

THIẾT KẾ TUYẾN TRUYỀN DẪN QUANG BĂNG RỘNG THEO HƯỚNG BẢO TOÀN CÔNG SUẤT THU VÀ TÁN SẮC

Design of broadband optical transmission lines to conserve received power and dispersion

Hồ Văn Cừ^{(1)*}, Nguyễn Thị Thu Hằng⁽¹⁾, Phạm Quốc Cường⁽¹⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Sài Gòn

TÓM TẮT

Mạng truyền dẫn cáp quang ghép kênh theo bước sóng của Việt Nam đầu tư xây dựng với công nghệ hiện đại, theo tiêu chuẩn kỹ thuật quốc tế ITU-T chất lượng và độ tin cậy cao, việc nghiên cứu nâng tốc độ truyền dẫn trên mỗi bước sóng lên 10 Gbps (STM-64), 40 Gbps (STM-256) và hướng đến 160 Gbps, thì gia tăng tán sắc, tăng hiệu ứng phi tuyến, tỷ số bit lỗi BER tăng, như vậy trên một số đoạn truyền dẫn cự ly dài sẽ không đảm bảo chất lượng. Do đó, chúng tôi đề xuất bài toán thiết kế tuyến truyền dẫn quang theo hướng đảm bảo về tham số công suất tín hiệu quang thu và tham số tán sắc tích lũy.

Từ khóa: WDM, công suất thu, tán sắc.

ABSTRACT

Vietnam's wavelength division multiplexer optical fiber transmission network is invested and built with modern technology, according to international technical standards ITU-T, high quality and reliability, currently, research is being done to increase the transmission speed per wavelength to 10 Gbps (STM-64), 40 Gbps (STM-256), and towards 160 Gbps, increasing the dispersion, nonlinear effects, and BER increase, so on some current transmission sections, the quality will not be guaranteed. Therefore, we propose the problem of designing an optical transmission line in the direction of ensuring the received optical signal power parameters and the accumulated dispersion parameters.

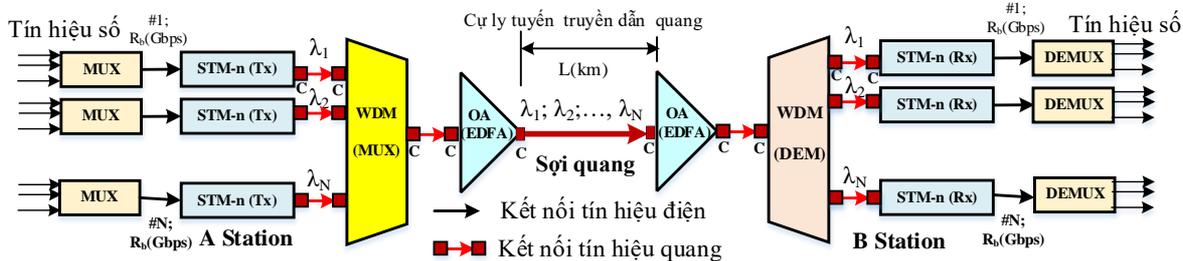
Keywords: WDM, received power, dispersion.

1. Tổng quan

Mạng truyền dẫn quang băng rộng được thiết kế để kết nối đường truyền tín hiệu số tốc độ cao giữa các nút mạng, theo quy định trong các bộ tiêu chuẩn kỹ thuật của Bộ Thông tin và Truyền thông [1], [2], [3],[4] về các loại cấu hình mạng truyền dẫn quang tiêu biểu được áp dụng là mạng

điểm điểm, mạng tuyến tính, mạng vòng ring, mạng hình sao và mạng mắc lưới, khi thiết kế mạng truyền dẫn quang là thực hiện bài toán thiết kế của từng đoạn thành phần giữa 2 nút mạng, trong đó cấu hình mạng điểm điểm ghép kênh theo bước sóng được chọn như hình 1, để thực hiện bài toán thiết kế mạng.

*Tác giả liên hệ: cuuhovan@sgu.edu.vn



Hình 1. Mạng truyền dẫn quang ghép kênh theo bước sóng [1].

Thiết bị tại trạm đầu cuối đều sử dụng các bộ ghép/phân chia kênh theo bước sóng WDM (Wavelength Division Mltilexer), để ghép và chia các kênh bước sóng quang

thành phần. Tham số xác định mức công suất tín hiệu quang thu trên mỗi kênh bước sóng quang thành phần được xác định như công thức sau:

$$\begin{aligned}
 P_{r(\lambda_i)}(dBm) &= P_{t(\lambda_i)}(dBm) - n_c \cdot \alpha_c \left(\frac{dB}{unit} \right) - \alpha_{dpthietbi}(dB) \\
 &+ G_{MUX-WDM}(dB) + G_{OA-Tx}(dB) - L(km) \cdot \alpha_{f-tb1km}(dB) \\
 &+ G_{OA-Rx}(dB) + G_{DEMUX-WDM}(dB)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Trong đó, $P_{t(\lambda_i)}$ là công suất tín hiệu quang phát, n_c là số đầu nối (connector) quang, $\alpha_c(dB/unit)$ là suy hao của một connector quang, $\alpha_{f-tb1km}(dB/km)$ là tổng suy hao trung bình trên 1km cáp quang, có tính đến các suy hao do hàn nối, suy hao dự phòng do sự cố đứt cáp trong tương lai, $\alpha_0(dB/km)$ là suy hao trung bình do chất liệu của 1km cáp quang, $\alpha_{dpthietbi}(dB)$ là suy hao dự phòng do sự lão hóa của linh kiện thu phát quang, $G_{MUX-WDM}(dB)$,

$G_{DEMUX-WDM}(dB)$ là độ khuếch đại của thiết bị ghép và phân kênh quang, $G_{OA-Tx}(dB)$, $G_{OA-Rx}(dB)$ là độ khuếch đại của bộ khuếch đại quang sử dụng ở đầu phát và đầu thu để cân bằng mức công suất cho các luồng quang thành phần. Kết quả của bài toán thiết kế là mức công suất thu phải nhỏ hơn mức công suất tín hiệu quang thu quá tải và lớn hơn độ nhạy máy thu tương ứng với tỷ số bit lỗi BER= 10^{-n} như công thức sau:

$$P_{in-min}(dBm \cdot 10^{-n}) < P_{r(\lambda_i)}(dBm) < P_{in-max}(dBm \cdot 10^{-n})
 \tag{2}$$

Sử dụng các kết quả nghiên cứu của Gerard Lachs[5], và John Gowar [6] về lý thuyết hình thành tán sắc trong sợi quang, xác định công thức toán tính tham số tán sắc, sử dụng kết quả nghiên cứu của Kishore Bhowmik [7], Bipul Hosain [8], về sự hình thành tán sắc do độ lệch phổ nguồn

quang và kết quả nghiên cứu của Stegun, Knovel, and I.S. Gradhteyn, D. Zwillinger [9] để đơn giản hóa phép tính tích phân về sự hình thành độ giãn xung quang truyền trong sợi quang và đề xuất bài toán thiết kế tính tham số tán sắc quang tích lũy tại máy thu quang như công suất sau:

$$\begin{aligned}
 D_{tichluy}(ps) &= D_M \left(\frac{ps}{km * nm} \right) \cdot L(km) \cdot \sigma_\lambda(nm) + D_p \left(\frac{ps}{\sqrt{km}} \right) \cdot \sqrt{L(km)} \\
 &+ D_w \left(\frac{ps}{km * nm^2} \right) \cdot L(km) \cdot [\sigma_\lambda(nm)]^2
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Trong đó, D_M là độ tán sắc do chất liệu của 1 km cáp sợi quang, $L(km)$ là tổng chiều dài sợi quang, σ_λ là độ dịch bước sóng nguồn quang, D_p là độ tán sắc do lệch phân cực của nguồn quang trên 1 km cáp sợi quang, D_w là độ tán sắc ống dẫn sóng bậc cao của nguồn quang trên 1 km cáp sợi quang. Kết quả thiết kế cần đạt được tham số độ tán sắc quang tích lũy nhỏ hơn tham số tán sắc cho phép của thiết bị thu quang là $D_{t-max}(ps)$; $D_{tichluy}(ps) \leq D_{t-max}(ps)$

Bài toán thiết kế mạng truyền dẫn quang băng rộng WDM, cần đạt được hai thông số về công suất tín hiệu quang thu và

độ tán sắc của các kênh quang thành phần, trong đó tán sắc ảnh hưởng trực tiếp đến tỷ số bit lỗi BER của luồng tín hiệu số thu.

