BT Quang Cô Bình

**Bài 2.1**  Cho sợi quang đơn mode có độ lệch chiết suất là 0,2% với chiết suất lõi n1 = 1,48. Hãy xác định đường kính sợi quang khi biết sợi hoạt động đơn mode tại bước sóng lớn hơn 1 µm.

**Bài 2.2** Cho sợi quang đơn mode có độ lệch chiết suất là 0,2% với chiết suất lõi n1 = 1,474. Hãy xác định đường kính sợi quang khi biết sợi hoạt động đơn mode tại bước sóng lớn hơn 1 μm.

**Bài 2.3** : Cho sợi quang có độ lệch chiết suất là 0,2% với chiết suất lõi n1 =1.48 , hãy xác định dải bước sóng để sợi hoạt động đơn mode khi biết đường kính lõi sợi là 9 μm.

**Bài 2.4** Cho sợi quang đa mode chiết suất bậc (MM-SI) có chiết suất lõi là n1, chiết suất vỏ phản xạ là n2, chiều dài sợi là L. Hãy tính tán sắc mode của sợi quang theo nguyên lý quang hình.

**Bài 2.5** Cho sợi quang đa mode chiết suất bậc (MM-SI) có đường kính lõi 50 µm và hoạt động tại bước sóng 900 nm. Biết số lượng mode truyền trong sợi là khoảng 900 mode, hãy xác định khẩu độ số của sợi quang này. Nếu biết độ lệch chiết suất của sợi là 1,5%, hãy xác định chiết suất của lõi sợi.

**Bài 2.6** Xác định tần số chuẩn hóa tại bước sóng 0,82 μm của sợi quang SI có bán kính lõi 25 μ m, chiết suất lõi là 1,48; chiết suất vỏ là 1,46. Hỏi tại bước sóng 1,3 μm có bao nhiêu mode truyền trong sợi quang. Tính tỷ lệ phần trăm công suất ánh sáng truyền trong vỏ trong từng trường hợp.

**Bài 2.7 :** Cho hệ thống truyền dẫn sợi quang tại 1,55 µm có mức công suất phát quang là 1 mW, được truyền qua tuyến sợi quang dài 80 km với suy hao trung bình là 0,22 dB/km.

a/ Hãy xác định mức công suất quang đi vào bộ thu quang.

b/ Nếu biết hệ thống yêu cầu mức công suất thu nhỏ nhất tại bộ thu là -19,8 dBm, hãy xác định khoảng cách tối đa của tuyến truyền dẫn sợi quang.

**Bài 2.8:** Sợi đa mode chiết suất bậc có đường kính lõi 50 µm được thiết kế để giới hạn tán sắc mode chỉ 10 ns/km. Biết chiết suất vỏ sợi là 1,45. a/ Hãy xác định khẩu độ số của sợi quang.

b/ Xác định giới hạn tốc độ truyền dẫn trên 1 km tại bước sóng 880 nm khi giả sử độ dãn xung không được vượt quá một chu kì bit.

**Bài 2.9** Cho sợi quang có đường kính lõi 50 µm và hoạt động tại bước sóng 850 nm. Biết sợi có độ lệch chiết suất là 1% với chiết suất lớp vỏ n2 = 1,45.

a/ Hãy xác định mức độ dãn xung gây ra bởi tán sắc mode trong trường hợp sợi có mặt cắt chiết suất bậc.

b/ Hãy xác định mức độ dãn xung gây ra bởi tán sắc mode trong trường hợp sợi có mặt cắt chiết suất biến đổi với hệ số mặt cắt tối ưu (g = 2).

c/ Hãy xác định mức độ dãn xung gây ra bởi tán sắc mode trong trường hợp sợi có mặt cắt chiết suất biến đổi với hệ số mặt cắt chiết suất g = 2,5.

