, D2_DMTT, Bo_DMTT, 2 * R, PH_LD, dL, q)
    Tth3 = Calc_Tth(T_LD, D2_DMDC, Bo_DMDC, 2 * R, PH_LD, dL, q)
    Tth5 = Calc_Tth(T_LD, D2_DMDC, Bo_DMDC, 2 * R, PH_LD, dL, q)
    Tth6 = Calc_Tth(T_LDDM, D2_DMTT, Bo_DMTT, 2 * R, PH_LDDM, dL, q)
    Tth7 = Calc_Tth(T_LDDM, D2_DMDC, Bo_DMDC, 2 * R, PH_LDDM, dL, q)
    dPr_LD = Calc_Power(hs, Ps_LD, Pd, m, n, Lc, Ls)
    dPr_LDDM = Calc_Power(hs, Ps_LDDM, Pd, m, n, Lc, Ls)
    Ip_LD = Calc_Ip(dPr_LD)
    Ip_LDDM = Calc_Ip(dPr_LDDM)
    SN2 = ((sqrt(Ip_LD) / 2) * sqrt(MPIN) * RL / (4 * KB * T * 2 * R)) / 1E+18
    SN3 = ((sqrt(Ip_LD) / 2) * sqrt(MAPD) * RL / (4 * KB * T * 2 * R)) / 1E+18
    SN4 = ((sqrt(Ip_LDDM) / 2) * 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 thoả 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 thoả 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
'Khong co to hop nao thoa man dieu kien BER<BERo
If (BER2 >= BERo) And (BER3 >= BERo) And (BER4 >= BERo) Then
    txtResult.Text = "Không có tổ hợp nào thoả 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
```

CÁC LOẠI CÁP QUANG VÀ CÁC THIẾT BỊ TRUYỀN DẪN QUANG THỰC TẾ HIỆN NAY

1. CÁC LOẠI CÁP QUANG

1.1. Cáp sợi quang chôn trực tiếp kim loại

Khả năng chịu các tác động cơ học cao, chống mối mọt, chống gặm nhấm

Cấu tạo cáp quang:

- Sợi quang
- Thành phần gia cường trung tâm bằng dây thép
- Ống lỏng nhựa chịu nhiệt
- Ống đệm

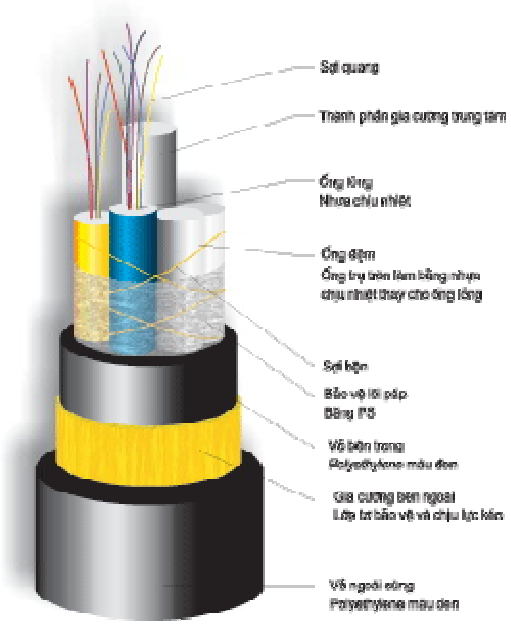
- Sợi bện
- Bảo vệ lõi cáp bằng bằng PD
- Lớp chống ẩm bằng nhôm
- Vỏ bên trong
- Lớp bảo vệ cơ học bằng thép
- Vỏ bên ngoài

1.2. Cáp quang chôn trực tiếp phi kim loại

Cáp sợi quang chôn trực tiếp không có thành phần kim loại trong vỏ cáp, thiết kế cho những vùng hay có sét hoặc chịu ảnh hưởng của điện cao thế.

Cấu tạo sợi quang:

- Sợi quang
- Thành phần gia cường
- Ống lỏng bằng nhựa chịu nhiệt
- Ống đệm hình trụ tròn bằng nhựa chịu nhiệt
- Sợi bện
- Lớp bảo vệ lõi
- Vỏ bên trong
- Gia cường bên ngoài có tác dụng bảo vệ và chịu lực
- Vỏ ngoài cùng

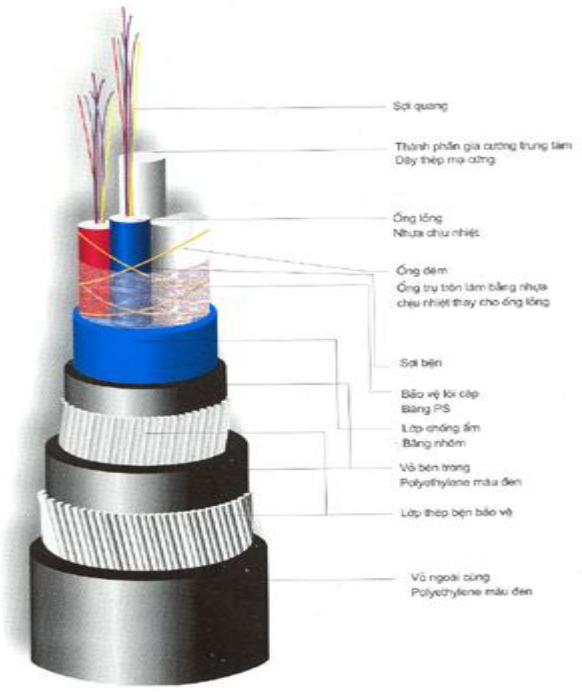


1.3. Cáp thả sông

Khả năng chịu tác dụng cơ học cao, đi ngầm dưới nước.

Cấu tạo cáp quang:

- Sợi quang
- Thành phần gia cường trung tâm bằng dây thép mạ cứng
- Ống lỏng nhựa chịu nhiệt
- Ống đệm hình trụ tròn bằng nhựa chịu nhiệt
- Sợi bện
- Bảo vệ sợi cáp bằng PS
- Lớp chống thấm bằng nhôm
- Vỏ bên trong



- Lõi thép bện bảo vệ
- Vỏ bên ngoài

1.4. Cáp treo kim loại

Khả năng chịu tác dụng cơ học cao, chống mối mọt.

Cấu tạo của cáp:

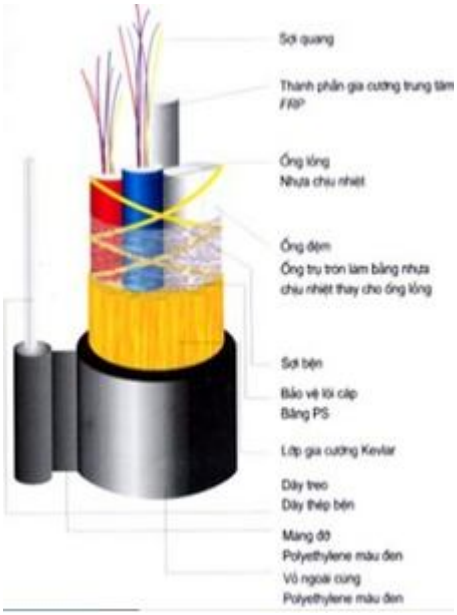
- Sợi quang
- Thành phần gia cường bằng dây thép mạ cứng
- Ống lỏng nhựa chịu nhiệt
- Ống đệm bằng nhựa liệu thay cho ống lỏng
- Sợi bện bảo vệ lõi cáp bằng PS
- Lớp chống thấm bằng nhôm
- Vỏ ngoài cùng
- Màng đỡ
- Dây treo bằng thép

1.5. Cáp treo phi kim loại

Lõi phi kim loại được thiết kế cho vùng hay có sét hay vùng có điện thế cao

Cấu tạo của cáp:

- Sợi quang
- Thành phần gia cường trung tâm
- Ống lỏng nhựa chịu nhiệt
- Ống đệm hình trụ tròn bằng nhựa chịu nhiệt thay cho ống lỏng
- Sợi bện
- Bảo vệ lõi cáp bằng PS
- Lớp gia cường
- Dây treo, dây thép bện
- Màng đỡ
- Vỏ ngoài cùng



1.6. Cáp đi cống kim loại

Khả năng chịu tác dụng cơ học cao, chống mối mọt

Cấu tạo của cáp:

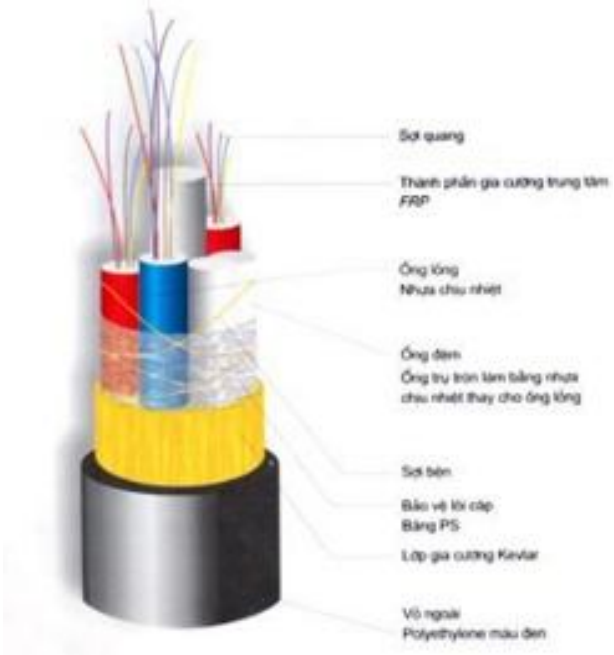
- Sợi quang
- Thành phần gia cường trung tâm bằng dây thép cứng
- Ống lỏng nhựa chịu nhiệt
- Ống đệm hình trụ bằng nhựa chịu nhiệt thay ống lỏng
- Sợi bện
- Bảo vệ lõi cáp bằng PS
- Lớp chốngd thấm bằng nhôm
- Vỏ ngoài.

1.7. Cáp đi cống phi kim loại

Lõi phi kim loại được thiết kế cho vùng hay có sét hay vùng có điện thế cao

Cấu tạo của cáp:

- Sợi quang
- Thành phần gia cường trung tâm
- Ống lỏng
- Ống đệm bằng nhựa thay cho ống lỏng
- Sợi bện
- Bảo vệ lõi cáp bằng PS
- Lớp gia cường
- Vỏ ngoài



1.8. Cáp truy nhập

Thích hợp với tuyến không yêu cầu dung lượng lớn

Cấu tạo của cáp:

- Sợi quang
- Thành phần gia cường bằng dây thép cứng
- Ống lỏng nhựa chịu nhiệt
- Vỏ ngoài

2. Dây nhảy quang

- Là phần dây nối giữa hộp ODF và thiết bị, dây gồm 2 đầu nối quang ở hai đầu, kết nối bởi một sợi quang.

- Phân loại: có hai loại chính là Dây đơn (Simplex) và Dây đôi (Duplex), trong hai loại chính này lại được phân ra nhiều loại tuỳ thuộc vào loại đầu nối giữa hai đầu: ST, SC, FC, LC, MTRJ, E2000,...

- Ví dụ một số loại thông dụng:

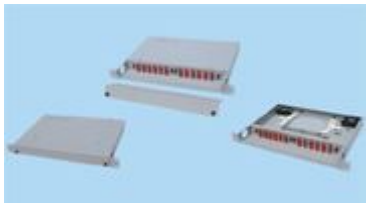
  * SC/PC to SC/PC, Simplex, 5 m, Singlemode
  * FC/PC to FC/PC, duplex, 5 m, Multimode

3. Măng xông quang

- Là thiết bị nối giữa hai đoạn cáp bị đứt hoặc giữa hai cuộn cáp khi đang thi công để tăng chiều dài đoạn cáp.
- Phân loại: có 2 loại chính (ngoài ra còn có một số loại không chính thức khác)
    + Loại in-line: là loại lắm ngang theo phương của cáp.
    + Loại đứng: là loại khi sử dụng lắm vuông góc với phương của cáp

4. Hộp ODF

- Là thiết bị dùng để bảo vệ đầu nối của các sợi quang của cáp.
- Phân loại: có hai loại chính
    + Loại gắn tường



    + Loại gắn tủ rack

5. Tủ phân phối quang

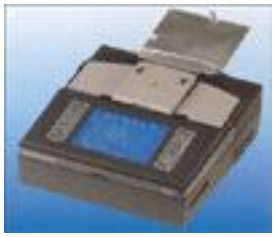
Tủ phân phối quang trung tâm hoặc chi nhánh

- Phân loại: có hai loại chính là tủ trong nhà và tủ ngoài trời.

6. Máy hàn quang

Dùng để nối hai đoạn cáp quang, nối đầu nối quang, thi công hàn gắn sợi quang với các phụ kiện quang khác.