2. Phân tích ảnh hưởng của tán sắc của tuyến truyền dẫn quang

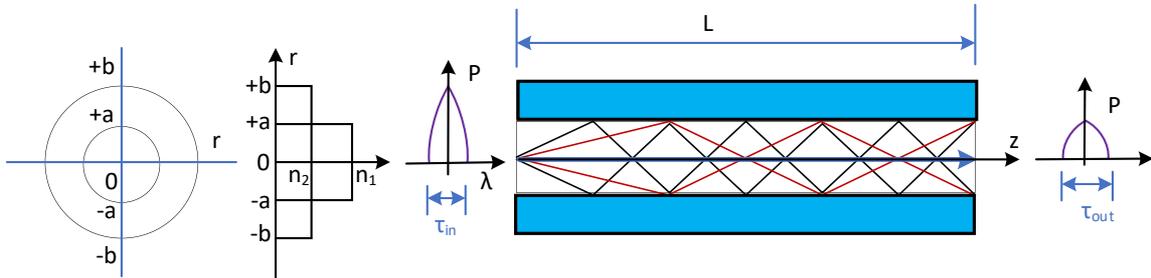
2.1. Phân tích các loại tán sắc trong sợi quang

Khảo sát nguồn sóng quang truyền trong sợi quang đơn mode như hình 2, tán sắc là do sóng quang truyền theo nhiều nhóm vận tốc v_g khác nhau, với độ rộng bước sóng nguồn quang là σ_λ , độ giãn xung quang ở đầu thu được tính theo công thức như sau [7]:

$$\sigma_\tau = L \left(\frac{d\tau_n}{d\lambda} \right) \cdot \lambda_s \cdot \sigma_\lambda \tag{4}$$

Trong đó, L là độ dài sợi quang, τ_n là độ trễ theo vận tốc nhóm, λ_s là bước sóng trung tâm,

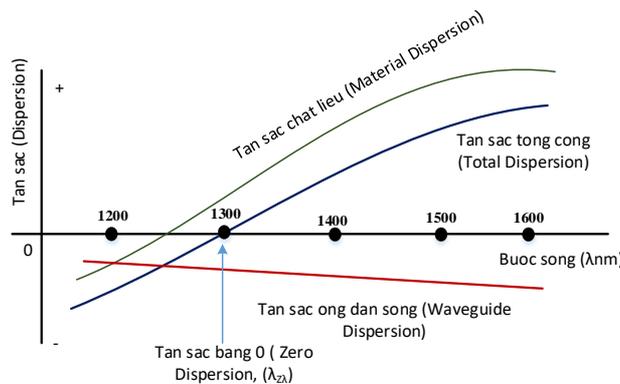
σ_λ là độ rộng trung bình bình phương RMS (Root mean square) của phổ nguồn quang phát.



Hình 2. Mô hình truyền sóng trong sợi quang đơn mode

Đồ thị tán sắc tổng cộng sợi dẫn quang đơn mode gồm hai thành phần là tán sắc vật liệu chế tạo và tán sắc do nguồn quang

truyền trong ống dẫn sóng, như hình 3, tán sắc bằng không tại vùng bước sóng $\lambda_z = 1300\text{ nm}$.



Hình 3. Đồ thị biểu diễn các loại tán sắc trong sợi quang đơn mode[7]

Nguồn xung tín hiệu quang phát có thành phần phổ đặc trưng tại tần số ω sẽ đi từ đầu vào tới đầu ra của sợi quang, thời gian trễ là T , $T = L/v_g$, v_g là vận tốc nhóm, $V_g = \left(\frac{d\beta}{d\omega}\right)^{-1}$, β là hệ số truyền của các mode

sóng, $\beta = nk_o = n\omega/c$, như vậy $v_g = c/n_g$, trong đó n là hàm phân bố chiết suất, n_g là chiết suất nhóm, $n_g = n + \omega \left(\frac{dn}{d\omega}\right)$, kết quả phân tích phân loại tán sắc như sau:

Tán sắc vật liệu ký hiệu là D_M và có công thức tính như sau:

$$D_M = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \left(2 \frac{dn}{d\omega}\right) \quad (5)$$

Tán sắc ống dẫn sóng D_W , công thức tính như sau:

$$D_W = -\frac{2\pi\Delta}{\lambda^2} \left[\frac{n^2_{2g} V d^2(Vb)}{n_{2\omega} dV^2} + \frac{dn_{2g}}{d\omega} \frac{d(Vb)}{dV} \right] \quad (6)$$

Khi tốc độ luồng dữ liệu số và cự ly truyền dẫn quang tăng lên, thì có các hiệu ứng tán sắc bậc cao, và tính theo đường bao tán sắc, $S = \frac{dD}{d\lambda}$, $S = \frac{d}{d\lambda} \left[-\frac{2\pi c}{\lambda^2} \cdot \beta_2 \right] = \left(\frac{2\pi c}{\lambda^2}\right)^2 \beta_3 + \left(\frac{4\pi c}{\lambda^3}\right) \beta_2$, Tại $\lambda = \lambda_{ZD}$, thì $\beta_2 = 0$, và S tỷ lệ với β_3 , nguồn phát có độ rộng

phổ $\Delta\lambda$, tán sắc bậc cao là $D = S \cdot \Delta\lambda$

Tán sắc phân cực mode PMD (Polarization mode dispersion) là do hai mode sóng phân cực trực giao của nguồn quang truyền trong sợi đơn mode có vận tốc lan truyền khác nhau, công thức tính hệ số tán sắc phân cực là [7],[8]:

$$\sigma_T \approx \Delta\beta_1 \sqrt{hL} = D_P \sqrt{L} \quad (7)$$

Trong đó, D_P là hệ số tán sắc phân cực của 1 km cáp sợi quang. $D_P = (0.1 \div 1.0) ps/\sqrt{km}$.