**Bài 2.10 :** Hệ thống thông tin quang đơn kênh hoạt động ở tốc độ bit 10Gbps, mã NRZ sử dụng nguồn phát quang đơn mode ở bước sóng 1550 nm với độ rộng phổ 1nm truyền trên sợi đơn mode tiêu chuẩn SMF có hệ số tán sắc D=0,26 ps/nm.km.Hãy tính giới hạn truyền dẫn tối đa do ảnh hưởng của tán sắc GVD

**Bài 2.11:** Tính khẩu độ số của sơi quang SI có chiết suất lõi là 1,5 chiết suất vỏ phản xạ là 1,47 .

**Bài 2.12:** Cho sợi quang có các tham số sau : hệ số mặt cắt chiết suất g= 2; đường kính lõi 50 μm, khẩu độ số 0,2 , tại 1μm. Tính số mode lan truyền trong sợi.

**Bài 2.13 :** Cho sợi quang đơn mode có các tham số sau : đường kính lõi sợi 9 μm , chiết suất lõi n=1.475, bước sóng cắt 950 nm hãy xác định độ lệch chiết suất của sợi.

**Bài 2.14 :**  Tính độ trễ về thời gian giữa mode nhanh nhất và mode chậm nhất tại đầu ra của một tuyến thông tin quang dài 6km có chiết suất lõi 1,5 độ lệch chiết suất tương đối 1,5%.

**Bài 2.15** : Cho sợi quang MMSI có chiết suất lõi n1= 1,5 và chiết suất vỏ là 1,47.Xác định góc tới hạn θc tại ranh rới giữa lõi và vỏ phản xạ? Khẩu độ số NA của sợi quang ? Góc tiếp nhận không khí vào sợi quang.

**Bài 4.1** GaAs có năng lượng dải cấm là 1,43 eV . Xác định bước sóng mà khi bước sóng của tín hiệu quang đến lớn hơn bước sóng này thì photodiode chế tạo từ vật liệu đó ngừng hoạt động

**Bài 4.2** Một photodiode có hiệu suất lượng tử là 65% khi photon có năng lượng là 1,5.10-19 J đi đến nó. - Xác định bước sóng hoạt động của photodiode

- Tính toán công suất quang đến yêu cầu để đạt được dòng photo là 2,5μA với photodiode trên

**Bài 4.3** Một photodiode PIN, trung bình cứ 3 photon đến tại bước sóng 0,8 μm thì tạo ra 1 cặp điện tử-lỗ trống. Giả thiết rằng, tất cả các điện tử này đều được đi ra đến mạch ngoài. Tính:

- Hiệu suất lượng tử của thiết bị

- Năng lượng dải cấm lớn nhất có thể của vật liệu bán dẫn chế tạo photodiode

- Giá trị dòng photo trung bình tạo ra khi công suất quang thu được là 10-7W

- Số photon tương ứng đến bộ thu tại bước sóng đó

**Bài 4.4**. Một photodiode PIN, có hiệu suất lượng tử là 50% tại bước sóng 0,9 μm. Tính đáp ứng tại bước sóng 0,9 μm. Công suất quang thu được nếu dòng photo trung bình thu được là

10-6A. Số photon tương ứng đến bộ thu tại bước sóng đó

**Bài 4.5** Một photodiode APD, có hiệu suất lượng tử là 80% tại bước sóng 0,9 μm. Khi có AS đến có công suất là 0,5 μW , nó tạo ra dòng photon 11μA (sau quá trình nhân). Xác định hệ số nhân của thiết bị.

**Bài 4.6** Một photodiode APD, có hiệu suất lượng tử là 45% tại bước sóng 0,85 μm. Khi có AS đến, nó tạo ra dòng photo 10μA sau quá trình nhân với hệ số nhân là 250 lần. Tính công suất quang thu được. Số photon thu được trong 1s ?

**Bài 4.7** Bộ thu quang sử dụng photodiode p-i-n Si có hiệu suất lượng tử 65% khi hoạt động tại bước sóng 0,85 μm. Dòng tối của thiết bị tại điểm làm việc là 2 nA và điện trở tải là 4 kΩ. Công suất quang đến tại bước sóng này là 180nW và băng tần nhiễu hiệu dụng của bộ thu là 5MHz. a. Xác định dòng nhiễu nổ và nhiễu nhiệt. So sánh nhiễu nổ tạo ra trong photodiode với nhiễu nhiệt ở điện trở tải tại nhiệt độ 20oC. b. Tính SNR tại đầu ra của bộ thu với hệ số nhiễu khuếch đại (Fn) là 3 dB