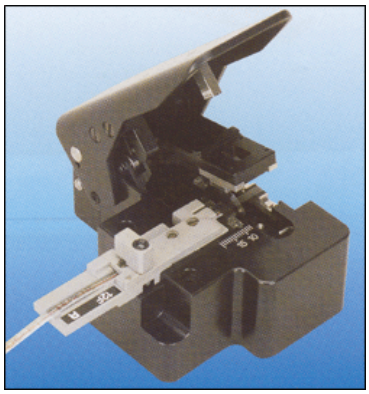
- Tốt nhất cho việc hàn nối các loại sợi đơn mốt, đa mốt, sợi thuỷ tinh silic, các loại sợi đặc biệt (Sợi bọc Titanium, LS, CS, và NZDS TrueWave^{TM}, LEAF^{TM})
- Cho các mạng viễn thông yêu cầu suy hao mối hàn rất thấp: suy hao mối hàn điển hình nhỏ hơn 0,015dB với cùng một loại sợi đơn mốt đồng nhất và nhỏ hơn 0.01dB cho cùng một loại sợi đa mốt tiêu chuẩn.
- Cung cấp các kết quả mối hàn có độ tin cậy cao, không phụ thuộc vào loại sợi hoặc tay nghề người sử dụng.



7. Dao cắt sợi quang

- Độ lệch góc cắt tiêu biểu < 1^0 với độ tin cậy cao và tán xạ thấp dưới điều kiện làm việc tại công trường
- Dễ dàng với một bước thao tác cắt : Kẹp giữ, bẻ cong, làm khía, cắt chỉ với một động tác.
- Lưỡi cắt kim cương hình tròn có thể quay được ở 12 vị trí khác nhau, cho chất lượng mối cắt tốt, tuổi thọ cao (Thông thường điển hình > 6.000 lần cho mỗi lưỡi cắt khi cắt sợi băng dẹt 12 sợi đơn)
- Đối với sợi đơn lẻ, cũng như băng 12 sợi và các sợi ghép thành băng đều có thể dùng bộ ghép sợi bằng tay.
- Chiều dài cắt của sợi tối thiểu :3.5 mm

với sợi đơn có đường kính lớp vỏ bọc bảo vệ 250µm, 10mm với sợi đơn có đường kính lớp bọc bảo vệ từ 250 - 900µm



- Đường kính của sợi : 125µm danh định
- Có thể điều chỉnh để cắt được những sợi có sức chịu căng được tăng cường, ví dụ sợi bọc titanium.
- Thay lưỡi dao cắt dễ dàng tại nơi làm việc
- Chất lượng mối hàn ít bị ảnh hưởng do bụi và các tác động bên ngoài

8. Máy đo quang OTDR

Là thiết bị dùng để kiểm tra tất cả các thông số của cáp như, độ suy hao, điểm đứt cáp, độ tán xạ của cáp. đây là thiết bị không thể thiếu trong quá trình bảo hành hệ thống cáp.

9. Bộ chuyển đổi quang điện

Thiết bị MCW3924LC dạng standalone, tiện lợi, cho phép để bàn, gắn tường hoặc rack, chịu được nhiệt độ và độ ẩm cao.

- Hỗ trợ nâng cấp phần mềm từ xa (remote firmware upgrade).

Hỗ trợ chức năng VLAN and VLAN Tagging Q in Q

- Tương thích với Switch Cisco 4924, 7609. Cung cấp thiết bị để Test tính tương thích Cisco.
- Thiết bị MCW3924LC cung cấp tính năng bảo mật USER NAME & PASSWORD để kiểm soát người truy cập tránh tình trạng người dùng truy cập thay đổi thông số cấu hình gây ra sự cố.

Giao diện điện:

- Có 1 cổng 10/100/1000 Base –T, đầu nối RJ45
- Hỗ trợ Auto MDI/MDI-X

Giao diện quang:

- Có 1 port SFP, đầu nối LC, 1000Base –FX, Singlemode, bước sóng 1310nm, khoảng cách kết nối 10Km (SFP cùng hãng sản xuất với Converter-VILINK)
- Hot swappable

10. Bộ dụng cụ dùng trong thi công

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU 1
PHẦN LÝ THUYẾT 2
CHƯƠNG 1 3
TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN SỢI QUANG 3
1.1. Giới thiệu chương 3
1.2. Tổng quan 3
1.3. Hệ thống truyền dẫn quang 5
1.4. Tổng kết chương 6
CHƯƠNG 2 7
SỢI QUANG VÀ CÁP QUANG 7
2.1. Giới thiệu chương 7
2.2. Đặc tính của ánh sáng 7
2.3. Sợi quang và cáp sợi quang: 8
2.4. Tổng kết chương 25
CHƯƠNG 3 26
THIẾT BỊ THU VÀ PHÁT QUANG. 26
3.1. Giới thiệu chương 26
3.2. Thiết bị phát quang 26
3.3. Thiết bị thu quang 38
3.4. Kết luận chương 44
CHƯƠNG 4 45
KỸ THUẬT GHÉP KÊNH QUANG PHÂN CHIA THEO THỜI GIAN 45
4.1. Giới thiệu chương 45
4.2. Nguyên lý ghép kênh OTDM 45
4.3. Phát tín hiệu trong hệ thống OTDM 46