2.2. Phân tích ảnh hưởng của tán sắc đến tốc độ và cự ly truyền dẫn trong hệ thống truyền dẫn quang tốc độ cao

$$A(z, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{A}(0, \omega) \exp\left(i\beta_1 \omega + \frac{i}{2} \beta_2 z (\omega)^2 + \frac{i}{6} \beta_3 z (\omega)^3 - i\omega t\right) d\omega \quad (8)$$

Trong đó,

$$\tilde{A}(0, \omega) = A_0 \left(\frac{2\pi T_0^2}{1+iC}\right)^{1/2} \exp\left[-\frac{\omega^2 T_0^2}{2(1+iC)}\right]$$

là đường bao biên độ xung đầu vào [9], A_0 là biên độ đỉnh, T_0 là một nửa độ rộng xung tại điểm biên độ bằng 1/e, C là tham

đi-ốt LED (Light-Emitting Diode) hoặc Laser tạo nguồn xung quang phân bố Gaussian truyền trong sợi quang theo phương trình biên độ tín hiệu quang được viết như sau [5],[6]:

số tích phân. Gọi $\Delta\omega$ là nửa độ rộng phổ tại điểm cường độ 1/e, $\Delta\omega_0 = \frac{\sqrt{1+C^2}}{T_0}$. Gọi độ rộng xung Gaussian đầu vào là $\sigma_0 = \frac{T_0}{\sqrt{2}}$, σ là độ rộng giãn xung tại điểm z , tỷ số giãn xung xác định theo tỷ số σ/σ_0 như sau [5],[6]:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \sqrt{\left(1 + \frac{C\beta_2 L}{2\sigma_0^2}\right)^2 + \left(\frac{\beta_2 L}{2\sigma_0^2}\right)^2 + \frac{1}{2}(1+C^2) \left(\frac{\beta_3 L}{4\sigma_0^3}\right)^2} \quad (9)$$

Gọi σ_ω là hệ số giãn xung theo tần số tại điểm z, gọi V_ω là hai lần tích số giãn xung tại đầu vào và đầu ra, $V_\omega = 2\sigma_\omega\sigma_0$. Tỷ

số giãn xung được tính đầy đủ theo các tham số truyền sóng bậc cao như sau:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \sqrt{\left(1 + \frac{C\beta_2 L}{2\sigma_0^2}\right)^2 + (1 + V_\omega^2)\left(\frac{\beta_2 L}{2\sigma_0^2}\right)^2 + \frac{1}{2}(1 + C^2 + V_\omega^2)\left(\frac{\beta_3 L}{4\sigma_0^3}\right)^2} \quad (10)$$

a. Xét trường hợp nguồn phát quang có độ rộng phổ lớn

Trong trường hợp hệ thống truyền dẫn quang tốc độ cao sử dụng nguồn phát quang là LED có độ rộng phổ lớn, hoạt

động ở bước sóng 1550 nm, thì $V_\omega \ll 1$, số hạng β_3 có thể được bỏ qua, các ảnh hưởng của lệch tần số là không đáng kể, $C = 0$. Tỷ số giãn xung sẽ là [5],[6]:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \sqrt{1 + \left(\frac{\beta_2 L \sigma_\omega}{\sigma_0}\right)^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{\beta_2 L \sigma_\lambda}{\sigma_0}\right)^2} = \sqrt{\frac{\sigma_0^2 + (\beta_2 \cdot L \cdot \sigma_\lambda)^2}{\sigma_0^2}} \quad (11)$$

Độ rộng xung đầu ra là: $\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_D^2}$. Với $\sigma_D \equiv |D|L\sigma_\lambda$ là độ giãn xung do tán sắc. Với giả thuyết độ giãn xung σ không được lớn hơn 25% độ rộng bít dữ liệu truyền T_b , $\sigma \leq T_b/4$, $\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_D^2} \leq \frac{T_b}{4}$. Khi độ giãn xung tại đầu

vào σ_0 rất nhỏ, thì $\sigma_D \gg \sigma_0$, độ giãn xung tại đầu ra sẽ là $\sigma \approx \sigma_D$, $\sigma = \sigma_D \equiv |D|L \cdot \sigma_\lambda \leq \frac{T_b}{4} = \frac{1}{4B}$ và phương trình quan hệ tán sắc, cự ly, băng thông được viết như sau:

$$4 \cdot B \cdot |D| \cdot L \cdot \sigma_\lambda \leq 1 \quad (12)$$

Trong trường hợp hệ thống truyền dẫn quang tốc độ cao hoạt động tại bước sóng gần tán sắc 0, là 1300 nm, thì

$\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + \frac{(S \cdot L \cdot \sigma_\lambda^2)^2}{2}} = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_D^2} \leq \frac{T_b}{4}$, và phương trình quan hệ tán sắc, cự ly, băng thông được viết như sau:

$$B \cdot |S| \cdot L \cdot \sigma_\lambda^2 \leq \frac{1}{\sqrt{8}} \quad (13)$$

b. Xét trường hợp nguồn phát quang có độ rộng phổ hẹp.

Nguồn quang có độ rộng phổ hẹp khi sử dụng Laser phát, làm việc tại vùng bước

sóng 1550 nm thì $V_\omega \ll 1$, nếu chúng ta bỏ qua số hạng β_3 và chọn $C = 0$, thì biểu thức tính độ giãn xung sẽ là [5],[6]:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + \left(\frac{\beta_2 \cdot L}{2\sigma_0}\right)^2} = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_D^2} \leq \frac{T_b}{4} = \frac{1}{4 \cdot B} \quad (14)$$

Đối với phổ nguồn phát hẹp, dẫn xung do tán sắc gây ra sẽ phụ thuộc vào độ rộng xung ban đầu σ_0 , σ có giá trị tối ưu theo σ_0 ,

$$\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + \left(\frac{\beta_2 \cdot L}{2\sigma_0}\right)^2} \geq \sqrt{2 \cdot \sigma_0 \cdot \left(\frac{\beta_2 \cdot L}{2\sigma_0}\right)} = \sqrt{(\beta_2 \cdot L)}$$

Công thức tính giới hạn tán sắc, cự ly, tốc độ bit như sau [5],[6]:

$$B \cdot \sqrt{\beta_2 \cdot L} \leq \frac{1}{4} \text{ hay } 4 \cdot B \cdot \sqrt{\beta_2 \cdot L} \leq 1. \tag{15}$$

Khi sử dụng nguồn quang Laser phổ hẹp, bước sóng 1300 nm thì $\sigma_{0-\min} = (\beta_3 \cdot L/4)^{1/3}$, và $\sigma = \left(\frac{3}{2}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{\beta_3 \cdot L}{4}\right)^{1/3}$, và

giới hạn tốc độ bit, cự ly theo tán sắc như công thức sau:

$$B \cdot (\beta_3 \cdot L)^{1/3} \leq 0.324 \tag{16}$$

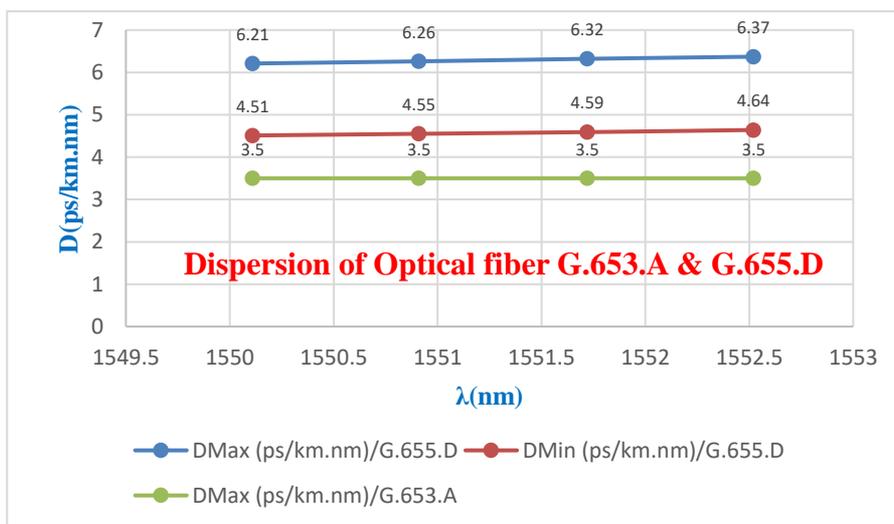
3. Xây dựng bài toán thiết kế tuyến truyền dẫn quang băng rộng