**Bài 4.8** Bộ thu quang sử dụng APD Si (x=0,3) có băng tần nhiễu hiệu dụng là 50MHz, điện trở tải là 600 Ω. Dòng photo trung bình được tạo ra trước khi khuếch đại (nhân) là 10-7A; nhiệt độ của bộ thu là 18OC. Xác định SNR khi M=1 và khi M=Mopt (Bỏ qua ảnh hưởng của dòng tối và Fn=1)

**Bài 4.9**  Bộ thu quang sử dụng photodiode p-i-n, bước sóng 1,55 μm. Hệ số đáp ứng R = 1 A/W . Với σT=100 nA, tính công suất thu tối thiểu để đạt được BER = 10-9

**Bài 4.10** Một photodiode có hiệu suất lượng tử khi photon có năng lượng là 1,5 .10-19 J, xác định bước sóng hoạt động của photodiode. Khi dòng điện trong mạch 2,5μA thì công suất quang đến PIN là ?

**Bài 4.11** Hệ thống thông tin quang sử dụng đơn mode chuẩn chiều dài 100km, hoạt động tại cửa sổ bước sóng 1550nm với sự suy hao của sợi là 0,2 dB/km và hệ số tán sắc là 17ps/(nm.km) biết công suất quang là 1 mW. Xác định công suất tại bộ thu quang. (giả thiết bỏ quang suy hao hàn nối trên tuyến).

Giả sử hệ thống có tốc độ 10Gbps mã truyền dẫn NRZ, hãy xác định độ rộng phổ cho phép lớn nhất của nguồn quang để độ dãn xung do tán sắc gây ra không vượt quá 1 chu kỳ bit.

**Bài 4.12** Hệ thống thông tin quang sử dụng đơn kênh hoạt động tại bước sóng 1,55 μm. hệ số tán sắc GVD của hệ thống là 18ps/(nm.km),.Giả thiết tốc độ truyền dẫn là 2,5 Gbps. Xác định giới hạn truyền dẫn tối đã của hệ thống do ảnh hưởng của tán sắc GVD.

**Bài 4.13** Tính đáp ứng của một nguồn thu quang PIN tại bước sóng 1310 nm và 1550 nm khi biết hiệu suất lượng tử là 80%.

**Bài 4.14** luồng photon vào một APD có tốc độ là 1010s-1 với độ đáp ứng là 6. Hãy tính hiệu suất lượng tử và dòng quang điện tại bước sóng hoạt động 1550 nm biết hệ số khuếch đại của APD là 10.

**Bài 4.15** Bộ thu quang PIN – SI tại bước sóng 0.8 μm,Độ rộng băng tần là 20MHz hiệu suất lượng tử 65%. Điện dung tiếp giáp là 8pF và hình ảnh nhiễu của bộ khuếch đại là 3dB. Công suất vào bộ thu là 5μW. Hãy xác định các dòng nhiễu rms ( nhiễu nổ , nhiễu nhiệt, nhiễu bộ khuếch đại ).

**Bài 4.16**: Bộ thu quang đòi hỏi một SNR ít nhất 20dB để đảm bảo chất lượng. Công suất thu nhỏ nhất là bao nhiêu khi quá trình thu bị giới hạn nhiễu nổ ? nhiễu nhiệt ?(biết nhiệt độ bộ thu quang là 20oC , Rl = 1kΩ , Δf= 20MHz, R= 1, Fn =1, M =1)

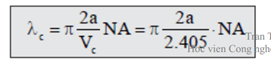
**Bài 4.17** Xác định hệ số khuếch đai M tối ưu để SNR cực đại . biết FA (M)= M2

**Bài 4.18** bộ thu quang hoạt động tại bước sóng 1310 nm có tốc độ 100Mbps và có động rộng băng tần nhiễu hiệu dụng là 60MHz. Nguồn thu quang PIN có dòng tối có thể bỏ qua và hiệu suất lượng tử là 90%. Điện trở tải 100Ω và hình ảnh bộ nhiễu bộ khuếch đại 3dB.Tính độ nhạy bộ thu tương ứng với BER là 10-9 và 10-12  giả thiết Id chọn tối ưu và I0=0.