4.4. Giải ghép và xen rẽ kênh trong hệ thống OTDM 48
4.5. Đồng bộ quang trong hệ thống OTDM 52
4.6. Đặc tính truyền dẫn của OTDM 53
4.7. Kết luận chương 55
PHẦN 56
TÍNH TOÁN VÀ THIẾT KẾ 56
5.1. Giới thiệu chương 57
5.2. Các khái niệm 57
5.3. Quỹ công suất 59
5.4. Quỹ thời gian lên 60
5.5. Nhiễu trong hệ thống thông tin quang 62
5.6. Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu 63
5.7. Các giá trị của các thành phần 65
5.8. Bài toán tính toán và thiết kế theo quỹ công suất và thời gian lên 67
5.9. Tính toán tổn hao trên đường truyền 69
5.10. Độ nhạy của máy thu trong trường hợp sử dụng PIN 70
5.11. Độ nhạy máy thu trong trường hợp sử dụng APD 71

5.12. Tính toán thời gian lên 72
5.13. Kết luận chương 73
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI 74
PHỤ LỤC 76
CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN: 76
CÁC LOẠI CÁP QUANG VÀ CÁC THIẾT BỊ TRUYỀN DẪN QUANG THỰC TẾ HIỆN NAY 95

CÁC THUẬT NGỮ VIẾT TẮT

APD : Avalanche Photo Diode

BER : Bit Error Ratio

ELED : Edge Light Emitting Diode

IM - DD : Intensity Modulation-Direct Detection

LD : Laser Diode

LED : Light Emitting Diode

ISDN : Integrated Services Digital Network

LDA : Laser Diode Amplifier

MM : Multi Mode

NRZ : Non Return to Zero

NOLM : Nonlinear Loop Mirror

OTDM : Optical Time Division Multiplexing

PLL : Phase Locked Loop

PCM : Pulse-code modulation

SI : Step Index

GI: Graded Index

SM : Single Mode

SDH : Synchronous Digital Hierachy

S/N : Signal /Noise

RZ : Return to Zero

Chương 5. Giới thiệu về hệ thống thông tin quang

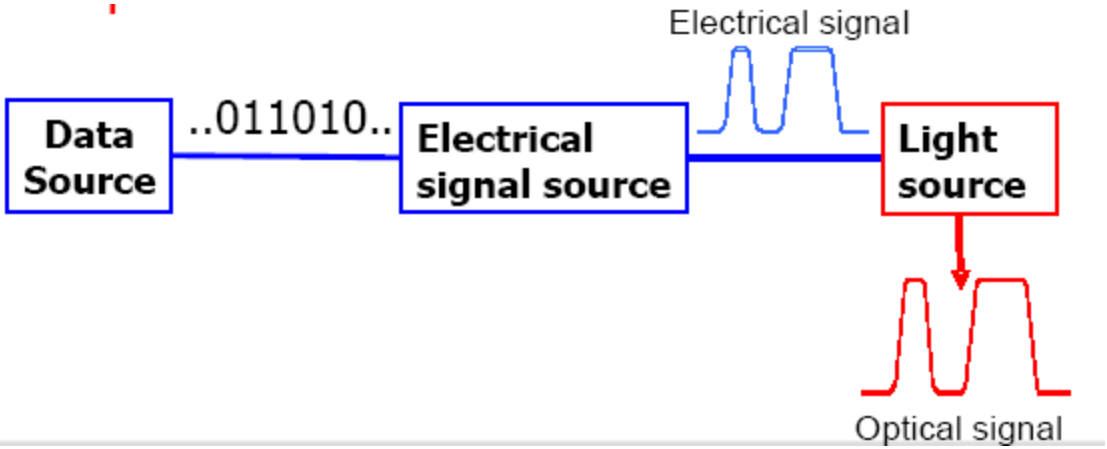
Nội dung

- Giới thiệu
- Sợi quang
- Thiết bị phát quang
- Thiết bị thu quang
- Hệ thống WDM
- Khuếch đại quang
- Mạng truyền tải quang

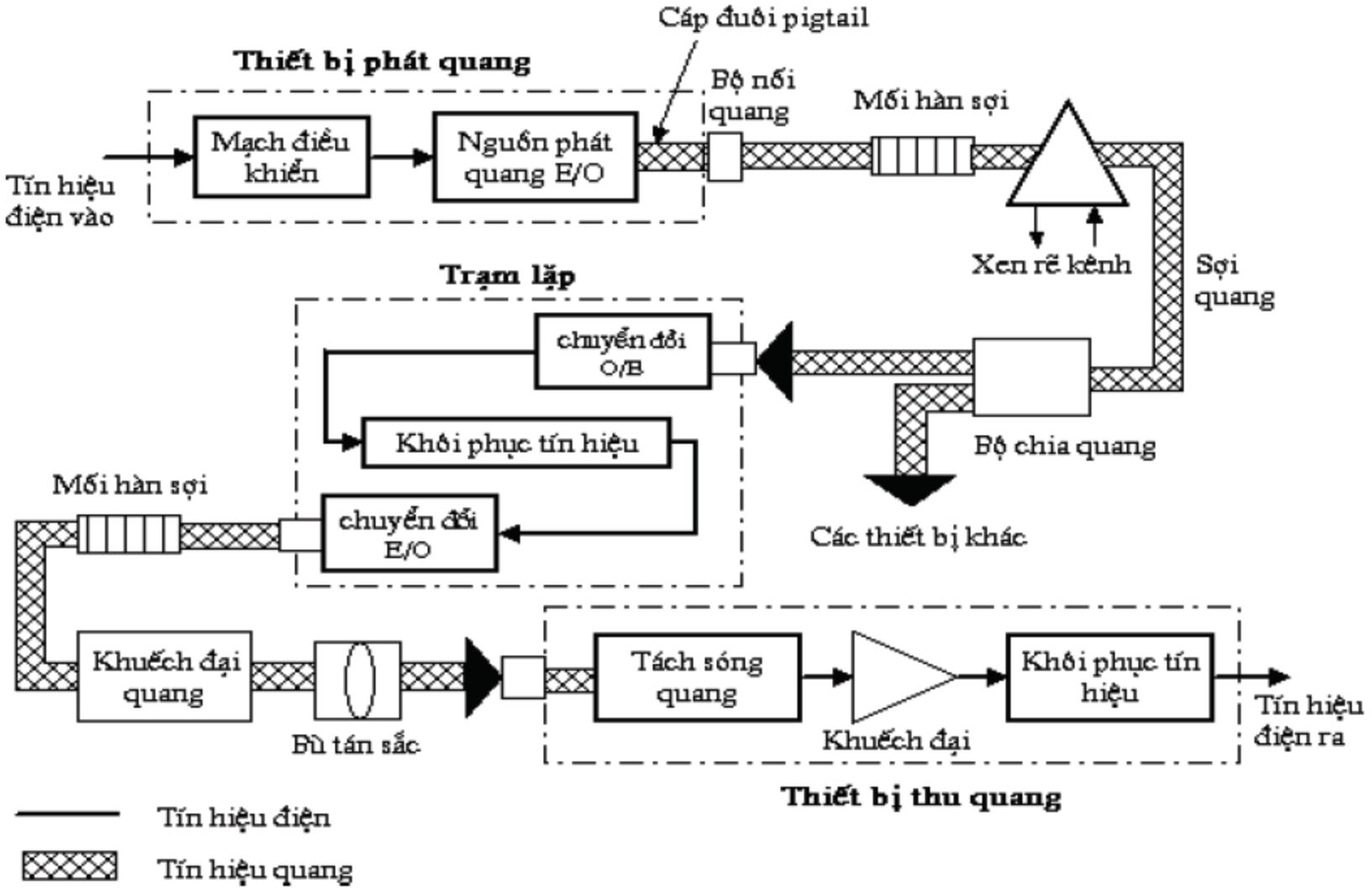
giới thiệu

- Hệ thống truyền thông điện

- Hệ thống truyền thông quang



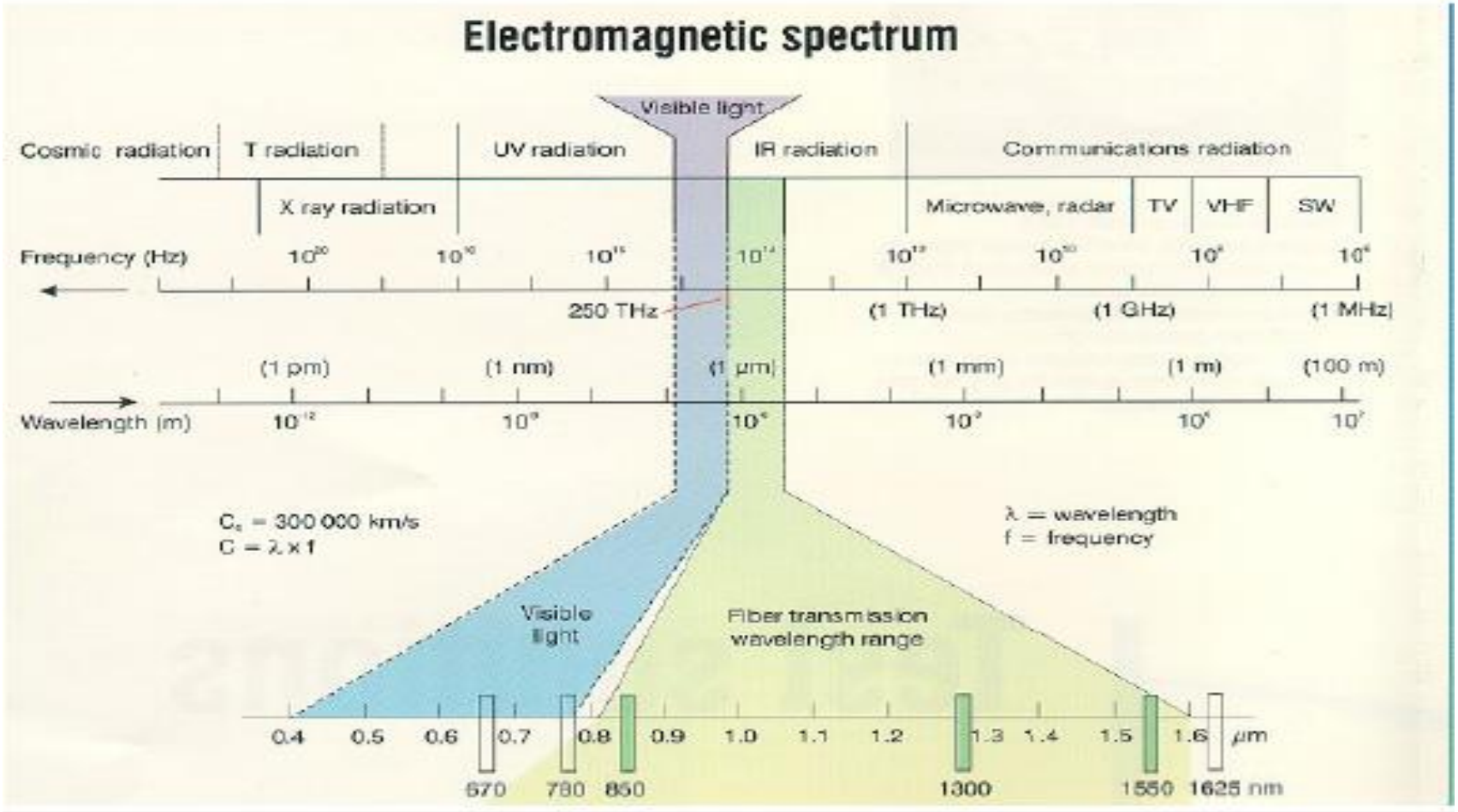
Giới thiệu


Cáp đuôi pigtail
Thiết bị phát quang
Bộ nối quang
Mối hàn sợi
Mạch điều khiển
Nguồn phát quang E/O
Tín hiệu điện vào
Xen rẽ kênh
Sợi quang
Trạm lặp
chuyển đổi O/E
Khôi phục tín hiệu
Bộ chia quang
Mối hàn sợi
chuyển đổi E/O
Các thiết bị khác
Khuếch đại quang
Bù tán sắc
Tách sóng quang
Khuếch đại
Khôi phục tín hiệu
Tín hiệu điện ra
Thiết bị thu quang
Tín hiệu điện
Tín hiệu quang

Tính chất Ánh sáng

- Ánh sáng có tính chất sóng
- Ánh sáng có tính chất hạt : ánh sáng bao gồm nhiều proton có năng lượng $E = hv$
- Hiện tượng: phản xạ, khúc xạ, tán xạ,…

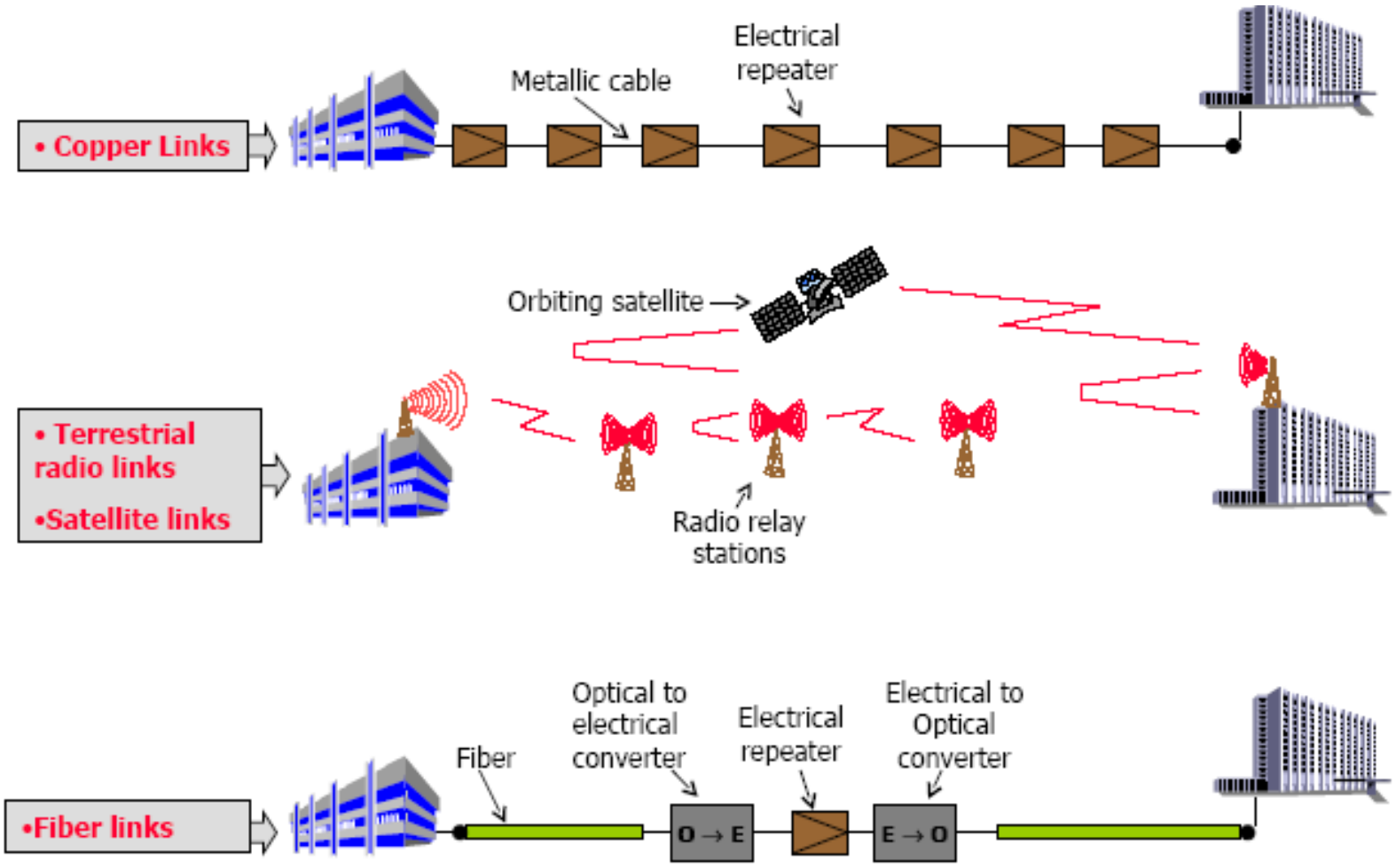
Dải tần hệ thống quang



Dải tần thông tin quang

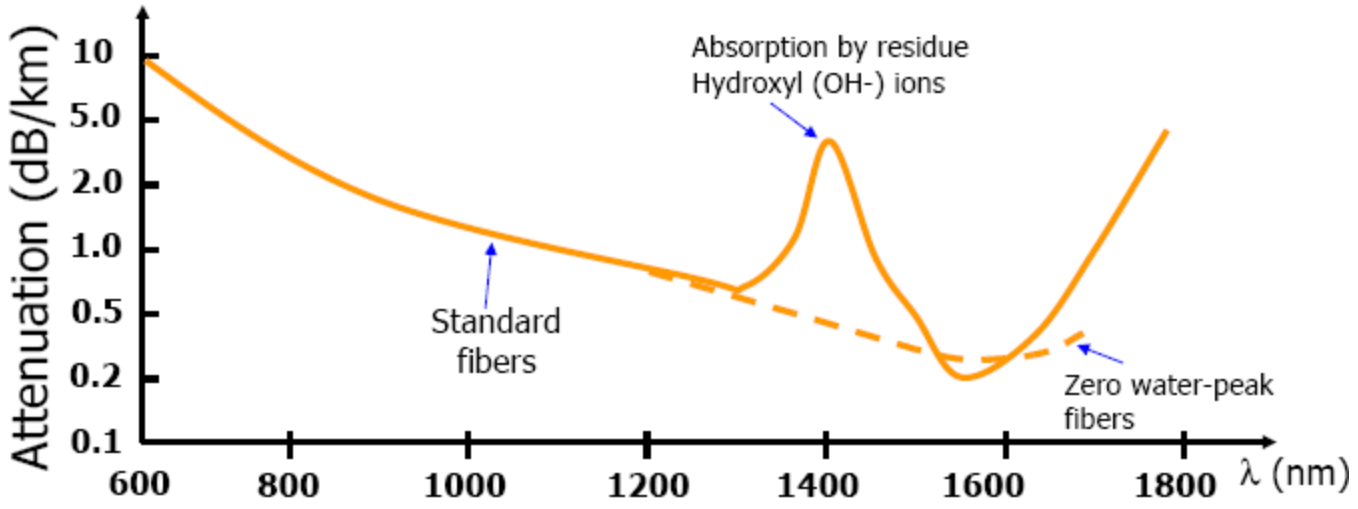
- Ánh sáng thấy được chiếm dải phổ từ 380nm (tím) đến 780nm (đỏ)
- Ánh sáng dùng trong thông tin quang nằm trong vùng cận hồng ngoại (near-infrared) (800nm-1600nm) → *không thấy được*
- 3 vùng bước sóng (cửa sổ bước sóng) được sử dụng trong thông tin quang: *850 nm, 1300 nm và 1550 nm*

hệ thống thông tin quang



hệ thống thông tin quang

- Ưu điểm:
  - Suy hao truyền dẫn thấp (0.2 - 0.5dB/km)



hệ thống thông tin quang

- Ưu điểm
  - Dung lượng truyền dẫn lớn
  - Ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu điện từ.
  - Độ an toàn truyền dẫn cao
  - Kích thước và trọng lượng nhỏ.