3.1. Tham số thiết kế

Thiết kế tuyến truyền dẫn quang 4*WDM theo hình 3, theo bộ tiêu chuẩn kỹ thuật của IUT-T và QCVN, [1,2,3,4], [7], băng bước sóng (1550 – 1625) nm, trong đó, $\lambda_{0-\min} = 1500 \text{ nm}$, $\lambda_{0-\max} = 1600 \text{ nm}$, $\lambda_{\min} = 1525 \text{ nm}$, $\lambda_{\max} = 1575 \text{ nm}$, bước sóng sử dụng là 1552,

5244 nm, 1551,7208 nm, 1550,9180 nm, 1550,1161 nm, tương ứng tần số là 193.1 THz, 193.2 THz, 193.3 THz, 193.4 THz, sợi quang G.653.A và G.655.D, trong đó, hệ số $\beta_2 = -20 \text{ ps}^2/\text{km}$, hệ số $\beta_3 = 0.1 \text{ ps}^3/\text{km}$, $S_0 = 0.085 \left(\frac{\text{ps}}{\text{km} \cdot \text{nm}^2}\right)$, $D_p = 0.1 \left(\frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}}\right)$, thiết bị quang là S.64.3b, và V.64.3.(OA) có khuếch đại quang.

3.2. Kết quả tính hệ số tán sắc của sợi quang D(ps/km.nm)

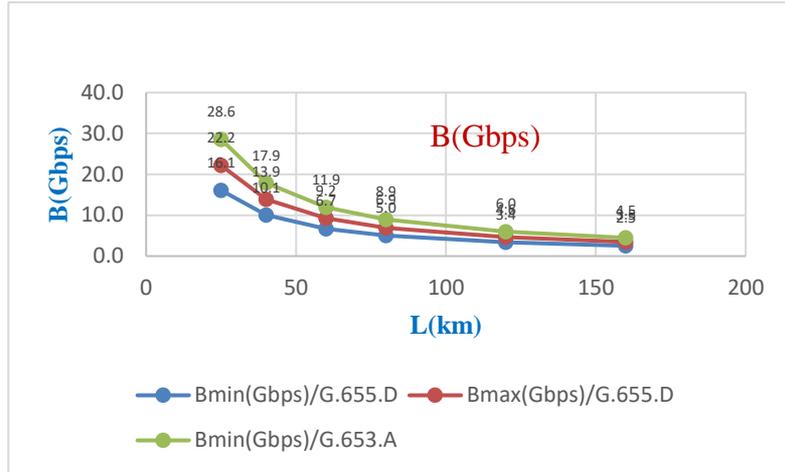


Hình 4. Độ tán sắc trung bình theo 4 bước sóng của sợi quang G.653.A là 3,5 ps/km.nm và sợi quang G.655.D là (4.51 – 6.37) ps/km.nm.

Kết quả tính hệ số tán sắc của sợi quang D(ps/km.nm) theo Hình 4 cho thấy Độ tán sắc trung bình theo 4 bước sóng của

sợi quang G.653.A là 3,5 ps/km.nm và sợi quang G.655.D là (4.51 – 6.37) ps/km.nm.

3.3. Kết quả tính giới hạn cự ly truyền dẫn theo tán sắc của các kênh truyền dẫn quang

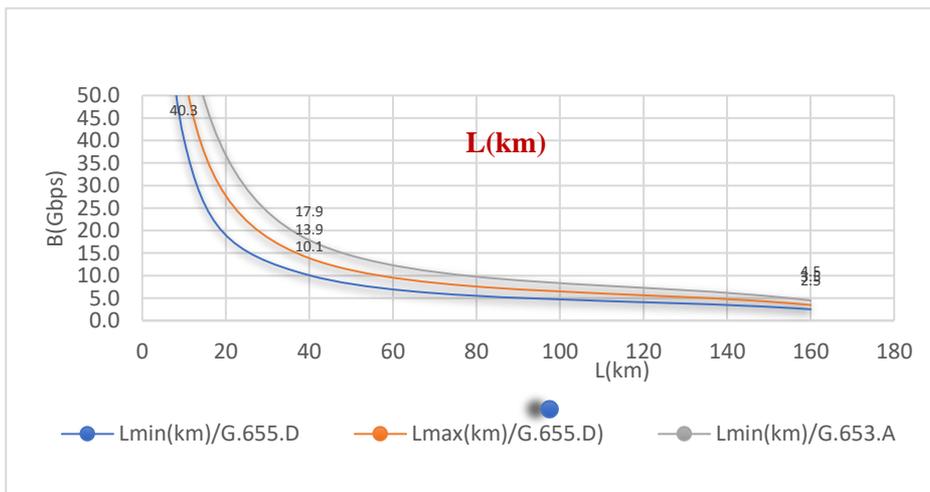


Hình 5. Khi truyền dữ liệu 10 Gbps thì giới hạn cự ly truyền dẫn của sợi quang G.653.A có tốc độ luồng là 71.4 km, và hệ thống truyền dẫn quang G.655.D là 57.2 km.

Theo hình 5 kết quả tính giới hạn cự ly truyền dẫn theo tán sắc của các kênh truyền dẫn quang cho thấy khi truyền dữ liệu 10 Gbps thì giới hạn cự ly truyền

dẫn của sợi quang G.653.A có tốc độ luồng là 71,4 km, và hệ thống truyền dẫn quang G.655.D là 57,2 km.

3.4. Kết quả tính giới hạn tốc độ luồng tín hiệu số theo cự ly truyền dẫn quang chuẩn

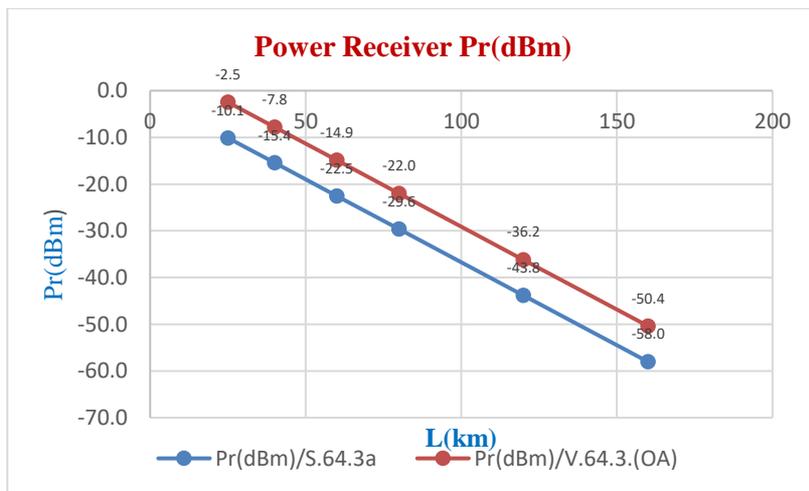


Hình 6. Hệ thống truyền dẫn quang 40 km thì giới hạn tốc độ truyền từ 10.1 đến 17.9 Gbps và khi cự ly nhỏ hơn 25 km có giới hạn tốc độ truyền là 40 Gbps.