Hệ thống thông tin quang đơn kênh hoạt động ở tốc độ bit 10Gbps, mã NRZ 50% sử dụng nguồn phát quang đơn mode ở bước sóng 1550 nm với độ rộng phổ 1nm truyền trên sợi đơn mode tiêu chuẩn SMF có hệ số tán sắc D=20 ps/nm.km. Hãy tính khoảng cách tối đa mà tại đó bắt đầu xảy ra hiện tượng xuyên nhiễu giữa các tín hiệu ISI

Bài 2.1

Sợi quang hoạt động đơn mode tại bước sóng lớn hơn 1 μm nên bước sóng cắt λc = 1 μm

ta thấy 

khẩu độ số :

Thay số vào tính toán ta có đường kính sợi quang

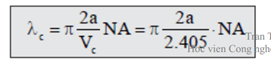
2a

= 8.18 (μm)

Nguyễn Ngọc Tú 0978440145

Bài 2.2

Điều kiện để sợi hoạt động đơn mode là V < 2,405 hoặc λ > λc Vậy λc = 1 μm

Ta có 

Ta có NA : 

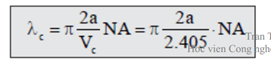
Thay vào ta có đường kính sợi quang :

2a = 2,60 (μm)

Nguyễn Ngọc Tú 0978440145

Bài 2.3 :

Điều kiện để sợi hoạt động đơn mode là V < 2,405 hoặc λ > λc

Ta có 

Ta có NA :



Thay vào ta có đường kính sợi quang :

λc = π.2a.n1.(2Δ) 1/2 / 2,405

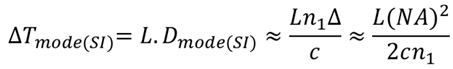
= 1,1 μm

Vậy dải bước sóng để sợi hoạt động đơn mode là :

λ > λc = 1,1 μm

Bài 2.4

tán sắc mode của sợi SI :



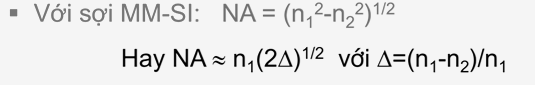
NA : khẩu độ số

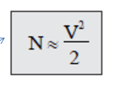
Thay vào ta có tán sắc mode của sợi SI là :

ΔTmode(SI) =

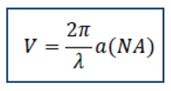
Bài 2.5

Tra bảng khẩu độ số



Số lượng mode lan truyền trong sợi SI

N=900 nên V = 42.42

Tần số chuẩn hóa V : 

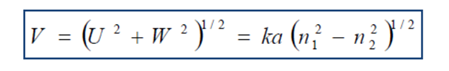
Suy ra NA = V.λ /(2.a.π)

NA = = 0,243

Với Δ= 0.015

Chiết suất lõi sợi n1 = NA / (2Δ)1/2 = 1,403

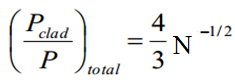
Bài 2.6

Với λ = 820 nm Tần số chuẩn hóa V: 

Thay vào ta có được : k

= 46,45

Tỷ lệ công suất ánh sáng truyền trong vỏ



Số mode truyền trong sợi quang :

N= 1078,8 ≈ 1078 (mode)

Tỷ lệ phần trăm công suất ánh sáng truyền trong vỏ

Pclad / P = 4,06%

Với λ = 1300 nm

Bài 2.7 :

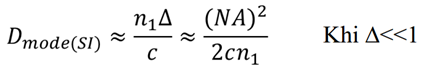
A,Công suất quang đi vào bộ thu quang :

Pthu = Pin =10^(-3).10 ^(-1,76)

= 1.74 .10-5 (w)

Bài 2.8:

Hệ số tán sắc mode :



Dmode(SI) = n1(n1-n2)/(n1.c) = (n1-n2)/c = 10 (ps/km)

Suy ra n1 = +n2 = 1,45 + 0,003 = 1,453 NA = (Dmode.2c.n1 )1/2 = 0,093

Giới hạn tốc độ truyền dẫn :

B.ΔT mode< 1

BLDmode < 1

B<1/(DmodeL)

B < 1/(10.10-9) = 10^8(bps)

Bài 2.9

Mức độ dãn xung Dmode = /L

Khi g = g (r) = ∞ hệ số mặt cắt chiết suất bậc :