  - Sợi quang được chế tạo từ vật liệu có sắn

hệ thống thông tin quang

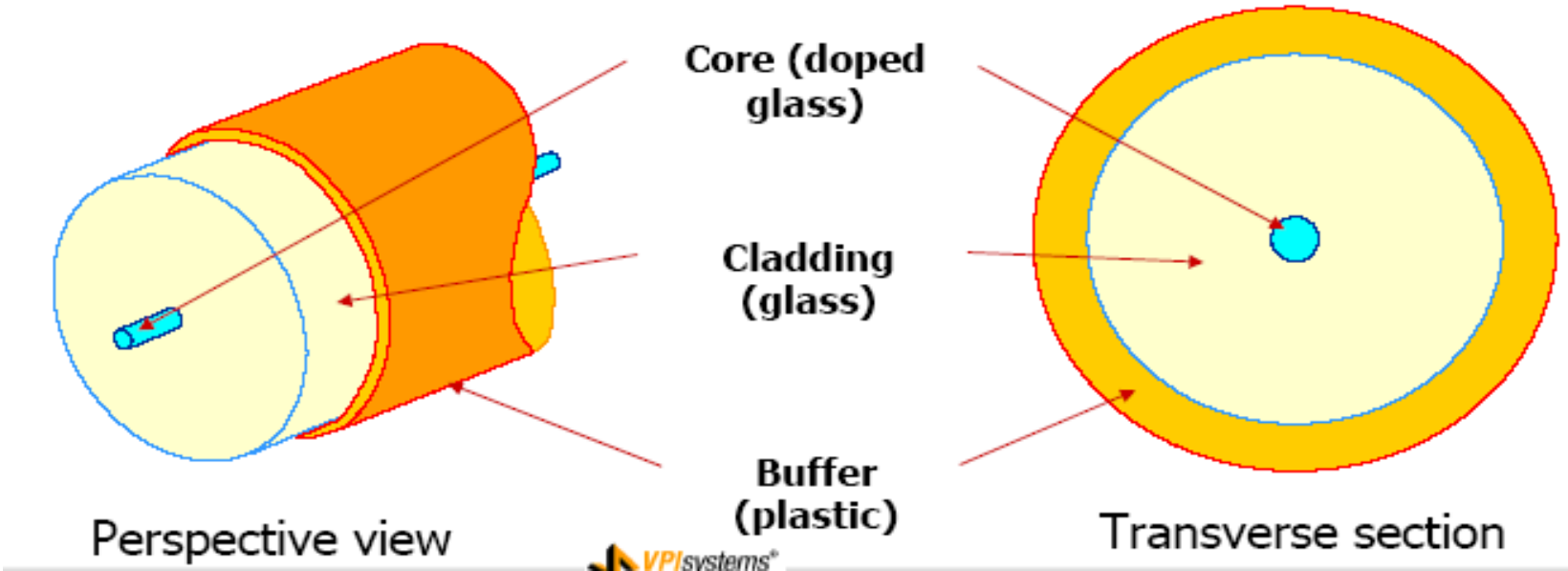
- Ứng dụng:
  - hệ thống truyền tải đường trục, trung kế , liên tỉnh
  - Xây dựng các đường truyền xuyên đại dương
  - Xu thế đường quang kéo đến người dùng.

Sợi quang

- Cấu tạo
- Phân loại
- Cơ chế truyền ánh sáng
- Suy hao sợi quang
- Tán sắc sợi quang

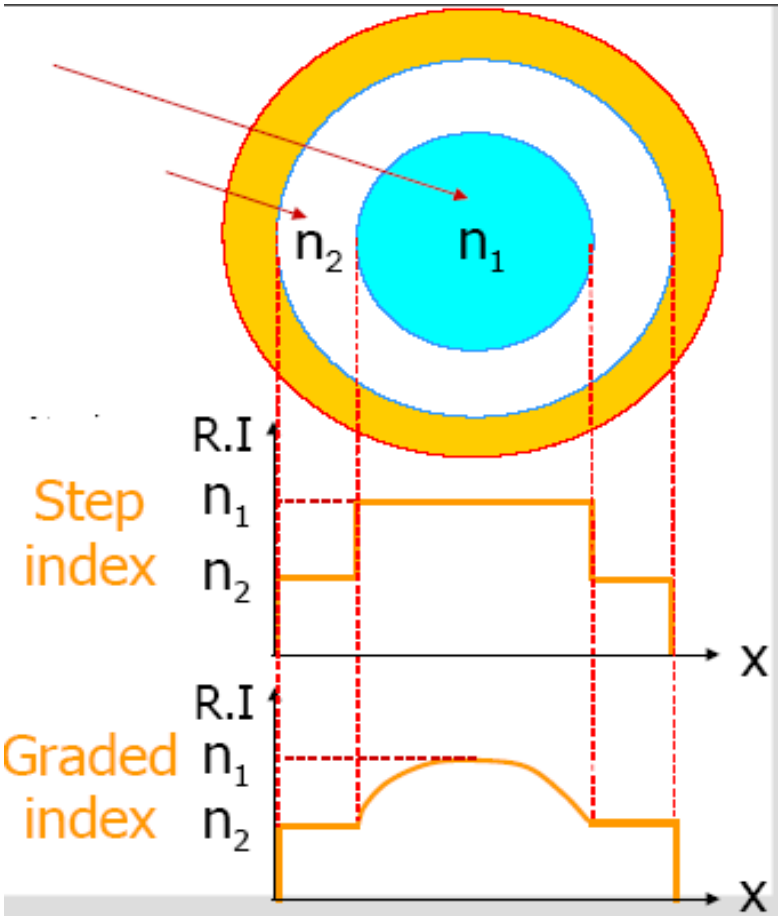
Cấu tạo sợi quang

- Lớp lõi: chiết suất n1
- Lớp vỏ(bọc): chiết suất n2<n1
- lớp đệm: bằng nhựa, để bảo vệ sợi quang



cấu tạo sợi quang

- chiết suất lớp lõi có thể đều
- chiết suất lớp lõi có thể thay đổi từ từ.

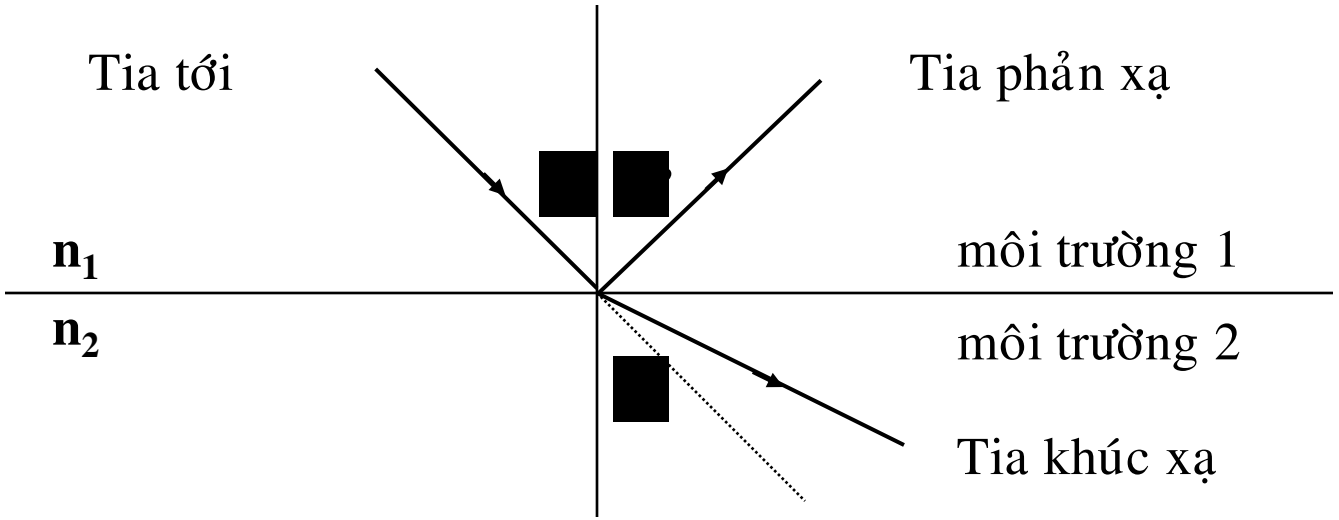


CƠ SỞ QUANG HỌC

Chiết suất của môi trường: $n = c/v$

- c:vận tốc ánh sáng trong chân không, $c = 3.10^8$ m/s
- v: vận tốc ánh sáng trong môi trường đang xét, v[redacted]

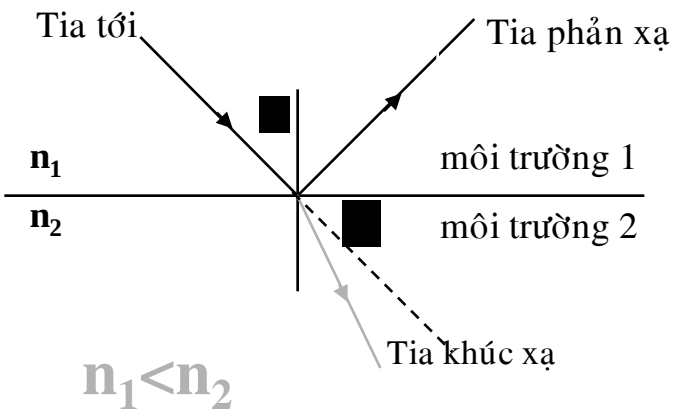
Sự phản xạ và khúc xạ:



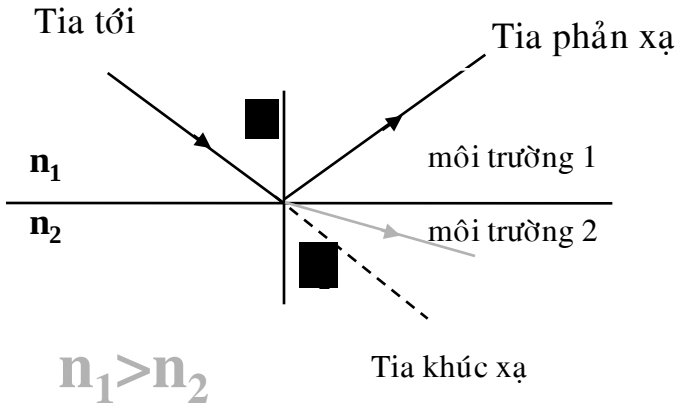
CƠ SỞ QUANG HỌC

- Tia tới, tia phản xạ và tia khúc xạ cùng nằm trên một mặt phẳng
- Góc phản xạ bằng góc tới: $\theta_1 = \theta_1'$
- Góc khúc xạ được xác định từ công thức Snell:

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



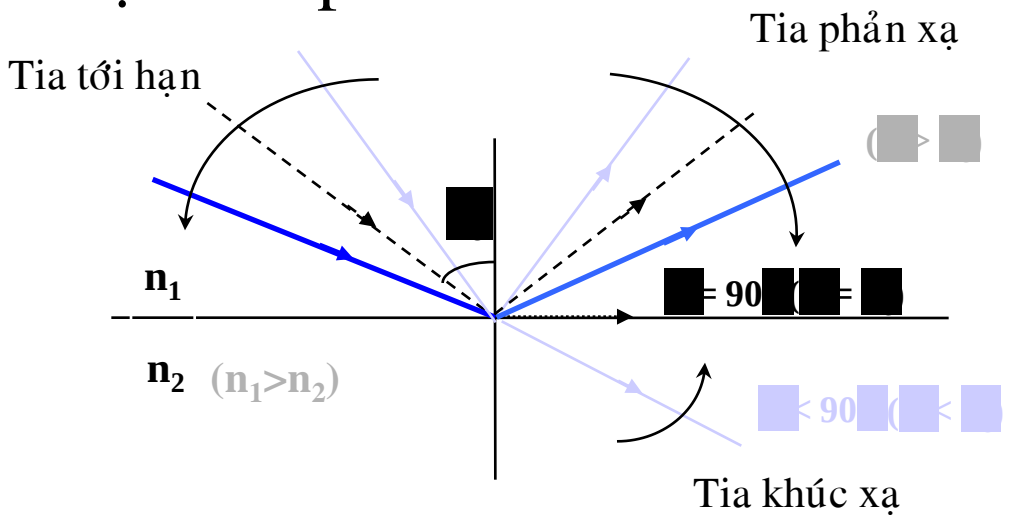
$n_1 < n_2$



$n_1 > n_2$

CƠ SỞ QUANG HỌC

Sự phản xạ toàn phần:



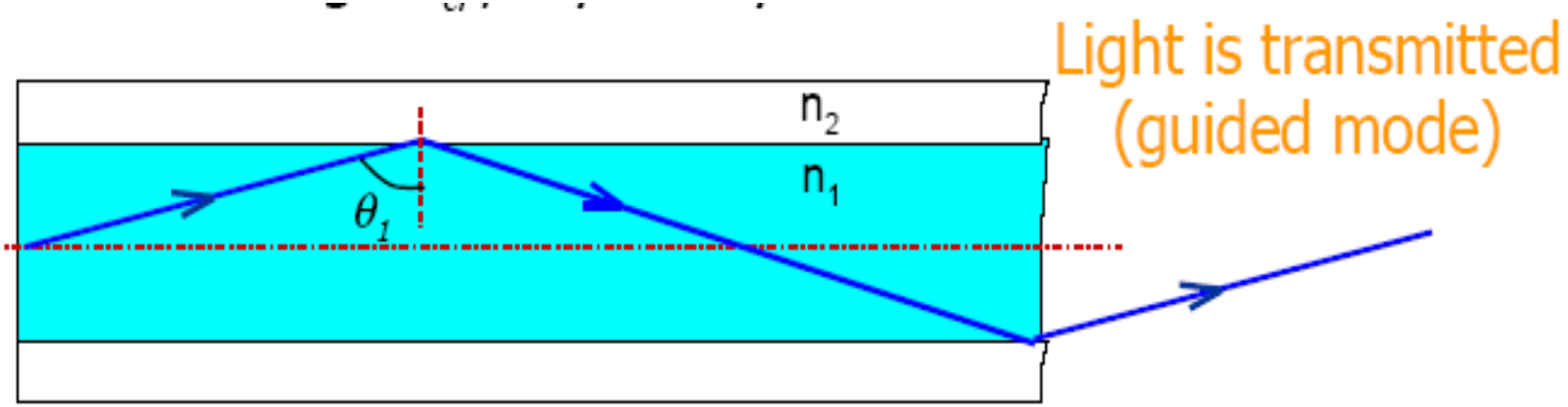
- Trường hợp $n_1>n_2$, khi góc tới **lớn hơn góc tới hạn** thì không có tia khúc xạ, tia tới phản xạ hoàn toàn về môi trường tryền

  → *hiện tượng phản xạ toàn phần*

Cơ sở lan truyền ánh sáng trong sợi quang

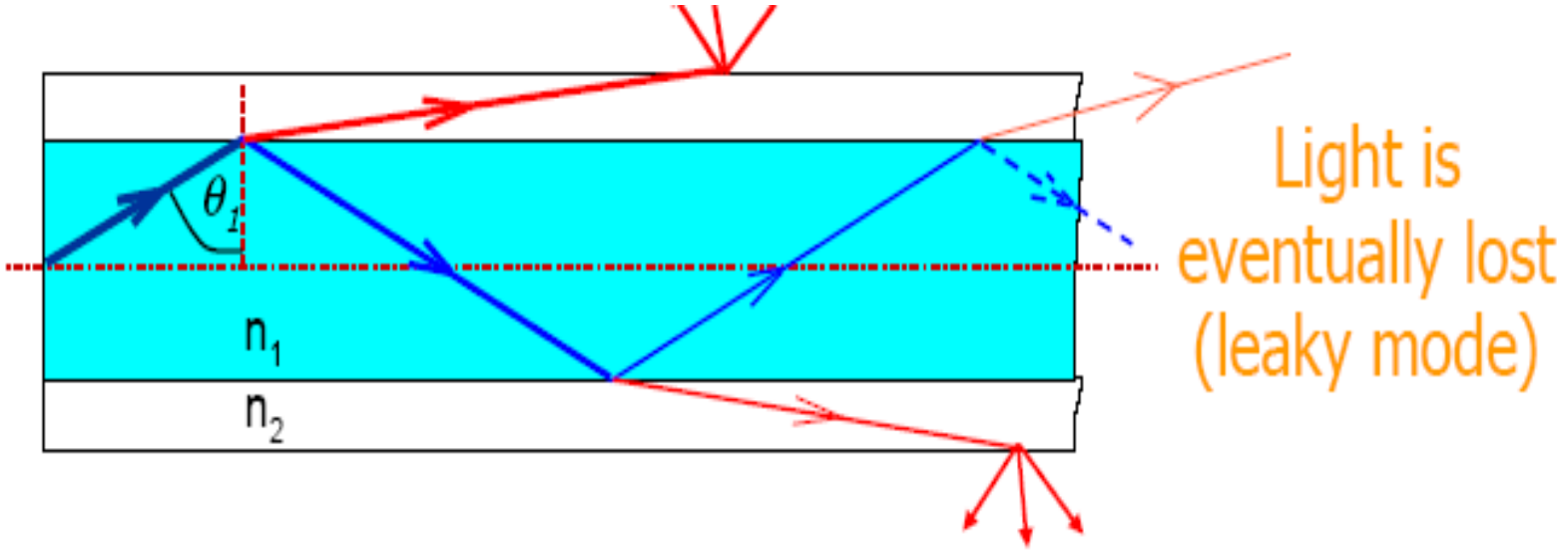
- Dựa vào hiện tượng phản xạ toàn phần ánh sáng khi đi qua mặt phân cách giữa lớp lõi và vỏ.