Kết quả tính giới hạn tốc độ luồng tín hiệu số theo cự ly truyền dẫn quang chuẩn theo hình 6 cho thấy hệ thống truyền dẫn

quang 40 km thì giới hạn tốc độ truyền từ 10.1 đến 17.9 Gbps và khi cự ly nhỏ hơn 25 km có giới hạn tốc độ truyền là 40 Gbps.

3.5. Kết quả tính mức công suất thu tín hiệu quang trên các tuyến truyền dẫn quang chuẩn

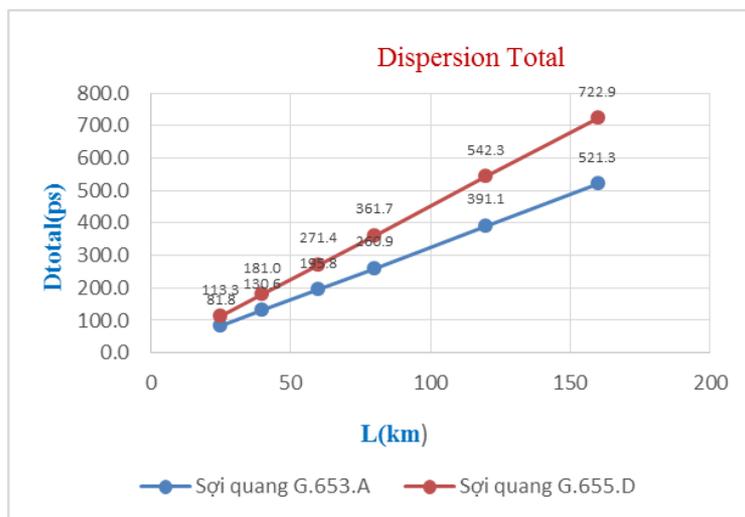


Hình 7: Kết quả tính mức công suất thu tín hiệu quang trên các tuyến truyền dẫn quang chuẩn

Theo hình 7, trong các mạng truyền dẫn quan cự ly dưới 40 km thì dùng thiết bị quang S.64.3b, có mức công suất thu là -15.4 dBm nhỏ hơn độ nhạy thu P_{min} là -17

dBm. Trên các tuyến từ 40 đến 60 km thì sử dụng thiết bị quang V.64.3.(OA), có mức thu là -14.9 dBm nhỏ hơn độ nhạy thu P_{min} là -17 dBm.

3.6. Kết quả tính độ tán sắc tích lũy tại máy thu quang



Hình 8: Kết quả tính độ tán sắc tích lũy tại máy thu quang

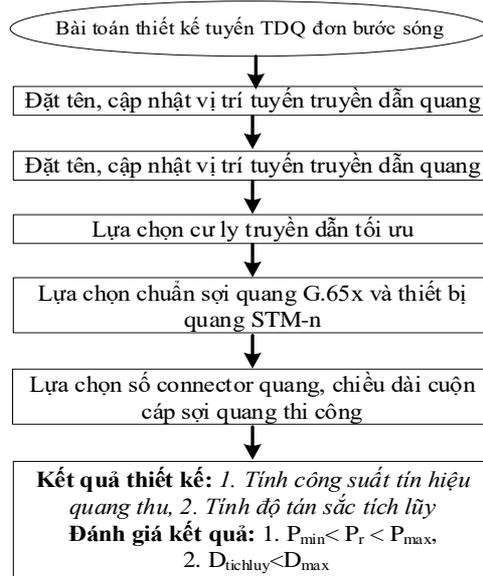
Theo hình 8, độ tán sắc tích lũy trên các tuyến truyền dẫn quang dưới 40 km khi sử dụng thiết bị quang S-64.3b có độ tán sắc là 130.6 ps gần bằng với tán sắc sắc cực

đại cho phép của thiết bị là 130 ps. Trên các tuyến truyền dẫn quang đường dài từ 40 đến 80 km thì độ tán sắc tích lũy là 361.7 nhỏ hơn mức tán sắc cho phép là 400 ps.

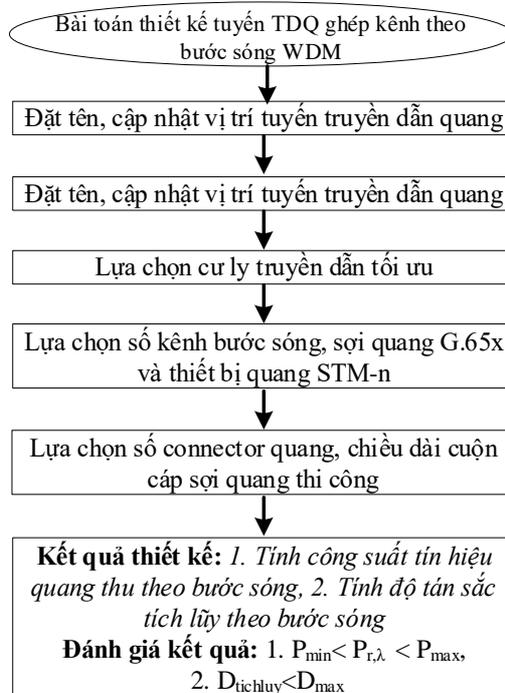
4. Xây dựng phần mềm thiết kế tuyến truyền dẫn quang

Sử dụng các phép tính công suất, độ tán sắc tín hiệu quang thu, bộ tiêu chuẩn kỹ thuật của IUT-T và QCVN, [1,2,3,4], [7], và bản đồ Google map để thiết kế phần

mềm thiết kế tuyến truyền dẫn theo 2 mô đun thiết kế tuyến truyền dẫn quang đơn bước sóng và tuyến truyền dẫn quang ghép kênh theo bước sóng WDM theo hai lưu đồ Hình 9 và Hình 10 như sau:



Hình 9. Lưu đồ giải thuật bài toán thiết kế tuyến truyền dẫn quang đơn bước sóng



Hình 10. Lưu đồ giải thuật bài toán thiết kế tuyến truyền dẫn quang WDM

Sử dụng phần mềm để áp dụng vào bài toán thiết kế truyền dẫn quang từ VNPT HCM (SGN) đến Đại học Quốc Gia thành

phố Hồ Chí Minh (ĐQG) ký hiệu tuyến: SGN-ĐQG với kết quả hình 11 và hình 12 như sau:



Hình 11. Giao diện phần mềm thiết kế

Tuyến truyền dẫn : SGN-ĐQG		
Kênh bước sóng	Công suất t	Độ tán sắc
Kênh bước sóng 1	-5.65	164.21
Kênh bước sóng 3	-5.65	163.39
Kênh bước sóng 5	-5.65	162.57
Kênh bước sóng 7	-5.65	161.76

Hình 12. Kết quả tính mức công suất thu và độ tán sắc tích lũy của 4 kênh bước sóng quang