= n1Δ L / c

Δ = suy ra n1= = 1.464

(Với L= 1km ( cự ly chuẩn )

a ,

Mức độ dãn xung :

Dmode = /L = n1Δ / c = 4,88 .10-11 (s/km) = 48.8 (ps/km)

b,

Mức độ dãn xung :

Dmode = /L = n1Δ2/8c =6,1 .10-14(s/km)

=0.061(ps/km)

c,

Mức độ dãn xung :

Dmode = /L = n1Δ=5,42 .10-12(s/km)=5.42 (ps/km)

Bài 2.10

Giới hạn truyền dẫn do tán sắc mã NRZ

B.ΔT < 1

Ta có tán sắc GVD :



Giới hạn truyền dẫn

L< =

= 384,6 (km)

Bài 2.11:

Khẩu độ số của sợi SI là :

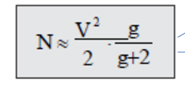
NA = (n12- n22)1/2

= (1,52-1,472)1/2

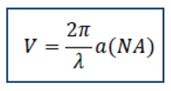
= 0,298

Bài 2.12:

Số mode lan truyền trong sợi quang :



Tần số chuẩn hóa :



V= π (50 .10-6 .0,2)/10-6 = 31,42

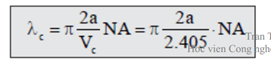
Số mode lan truyền trong sợi quang :

N= 246,74 (mode)

Số mode lan truyền trong sợi quang 246 mode

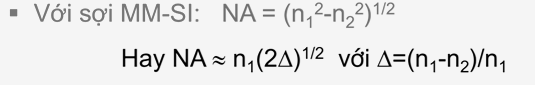
Bài 2.13 :

Ta có λc = 950 nm



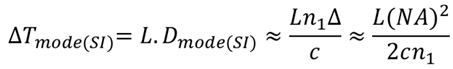
Ta có NA = λc .2,405 / (π2a) = 0,08

Khẩu độ số NA

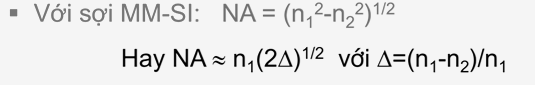


Δ = (NA/n1)2 .1/2 = 0,0015 = 1,5%

Bài 2.14 :



Khẩu độ số NA



NA = 1,5 (2.0,0015)1/2 = 0,082

ΔT mode = 6.103.0,0822 / (2.3.108.1,5) = 44,83 ns

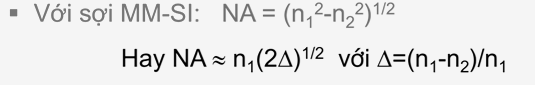
Bài 2.15 :

Góc tới hạn θc được xác định qua định luật Snell:

Sin θc =n2/n1

θc = 78,52o

Khẩu độ số NA của sợi quang



NA = (n12 – n22) ½ = 0,299

NA = sin θmax (góc vào < θmax)

Góc nhận ánh sáng của sợi quang θ < 2 θmax = 34,80o

Bài 4.1

Năng lượng photon : E= hc / λ

Bước sóng dài nhất để p-i-n hoạt động là :

E > Eg

λ < λth = hc/Eg

= 6.625.10-34 . 3.108 / (1.43. 1,6.10-19 )

= 0.869 (μm)

Bài 4.2

Bước sóng hoạt động của photodiode :

λ = hc / E = 1,325 .10-6 (m)

Dòng photon trong máy thu quang là : Ip= R.Pin

đáp ứng của PIN là :

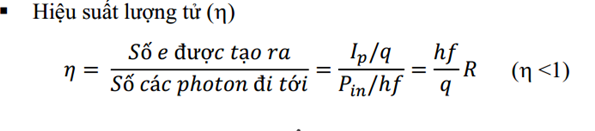


R = 0,69 (chú ý trong công thức này λ tính theo μm)

công suất quang đến máy thu quang là :

Pin = Ip / R = 3,62 .10-6 W

Bài 4.3



η = 1 / 3 = 0,333

Điều kiện để PIN hoạt động là :