- Điều kiện n1>n2 và góc tới lớn hơn góc giới hạn

$$\sin [redacted] \frac{n2}{n1}$$



Cơ sở lan truyền ánh sáng

- Khi góc tới không thoả mãn điều kiện phản xạ toàn phần: tại bề mặt tiếp giáp tồn tại cả tia phản xạ và khúc xạ

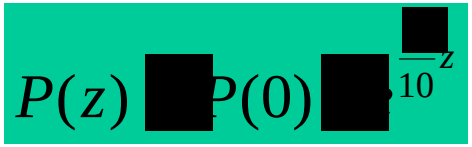


Các thông số sợi quang

- Suy hao
- Tán sắc
- Đặc tính phi tuyến

Suy hao sợi quang

Công suất quang truyền tải trong sợi cũng giảm dần theo cự ly với quy luật hàm số mũ t- ơng ứng nh- tín hiệu điện. Biểu thức của hàm số truyền công suất có dạng:



- Trong đó: P(0): công suất ở đầu sợi (z=0)
- P(z): công suất ở cự ly z tính từ đầu sợi
- : hệ số suy hao.

Suy hao sợi quang

- hệ số suy hao tính bởi:

$$A(dB) = 10\lg\frac{P_1}{P_2}$$

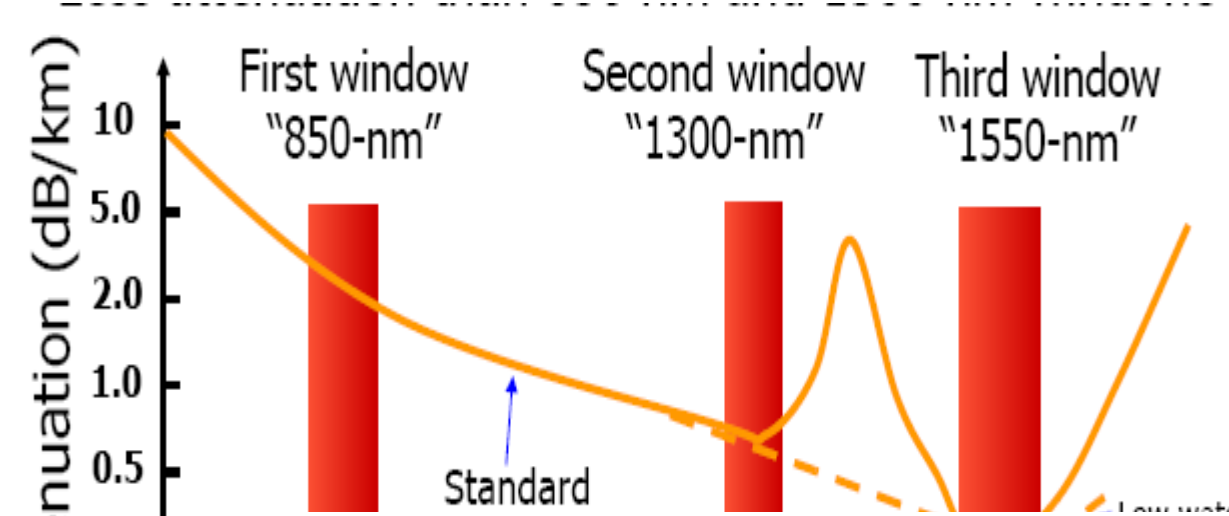
- Trong đó P1, P2 tương ứng là công suất vào, ra
- Hệ số suy hao trung bình:

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

Suy hao sợi quang

- Các nguyên nhân:
  - Do hấp thụ: sợi quang có lõi được chế tạo từ thuỷ tinh thường pha thêm các tạp chất như Fe, Cu,.. Các tạp chất này là nguồn hấp thụ ánh sáng.
  - Do tán xạ: nói chung khi sóng điện từ truyền qua môi trường không đồng nhất sẽ gây nên tán xạ, ánh sáng sẽ bị toả ra các hướng và chỉ có một phần truyền theo hướng xác định
  - Do uốn cong sợi

Suy hao sợi quang



Band	Descriptor	Wavelength range (nm)
O-band	Original	1260 to 1360
E-band	Extended	1360 to 1460
S-band	Short	1460 to 1530
C-band	Conventional	1530 to 1565
L-band	Long	1565 to 1625
U-band	Ultra-long	1625 to 1675

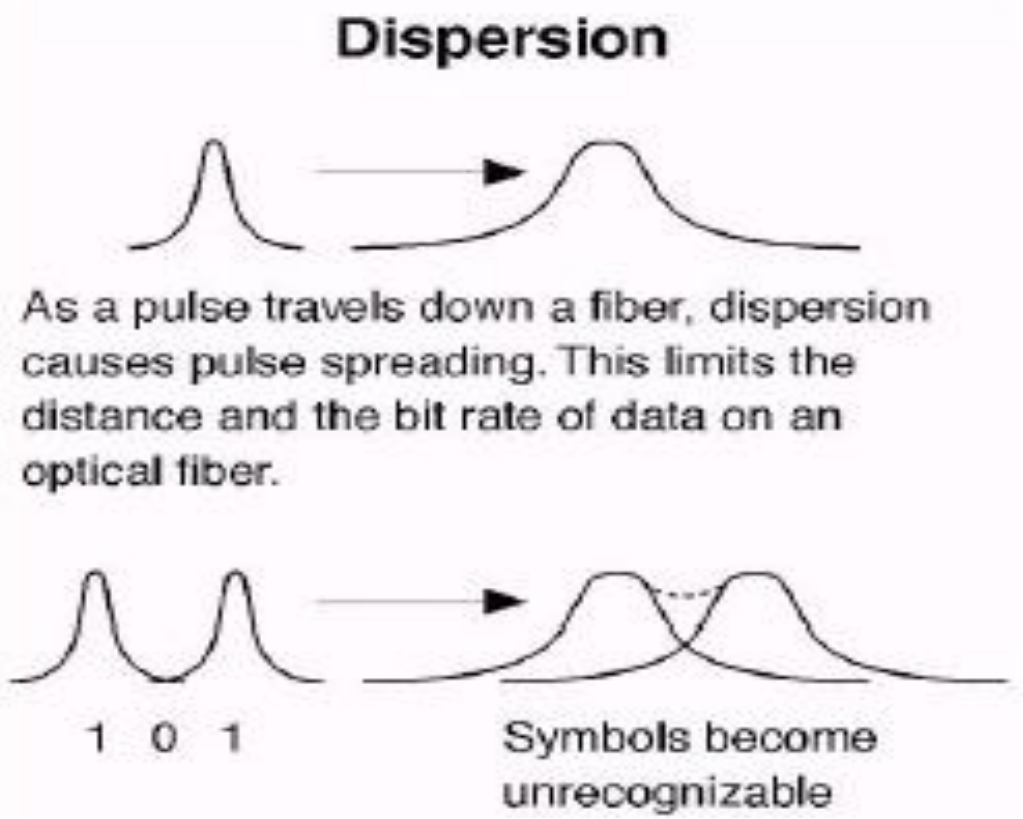
Suy hao sợi quang

- Vùng cửa sổ 1: có b- ớc sóng 850nm, mức suy hao 1 dB/km
- Vùng cửa sổ 2: ứng với b- ớc sóng 1310nm, có hệ số suy hao 0.5 dB/km,
- Vùng cửa sổ 3: ứng với b- ớc sóng 1550nm, có hệ số suy hao nhỏ nhất 0.154 dB/km.
- Suy hao tại ba vùng cửa sổ này là thấp nhất. □ Việt Nam th- ờng dùng vùng cửa sổ thứ ba (1550nm).

Tán sắc sợi quang

- Tán sắc là hiện tượng các thành phần khác nhau của tín hiệu chuyển động với tốc độ khác nhau. Tán sắc gây nên:
  - Xung bị trải dài trên miền thời gian
  - Các xung chồng chập lên nhau gây lỗi ISI
  - Làm ảnh hưởng tới tốc độ và khoảng cách truyền thông

Tán sắc sợi quang



Tán sắc sợi quang

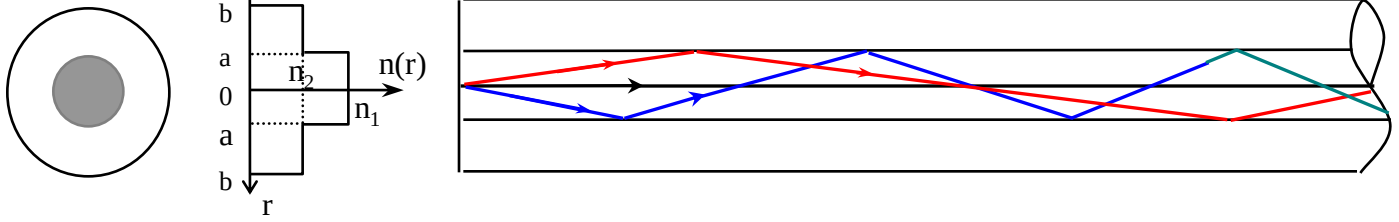
- Nguyên nhân:
  - Tán sắc mode : năng lượng ánh sáng phân tán thành nhiều mode, mỗi mode truyền với vận tốc khác nhau.
  - Tán sắc thể: tín hiệu quang truyền không phải là đơn sắc mà là khoảng bước sóng xác định.
  - Tán sắc vật liệu: chiết suất vật liệu thay đổi theo bước sóng vậy nên vận tốc truyền cũng thay đổi theo bước sóng.