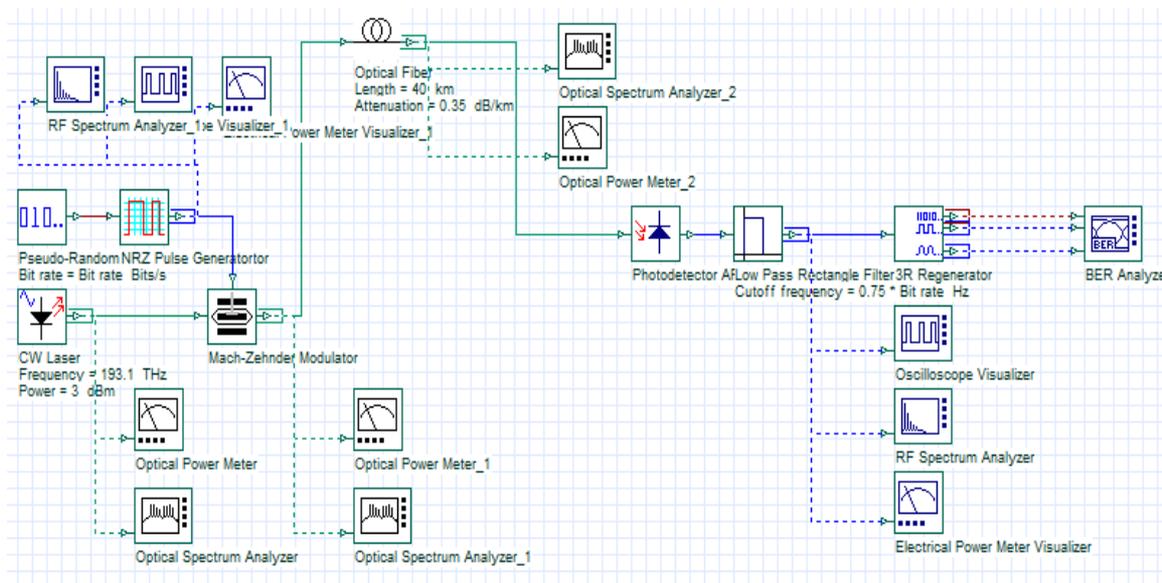
5. Mô phỏng

5.1. Mô phỏng tuyến truyền dẫn quang 40 Gbps (STM-256), điều chế ngoài MZM

5.1.1. Tham số mô phỏng [1,2,3,4]

Tuyến truyền dẫn quang 40 Gbps, cự ly $L = 40$ km, sợi quang G.653.A, thiết bị quang S.256.b.