λ = 0,8 .10-6 < λth = hc/Eg

Vây dải cấm lớn nhất có thể của vật liệu tạo pin là khi λ = λth

Eg max = 2,48 .10-19 w

Dòng photon trong máy thu quang là : Ip= R.Pin

Đáp ứng của PIN là :

 R = 0,215

Dòng photon trong máy thu quang là :

Ip = 2,15.10-8 A

Số photon tương ứng đến tại bước sóng đó là

M = Pin / hf = 4,02.1011 (photon)

Bài 4.4

Đáp ứng của PIN là :



R = 0,47

Số photon tương ứng đến tại bước sóng đó là

M = Pin / hf = 4,02.1011 (photon)

Bài 4.5

Dòng photon trong máy thu quang là : Ip= RAPD.Pin= R.M.Pin

RAPD = Ip/Pin = 22

Đáp ứng của bộ thu quang là



R = 0,58

Vậy hệ số nhân của APD là :

M = RAPD / R = 37,9

Bài 4.6

Dòng photon trong máy thu quang là :

Ip= RAPD.Pin= R.M.Pin

Đáp ứng của bộ thu quang là :

R = 0,31

Đáp ứng của bộ thu APD là :

RAPD = R.M = 77.11

Công suất quang thu được tại máy thu quang là :

Pin = Ip /RAPD = 1,30 .10-7 w

Bài 4.7

Dòng nhiễu nổ trong máy thu quang là :

σs2= 2q(Ip+Id)Δf

Đáp ứng của bộ thu quang là :

 R = 0,45

Ip = Pin .R = 80,2.10-9 A

Vậy dòng nhiễu nổ trong máy thu quang là :

σs = 1,07.10-5

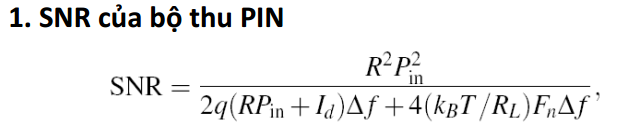
Dòng nhiễu nhiệt trong máy thu quang là :

σT2 = (4kBT / RL)FnΔf

Hình ảnh nhiễu Fn = 100,3 = 2

σT = 2.01.10-9

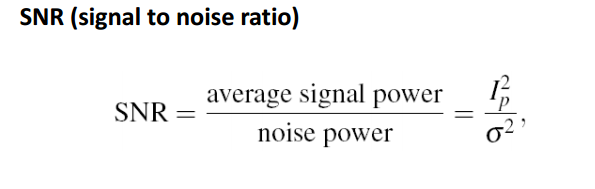
nhận thấy : σs >> σT



SNR = 5, 62 .10-5

Bài 4.8

Khi M = 1

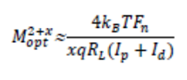
Với Ip = I . M = 180nA = 180.10-9 A

σ2 = σs2 + σT2 = 2qM2Fa(Ip+Id)Δf + (4kBT / RL)FnΔf

với Fa = Mx= 10,3= 1 , σ2 = 8,03.10-14

Vậy ta có : SNR = 5, 62 .10-5 = 0.4

Khi M = Mopt



Trong đó Ip = I.Mopt

Mopt (2,3+1) = 4kBT/(xqRlI) = 11,66

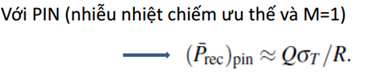
σ2 = σs2 + σT2 = 2qM2Fa(Ip+Id)Δf + (4kBT / RL)FnΔf

với Fa = Mx= 11,660,3= 2,09

σ2 = 2,12.10-16

Vậy ta có : SNR = 20778,12

Bài 4.9



Với xác suất lỗi BER = 10-9 thì Q = 6

Vậy công suất thu tối thiểu của PIN là :

Prec = 6.10-7 w

Bài 4.10

Năng lượng photon : E= hc / λ

Bước sóng dài nhất để p-i-n hoạt động là :

E > Eg

Một photodiode có hiệu suất lượng tử khi photon có năng lượng là 1,5 .10-19 J, tức là E = Eg

λth = hc/Eg = 6.625.10-34 . 3.108 / (1,5.10-19 )

= 1,325 (μm)

Dòng photon trong máy thu quang là : Ip= R.Pin

Đáp ứng của PIN là

R = 0,69

Công suất quang trong máy thu quang là :