Phân loại sợi quang

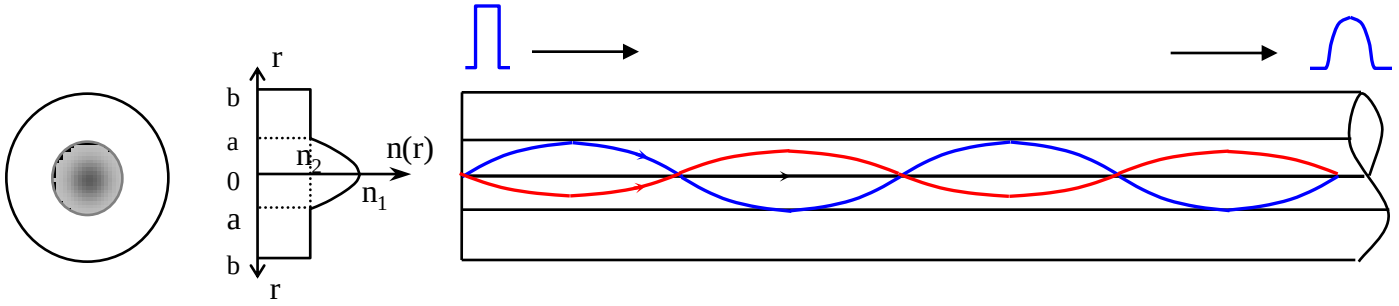
- Phân loại theo chiết suất lớp lõi:
  - Sợi có chiết suất nhảy bậc
  - Sợi có chiết suất biến đổi đều
- Phân loại theo mode lan truyền:
  - Sợi đơn mode (SM): chỉ có một mode truyền dẫn trên sợi
  - Sợi đa mode (MM): tồn tại nhiều mode lan truyền trên sợi
- Phân loại theo vật liệu chế tạo:
  - Sợi thủy tinh (All-glass fiber): lõi và lớp bọc bằng thuỷ tinh
  - Sợi plastic (All-plastic fiber): lõi và lớp bọc đều bằng plastic
  - Sợi PCS (Plastic-Cladded Silica): lõi bằng thủy tinh, lớp bọc làm bằng nhựa

Sợi quang và các mode lan truyền

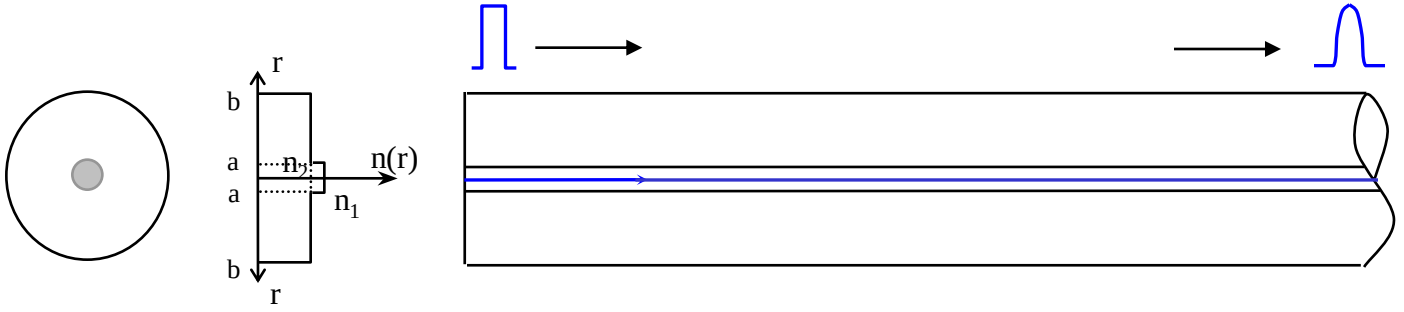
sợi đa mode chiết suất nhảy bậc



sợi đa mode chiết suất biến đổi



sợi đơn mode chiết suất nhảy bậc



thiết bị phát quang

- gồm hai phần: mạch điều khiển và nguồn quang
- chức năng:
  - chuyển đổi tín hiệu điện sang quang với công suất quang tỷ lệ với dòng điện.
  - Ghép nối vào sợi quang

nguồn phát quang

- Các yêu cầu với nguồn quang:
  - bước sóng ánh sáng phát ra: phải có dải phù hợp
  - Thời gian chuyển: tốc độ chuyển của nguồn quang phải cao thì mới đạt tốc độ truyền dẫn cao.
  - Độ rộng phổ: càng hẹp càng tốt
- Các nguồn quang:
  - LED(Diốt phát quang)
  - Laser

LED

- Nguyên tắc phát quang: dựa vào hiện tượng bức xạ tự phát hoặc kích thích của điện tử khi chuyển từ trạng thái năng lượng cao về trạng thái năng lượng thấp hơn.
- Được chế tạo từ vật liệu bán dẫn
- Độ rộng phổ rộng
- Chỉ phù hợp khi truyền với tốc độ chậm cự ly ngắn dùng sợi đa mode

LASER

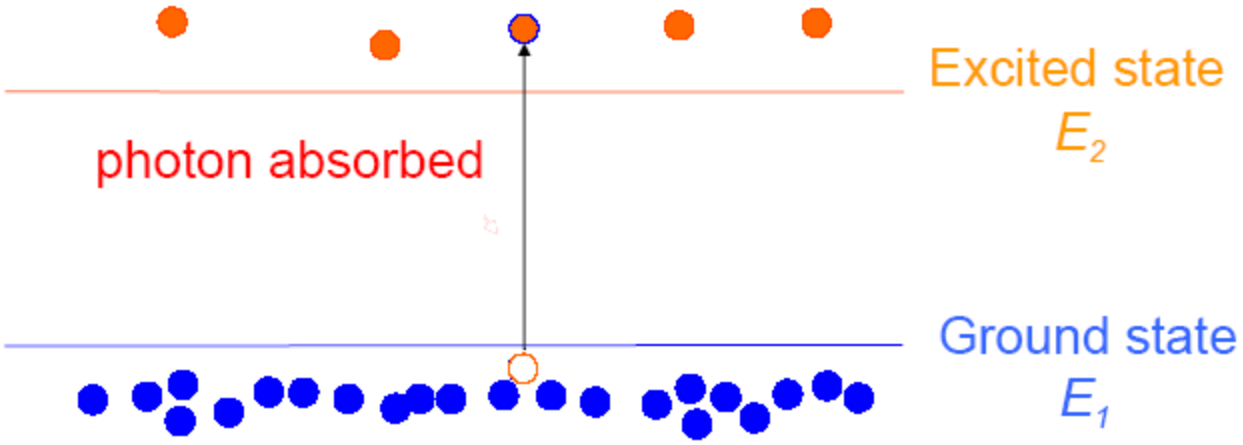
- Laser: Light Amplication by Stimulate Emission of Radiation
- Có độ rộng phổ hẹp
- Bước sóng phát ổn định
- Được sử dụng đối với sợi đơn mode
- Cho phép sử dụng với hệ truyền dẫn với tốc độ cao và cự ly dài
- Cấu trúc phức tạp

Nguyên lý hoạt động Laser

- Là kết quả của 3 quá trình:
  - hấp thụ proton
  - bức xạ tự phát
  - bức xạ kích thích.

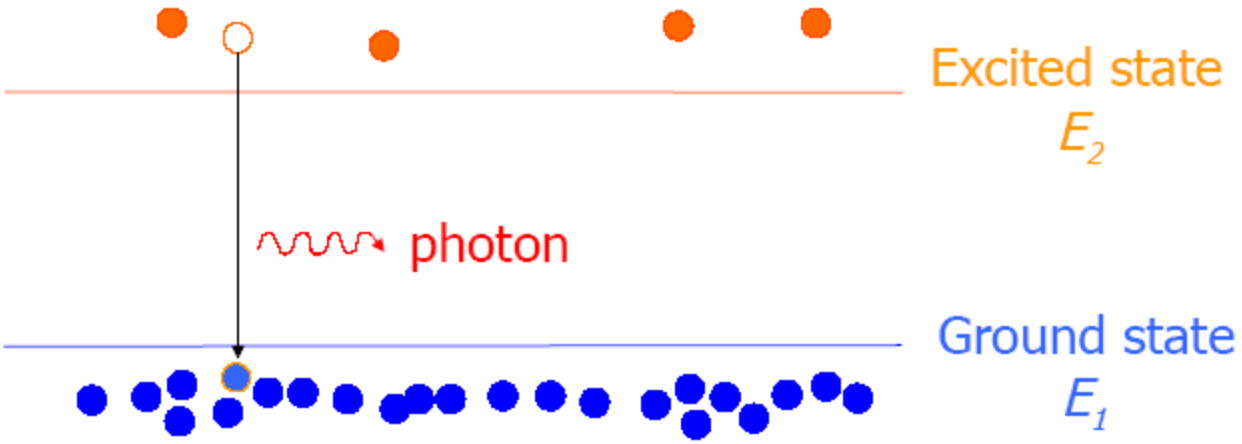
Nguyên lý hoạt động Laser

- Hấp thụ: khi proton có năng lượng lớn hơn E2-E1 có thể bị hấp thụ bởi các điện tử tại mức nền và chuyển tới mức kích thích.



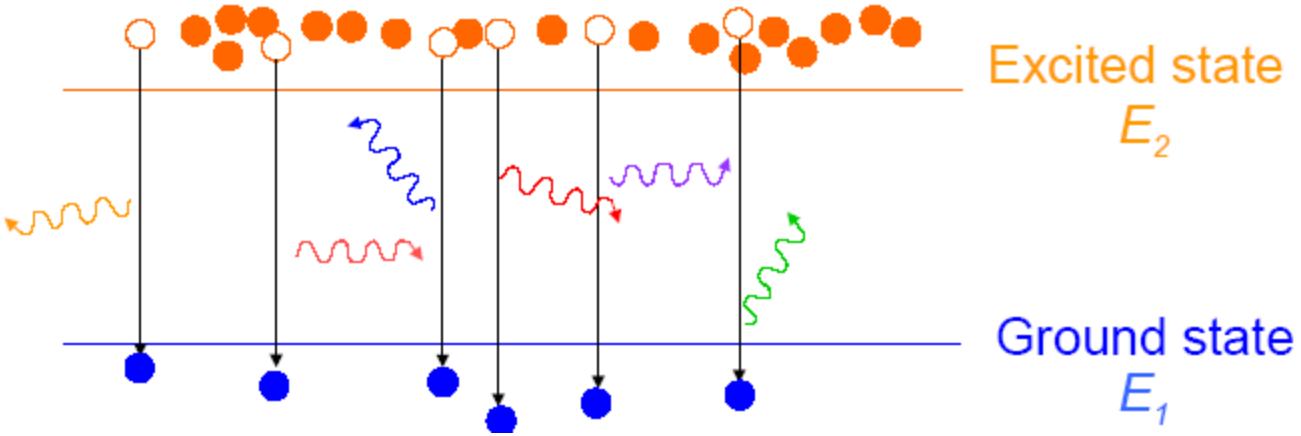
Nguyên lý hoạt động Laser

- Bức xạ tự phát:
  - Điện tử ở trạng thái kích thích có thể bị chuyển về trạng thái nền và phát ra proton có năng lượng hv=E2-E1



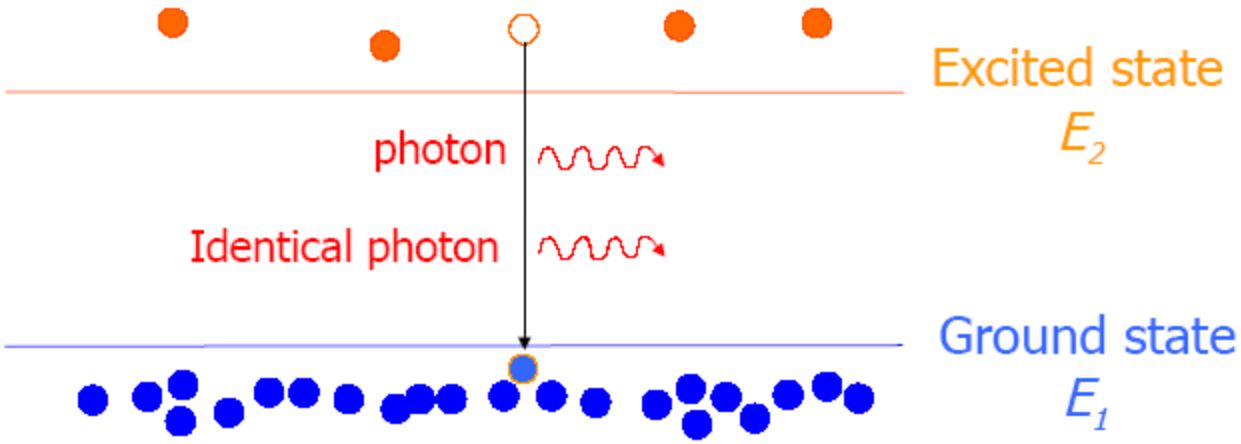
Nguyên lý hoạt động Laser

- Ánh sáng phát ra bởi bức xạ tự phát là đẳng hướng và có pha ngẫu nhiên
- Chúng có thể được coi như nhiễu



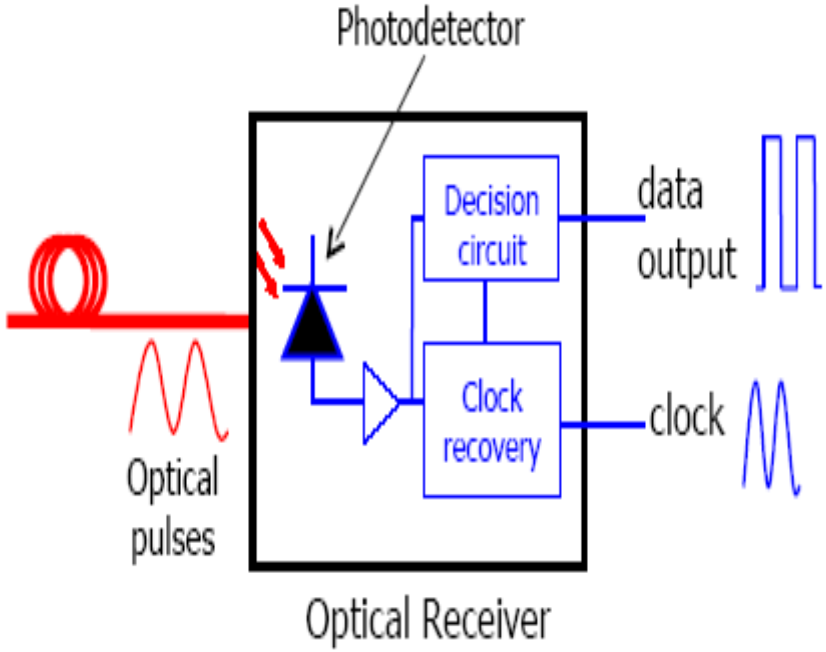
Nguyên lý hoạt động Laser

- bức xạ kích thích:
  - nếu proton có năng lượng hv tác động vào hệ thống trong khi điện tử đang ở trạng thái kích thích thì điện tử sẽ bị rơi xuống trạng thái nền và phát ra proton có hướng cùng với hướng của proton tới.