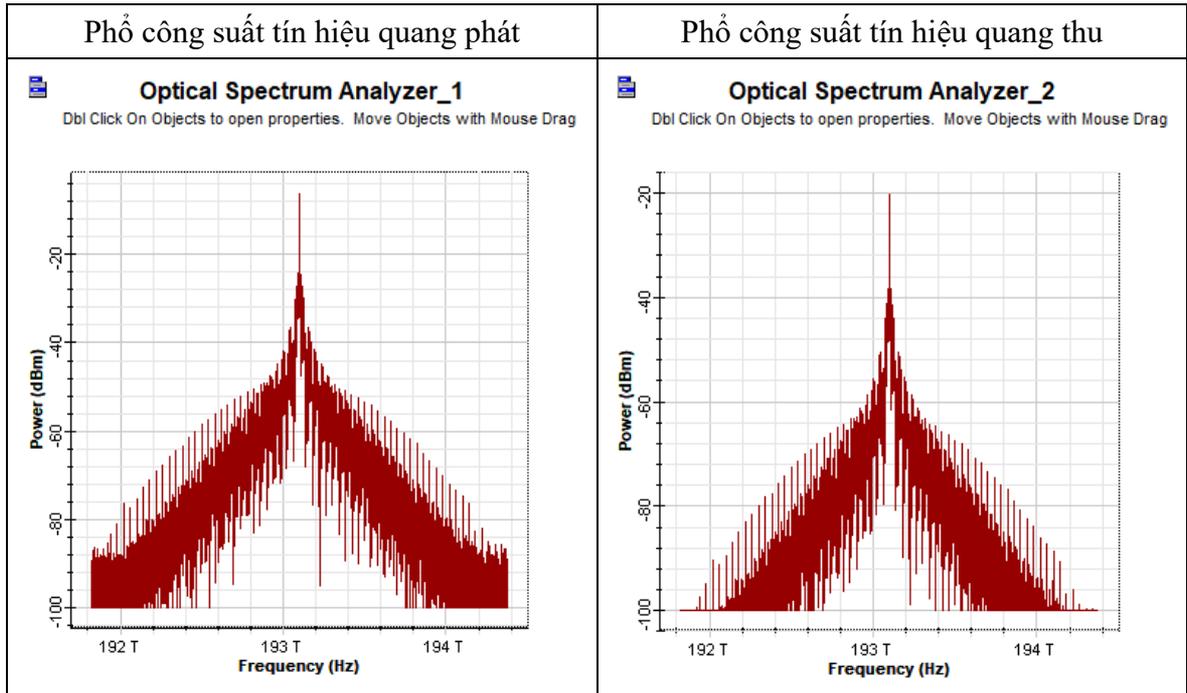
5.1.2. Sơ đồ mô phỏng



Hình 13. Sơ đồ mô phỏng tuyến TDQ 40 Gbps

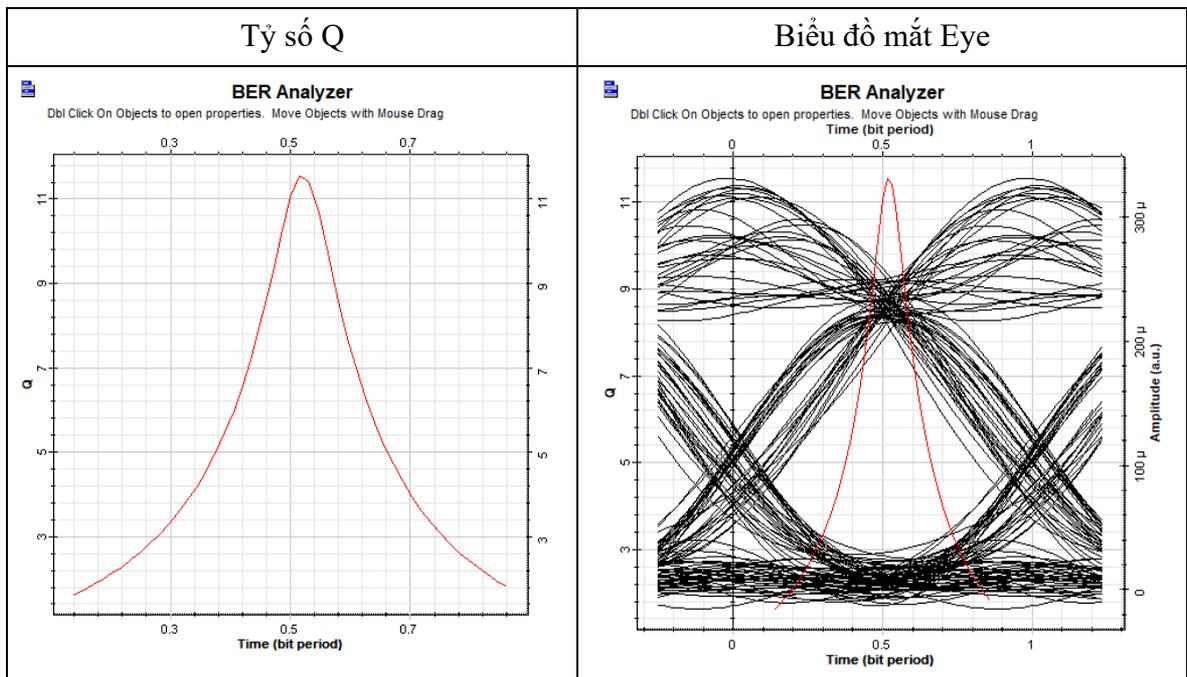
5.1.3. Kết quả mô phỏng

a. Phổ công suất tín hiệu quang thu phát



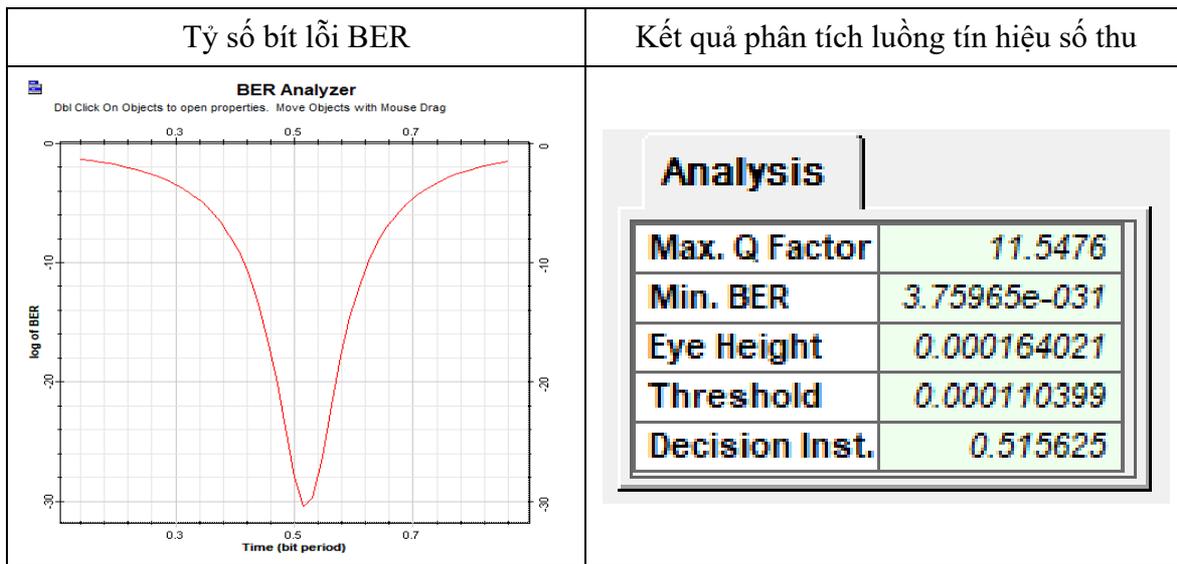
Hình 14. Phổ công suất tín hiệu quang thu phát

b. Tỷ số biên độ tín hiệu số thu trên biên độ nhiễu (Tỷ số Q) và biểu đồ mắt (EYE)



Hình 15. Tỷ số Q và biểu đồ mắt Eye

c. Tỷ số bit lỗi BER và kết quả phân tích chất lượng luồng tín hiệu số thu



Hình 16. Tỷ số BER và kết quả phân tích chất lượng luồng tín hiệu số 40 Gbps

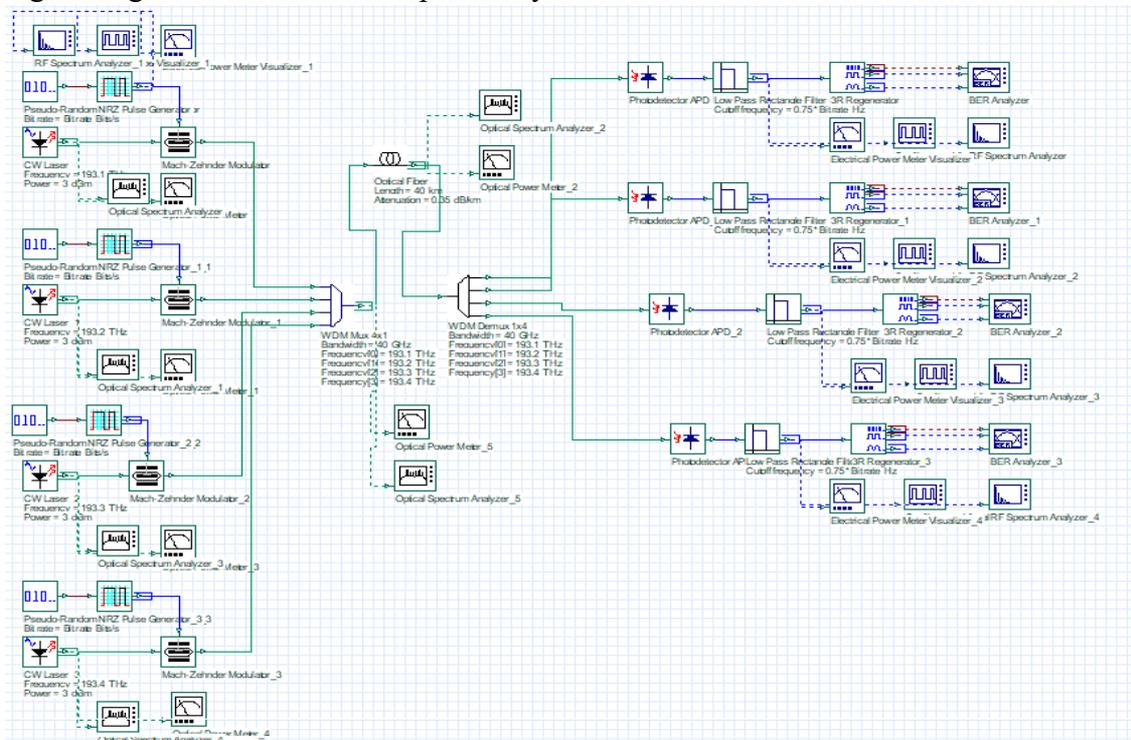
5.2. Mô phỏng tuyến truyền dẫn quang 4 WDM, 4*40 Gbps (4*STM-256).

5.2.1. Tham số mô phỏng [1,2,3,4]

Tuyến truyền dẫn quang ghép 4 bước sóng, luồng tín hiệu số 40 Gbps, cự ly

L= 40 km, sợi quang G.655.D, thiết bị quang V.128.(OA), tần số 193,1 THz, 193,2 THz, 193,3 THz, 193,4 THz.