Pin = 3,60.10-6 w

Bài 4.11

Công suất máy thu

Pthu = Pphát 10-αL/10

***ta có Pthu = 6,31.10-6 w***

**Giới hạn truyền dẫn do tán sắc mã NRZ**

**B.ΔTGVD < 1**

***Với* ΔTGVD :**

***Ta có :* B.DGVD.L.Δλ < 1**

**Δλ < 1/ ( B . DGVD . L )**

**= 1/ (1010.17-12.100) = 0.06 (nm)**

***Vậy độ rộng phổ cho phép tính theo bước sóng lớn nhât là :***

**Δλ= 0.06 (nm)**

**Bài 4.12**

**Giới hạn truyền dẫn do tán sắc GVD**

**B.ΔTGVD < 1**

***Ta có :***

**B.DGVD.L.Δλ < 1**

**L < 1/ ( B . DGVD . Δλ ) = 1/ (2,5.109.18.10-12. 0,1) = 222,2 (km)**

***Vậy* giới hạn truyền dẫn tối đã của hệ thống *là :***

**L= 222,2 (km)**

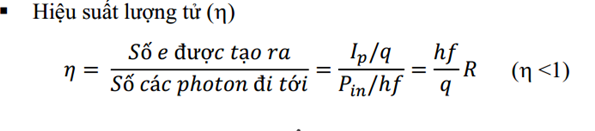
**Bài 4.13**

**Đáp ứng của bộ thu quang là :**

**Với λ= 1,55 μm ta có R= 1**

**Với λ= 1,31 μm ta có R= 0,85**

**Bài 4.14**



**Hiệu suất lượng tử : η = RAPD.h.c /(q.λ) = 48,1**

**Số photon tới máy thu quang trong 1s là 1010**

**Vậy số e được tạo ra là : 1010.48,1= 481.109**

**Dòng quang điện trong mạch là :**

**Ip = 481.109.1,6.10-19 = 7,7 .10-9 A**

**Bài 4.15**

**Nhiễu bộ khuếch đại : Fn = 3dB =100,3 = 2**

**Đáp ứng của bộ thu quang là :**



**R = 0,42**

**Điện trở tải : Rl=**

**Rl= 994,7 Ω**

**Dòng quang điện trong máy thu : Ip = R.Pin = 2,1 μA**

**Dòng Nhiễu nổ : σs2= 2.q.(Ip+Id).Δf**

**(ko nhắc tới coi như Id =0)**

**Với σs= 3,67 .10-9**

**Dòng Nhiễu nhiệt : σT2 = (4kBT / RL)FnΔf**

**(thiếu dữ kiện nhiệt độ )**

***Với T= 20oC***

***σT = 2,55.10-8***

**Bài 4.16:**

**Quá trình thu bị giới hạn nhiễu nổ : σs >> σT ,**

**σ = σs= (2.q.(Ip+Id).Δf )1/2**

**SNR = Ip2 / σ2 = (R.Pin)2 / σs 2**

**Pin = SNR . 2.q.Δf / R = 0,64 nW**

**Quá trình thu bị giới hạn nhiễu nhiệt : σT >> σS ,**

**σ = σT= ((4kBT / RL)FnΔf)1/2**

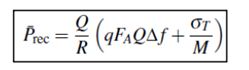
**SNR = Ip2 / σ2 = (R.Pin)2 / σT2**

**Pin =**

**(SNR.4.kB.T.FnΔf / (Rl.R2) )1/2 = 17, 99 μW**

**Bài 4.18**

**Độ nhạy thu của PIN :**

**M =1 , FA =1**

**Đáp ứng thu của PIN là :**

 **R = 0,95**

**σT= ((4kBT / RL)FnΔf)1/2**

**(không cho dữ kiện T : nhiệt độ)**

**Giả sử Quá trình thu bị giới hạn nhiễu nổ : σs >> σT**

**Hình ảnh nhiễu khuếch đại : Fn = 3dB = 100,3 = 2**

**Với xác suất lỗi BER = 10-9 thì Q = 6**

**Prec = 0,36 nW**

**Với xác suất lỗi BER = 10-12 thì Q = 7**

**Prec = 0,49 nW**