thiết bị thu quang

- chuyển đổi tín hiệu ánh sáng thu được thành tín hiệu điện
- Là thiết bị ở cuối tuyến truyền dẫn, nơi thu nhận mọi tác động trên toàn đưa tới nên hoạt động của nó liên quan tới hoạt động của toàn bộ hệ thống.



Yêu cầu với thiết bị thu quang

- Có tỷ số SNR lớn
- Có độ nhạy thu cao
- Hoạt động với băng tần lớn
- Thời gian đáp ứng nhanh
- Độ ổn định cao
- Giá thành rẻ

thiết bị thu quang

- Bộ tách sóng photo điot PIN
- Điôt quang kiểu thác (APD

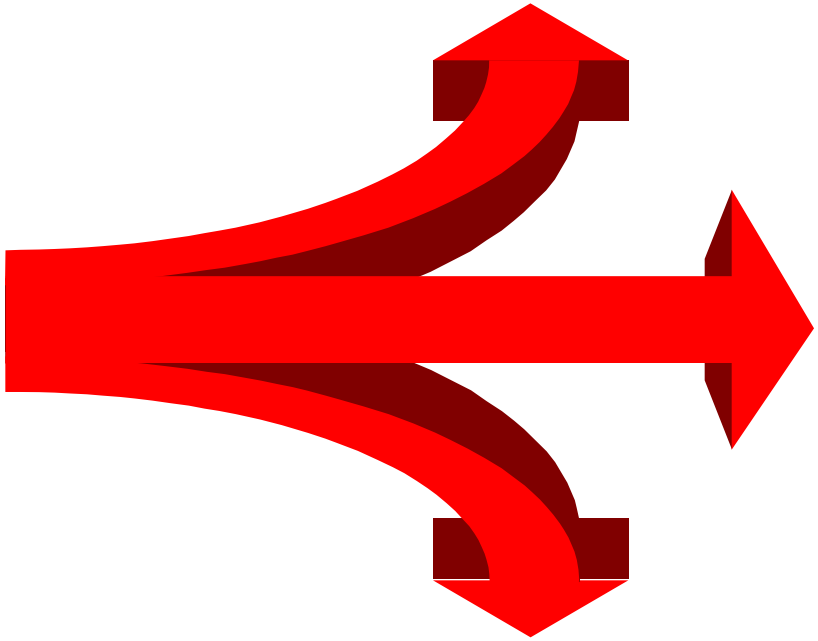
Hệ thống quang WDM

- Thực chất, WDM là một cơ chế trong đó nhiều kênh sóng quang tại các bước sóng khác nhau được điềuchế bởi các chuỗi bit điện độc lập được phát đi trêncùng một sợi quang sau khi đã được ghép kênhbằng kỹ thuật TDM hoặc FDM.
- Tín hiệu quang tại đầu thu được giải ghép kênh thành các kênh riêng rẽ nhờ kỹ thuật quang.
- Kỹ thuật WDM khai thác băng tần rộng của sợi quang. Ví dụ: hàng trăm kênh 10 Gb/s có

TĂNG DUNG LƯỢNG MẠNG

NHIỀU SỢI QUANG

Cùng tốc độ bít, nhiều sợi hơn
Khó đưa vào thực tế
Kỹ thuật đắt



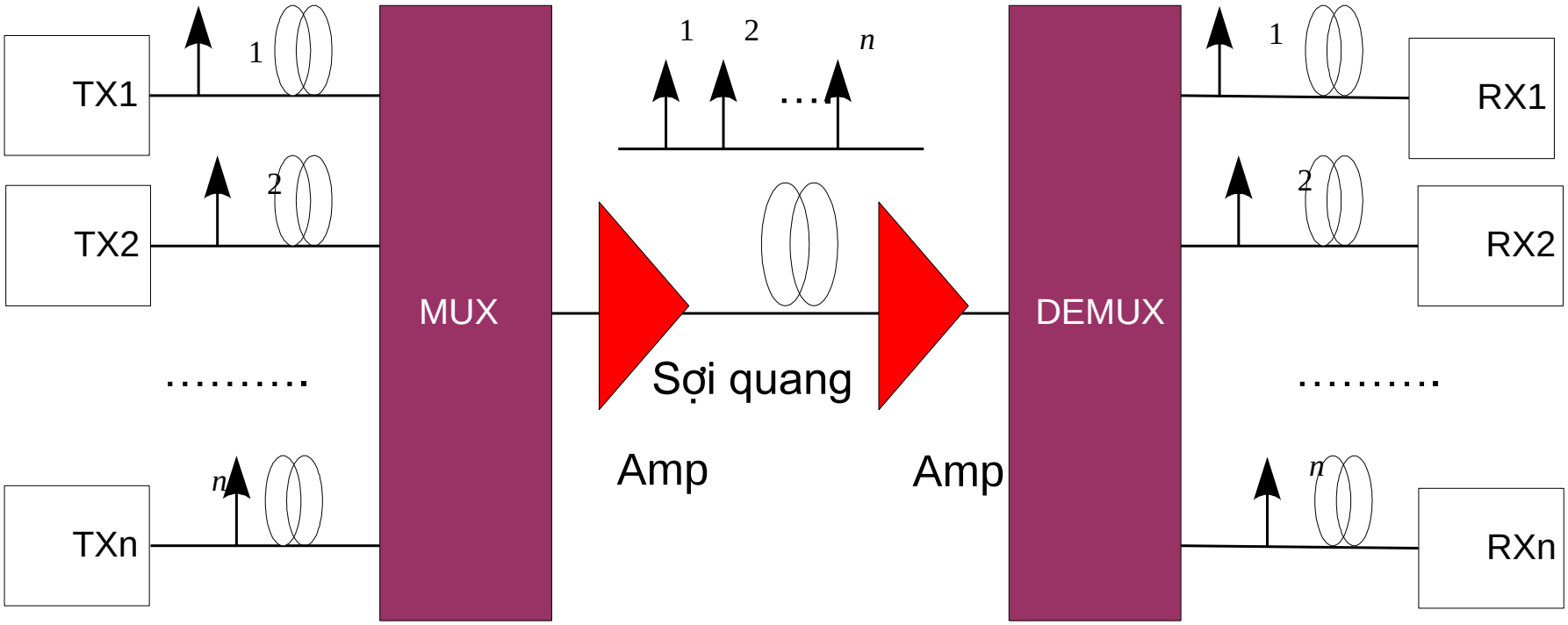
W
D
M

Cùng sợi và tốc độ, nhiều
Tương thích với sợi
Sử dụng phần nhiều giải thông sợi
Dễ dàng triển khai trong thực tế
Giá thành đầu tư thấp
Tận dụng được các thiết bị TDM có sẵn

HỆ THỐNG ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO (TDM)

Tốc độ bít cao hơn trên cùng sợi
Các thiết bị điện ở tốc độ cao đắt

SƠ ĐỒ CHỨC NĂNG HỆ THỐNG WDM



Hệ thống WDM

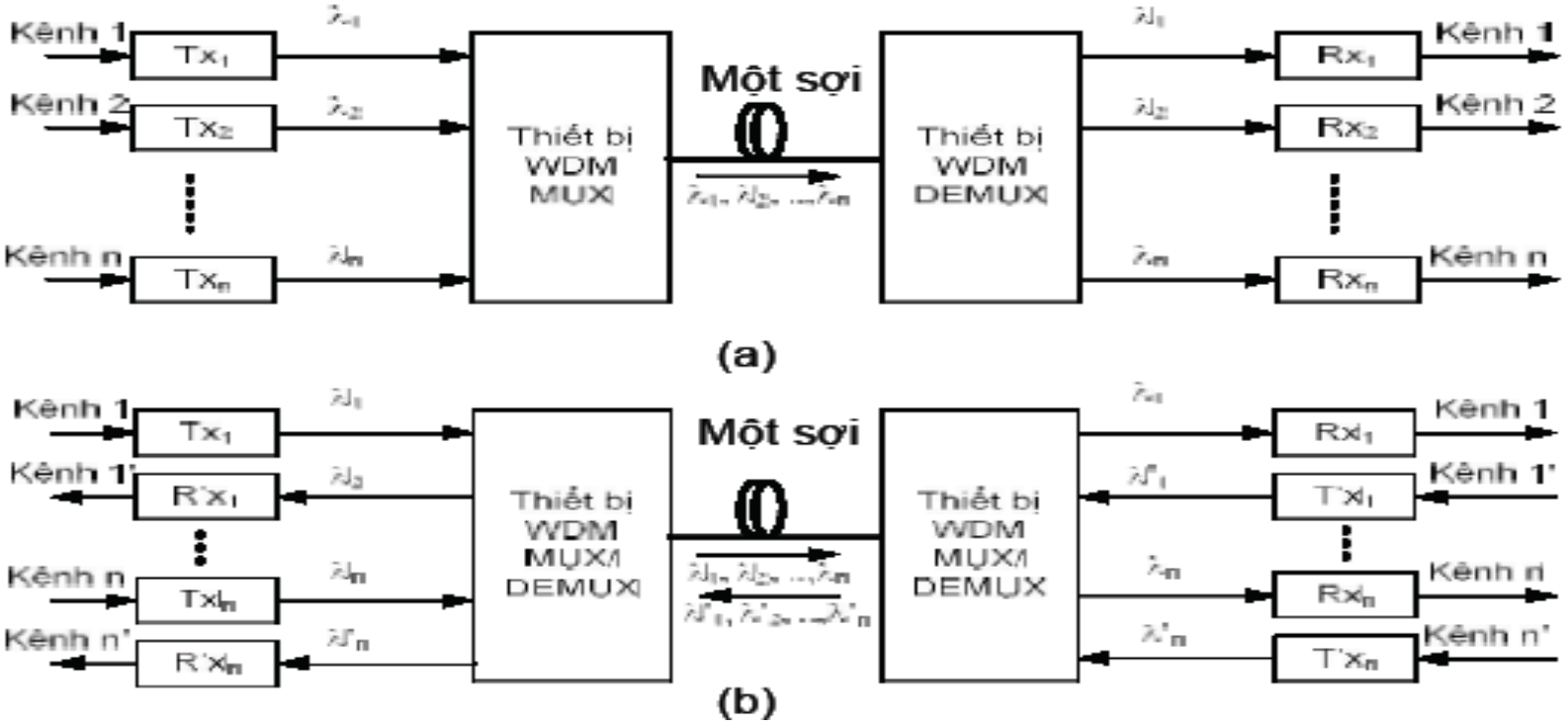
- Phát tín hiệu:
  - nguồn phát: các laser có độ rộng phổ hẹp, bước sóng phát ổn định. Hiện tại có các loại laser điều chỉnh bước sóng và laser đa bước sóng.
- Ghép tín hiệu:
  - Các tín hiệu quang được phát ra ở các bước sóng khác nhau này sẽ được ghép vào cùng một sợi quang nhờ bộ ghép kênh quang. Bộ ghép này phải có suy hao suy hao nhỏ
- Truyền tín hiệu: tín hiệu sau khi được ghép sẽ được phóng vào sợi quang và truyền dẫn tới đầu thu.

Hệ thống WDM

- Thu tín hiệu: Tại đầu thu các tín hiệu quang tổng hợp được tách ra thành từng kênh riêng rẽ nhờ bộ giải ghép WDM.

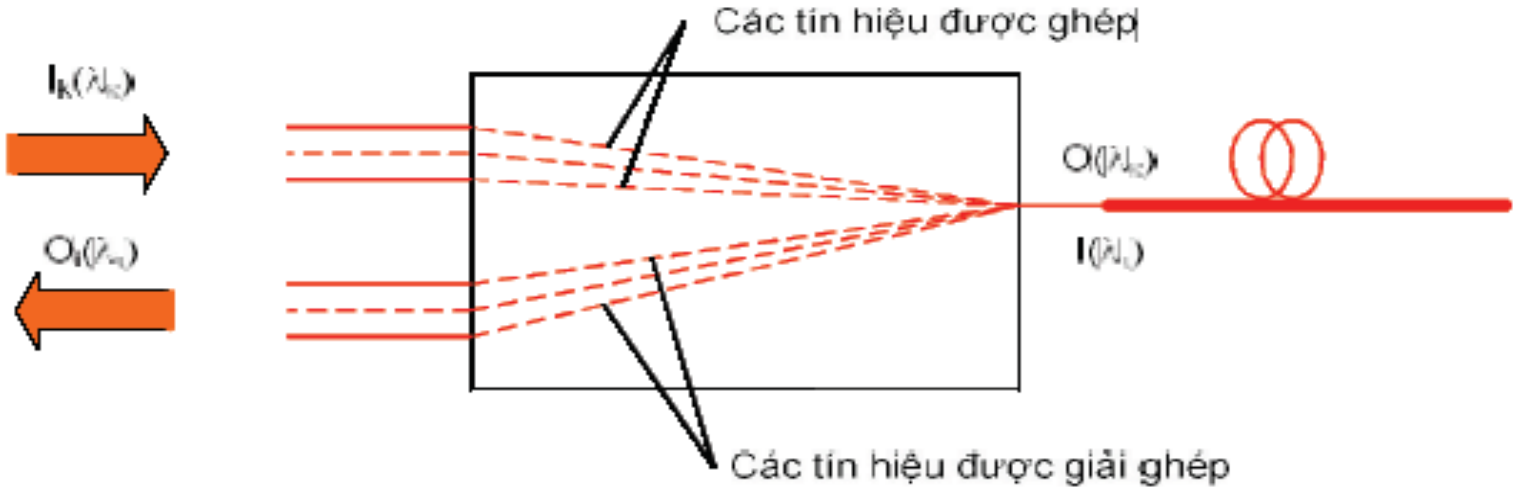
Hệ thống WDM

- Phân loại:
  - hệ thống WDM đơn hướng
  - hệ thống WDM song hướng



Các loại ghép WDM

- Dùng cho truyền dẫn đơn hướng:
  - bộ ghép (MUX) và giải ghép (DEMUX)
- Dùng cho truyền dẫn song hướng
  - bộ ghép và giải ghép hỗn hợp (MUX-DEMUX)



Ưu điểm WDM

- Dung lượng truyền dẫn lớn
- Loại bỏ yêu cầu khắt khe với hệ thống đơn kênh tốc độ cao.
- Linh hoạt cao khi muốn tăng dung lượng hệ thống.
- Quản lý băng tần hiệu quả, tái cấu hình mềm dẻo
- Giảm chi phí đầu tư mới

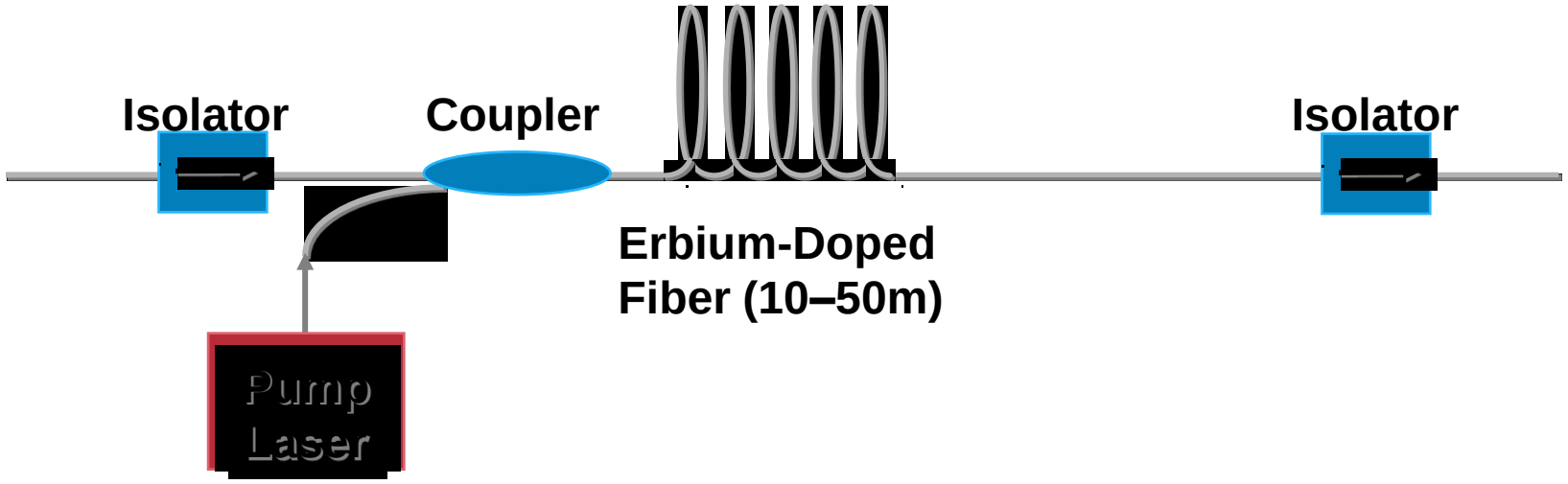
Hạn chế WDM

- Dung lượng hệ thống vẫn còn quá nhỏ bé so với băng tần sợi quang
- Hiện nay DWDM
- Chi phí vận hành bảo dưỡng cao do có nhiều hệ thống cùng hoạt động

Khuếch đại quang

- Trên tuyến truyền dẫn thông tin quang các bộ khuếch đại quang dùng để bù suy hao, bù tán sắc.
- Có thể thực hiện theo 2 cách:
  - Chuyển đổi tín hiệu quang thành điện, khuếch đại tín hiệu điện rồi lại chuyển thành tín hiệu quang
  - Khuếch đại tín hiệu quang trực tiếp (khuếch đại quang sợi)
- Hiện tại khuếch đại quang đều được thực hiện trực tiếp.
- Hiện nay hầu hết sử dụng EDFA (Erbium-Dopped Fiber Amplifier): khuếch đại quang sợi pha tạp nguyên tố Ebrium.

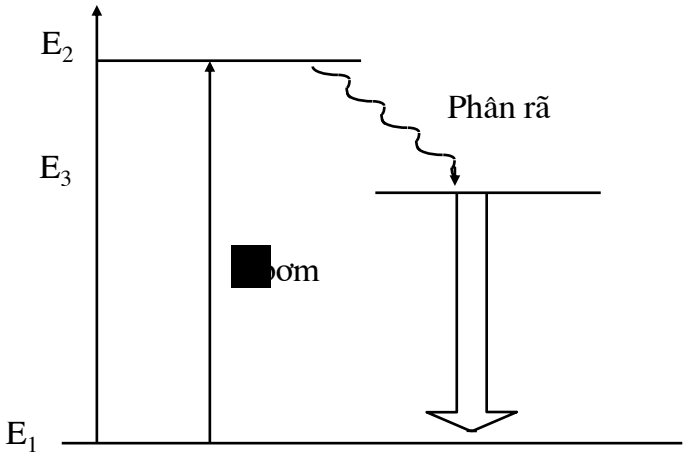
Cấu trúc EDFA



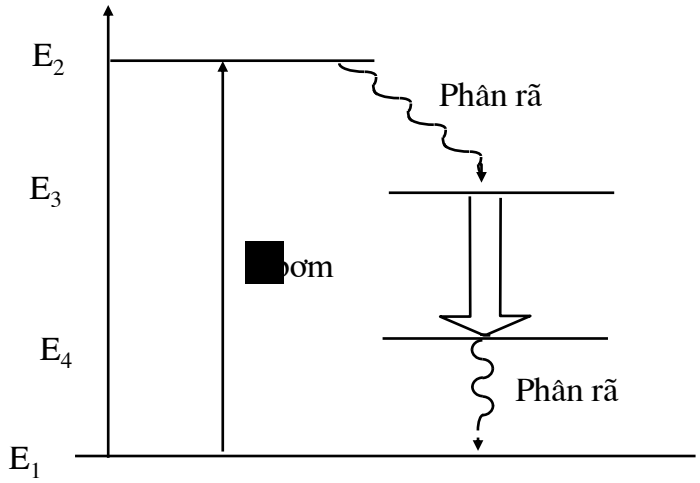
- Một đoạn sợi quang pha tạp Er (10-50m)
- Coupler: dùng để ghép nguồn laser bơm và tín hiệu quang tới.
- Isolator: bộ cách ly , chống phản xạ tín hiệu chỉ cho phép truyền đơn hướng
- Laser bơm: hoạt động bước sóng 980nm hoặc 1480nm

Nguyên tác hoạt động EDFA

- Nguyên lý khuếch đại được thực hiện nhờ cơ chế bức xạ trong 3 hay 4 mức.



a)



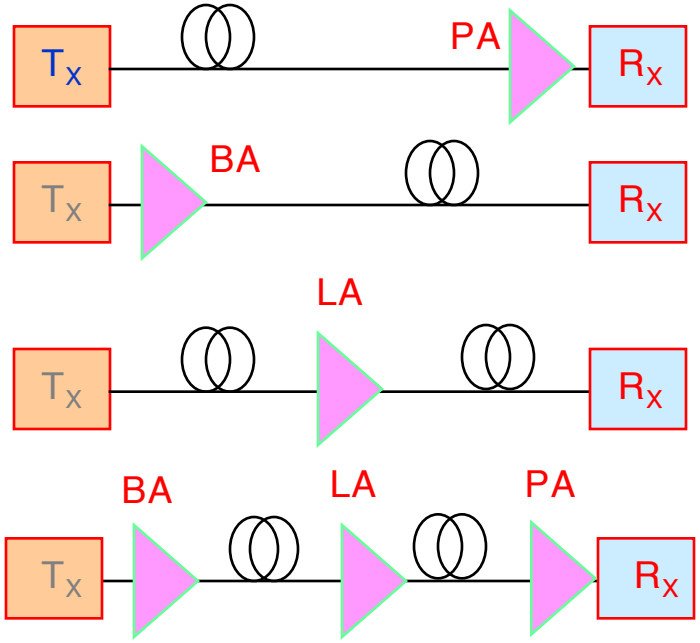
b)

Nguyên tác hoạt động EDFA

- Khi một nguồn bơm photon b- ớc sóng 980nm hoặc 1480nm đ- ợc bơm vào lõi sợi đặc biệt này, các ion Er^{3+} sẽ hấp thụ các photon đó một điện tử của nó chuyển mức năng l- ợng từ mức cơ bản E_1 lên mức kích thích E_2; do tồn tại một mức năng l- ợng siêu bền E_3 ở giữa nên các điện tử này chuyển xuống mức năng l- ợng E_3 theo cơ chế phân rã không bức xạ (thả không bức xạ xuống E_3), sau một khoảng thời gian 10ns, điện tử đ- ợc kích thích này rơi trở lại mức E_1, và phát xạ ra photon.

Nguyên tác hoạt động EDFA

- Hiện t- ợng bức xạ binh th- ờng có thể là bức xạ tự phát (là cơ chế binh th- ờng khi điện tử nhảy mức năng l- ợng) hoặc bức xạ sẽ xảy ra mạnh theo cơ chế bức xạ kích thích; tức là do sự có mặt của các photon mang năng l- ợng bằng với năng l- ợng dịch chuyển mức của các điện tử (trong EDFA thi đó là photon của tín hiệu đ- ợc khuếch đại) sẽ kích thích sự phát xạ và tạo ra thêm nhiều photon tỷ lệ với số photon của chùm sáng. Nho tap Erbium, bức xạ này ở vùng b- ớc sóng 1550nm. Nhờ vậy, tín hiệu đ- ợc khuếch đại khi đi qua sợi pha tạp Erbium.

Ứng dụng EDFA trong WDM

- Làm bộ tiền khuếch đại (PA: Pre - amplifier)
- Làm bộ khuếch đại công suất (BA: Booster Amplifier)
- Khuếch đại đường truyền (LA: Line Amplifier)
- Cả 3