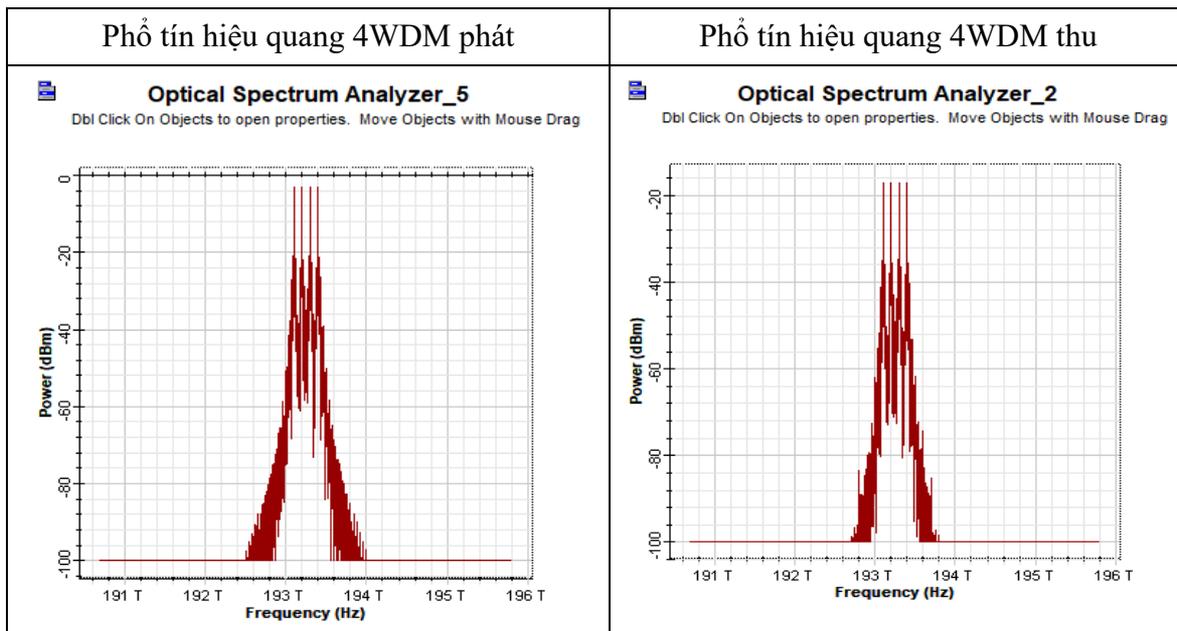
5.2.2. Sơ đồ mô phỏng



Hình 17. Sơ đồ mô phỏng tuyến TDQ 4* 40 Gbps

5.2.3. Kết quả mô phỏng

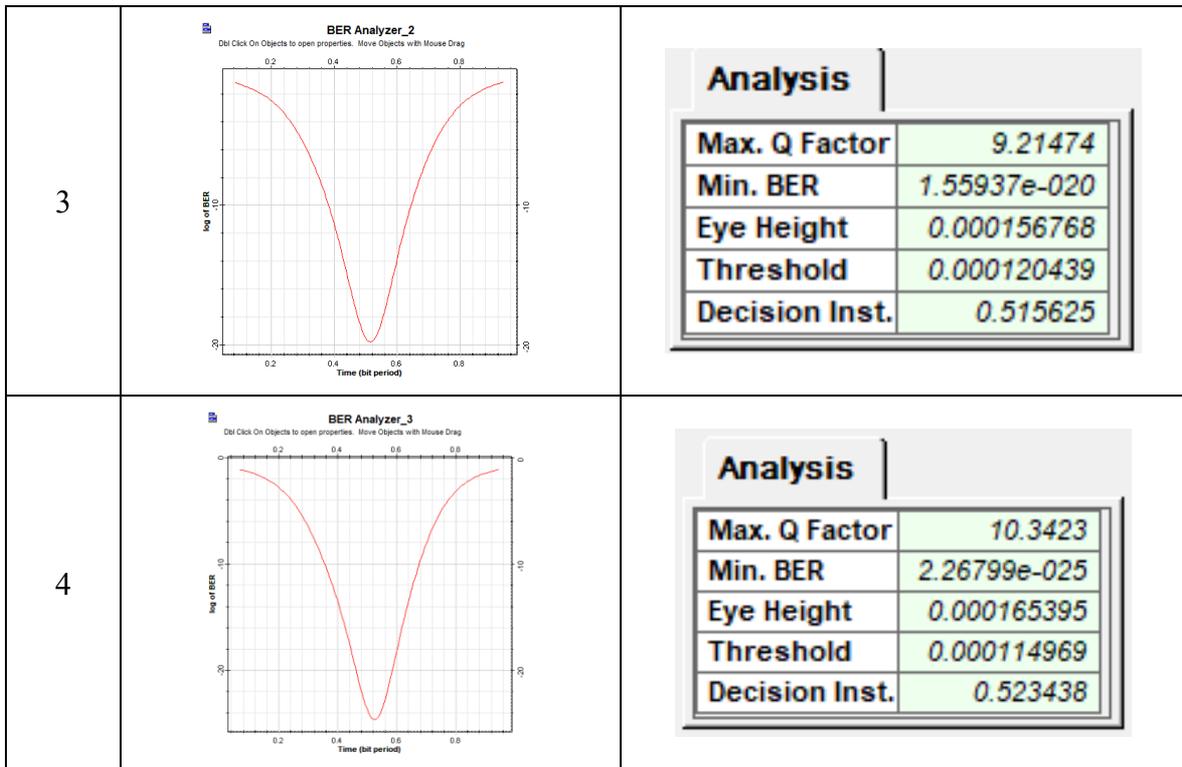
a. Phổ công suất tín hiệu 4 bước sóng quang phát và thu



Hình 18. Phổ công suất tín hiệu quang thu phát

b. Tỷ số bit lỗi BER và kết quả phân tích chất lượng luồng tín hiệu số thu

Kênh	Tỷ số BER	Chất lượng tín hiệu số thu												
1		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Analysis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Max. Q Factor</td> <td>10.726</td> </tr> <tr> <td>Min. BER</td> <td>3.79663e-027</td> </tr> <tr> <td>Eye Height</td> <td>0.000164674</td> </tr> <tr> <td>Threshold</td> <td>0.000102752</td> </tr> <tr> <td>Decision Inst.</td> <td>0.507813</td> </tr> </tbody> </table>	Analysis		Max. Q Factor	10.726	Min. BER	3.79663e-027	Eye Height	0.000164674	Threshold	0.000102752	Decision Inst.	0.507813
Analysis														
Max. Q Factor	10.726													
Min. BER	3.79663e-027													
Eye Height	0.000164674													
Threshold	0.000102752													
Decision Inst.	0.507813													
2		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Analysis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Max. Q Factor</td> <td>10.2431</td> </tr> <tr> <td>Min. BER</td> <td>6.33614e-025</td> </tr> <tr> <td>Eye Height</td> <td>0.000164522</td> </tr> <tr> <td>Threshold</td> <td>0.000114099</td> </tr> <tr> <td>Decision Inst.</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>	Analysis		Max. Q Factor	10.2431	Min. BER	6.33614e-025	Eye Height	0.000164522	Threshold	0.000114099	Decision Inst.	0.5
Analysis														
Max. Q Factor	10.2431													
Min. BER	6.33614e-025													
Eye Height	0.000164522													
Threshold	0.000114099													
Decision Inst.	0.5													



Hình 19. Tỷ số BER và kết quả phân tích chất lượng luồng tín hiệu số 40 Gbps

6. Kết luận

Trong mạng truyền dẫn quang băng rộng thì bài toán thiết kế cần đạt về tham số công suất thu quang $P_{in-min}(dBm.10^{-n}) < P_{r(\lambda_i)}(dBm) < P_{in-max}(dBm.10^{-n})$ và mức tán sắc quang tích lũy phải nhỏ hơn mức tán sắc cho phép của thiết bị $D_{tichluy}(ps/nm) < D_{max}(ps/nm)$.

Giới hạn cự ly truyền dẫn của hệ thống truyền dẫn quang khi sử dụng sợi cáp quang G.653.A tương ứng với luồng số STM-64 là 71,4 km, và luồng số STM-256 là 17,9 km.

Phần mềm thiết kế tuyến truyền dẫn quang WDM được thiết kế dựa trên bảng tham số kỹ thuật IUT-T và QCVN và bản đồ Google map, để áp dụng thử nghiệm trên các tuyến truyền dẫn quang thực tế có cự ly và tốc độ truyền cụ thể.

Kết quả mô phỏng hệ thống truyền dẫn quang băng rộng 40 Gbps, đo được tỷ số biên độ tín hiệu số trên biên độ nhiễu (tỷ số Q) là 11.5476 và mức BER là $3.75965.10^{-31}$. Kết quả mô phỏng hệ thống truyền dẫn quang 4WDM để truyền 4 luồng số 40 Gbps, đều đo được các tham số tỷ số Q lần lượt của 4 kênh là: 10.726; 10.2431; 9.2147; 10.3323 và tương ứng với 4 tỷ số lỗi bit của 4 kênh bước sóng là: $3.9663.10^{-27}$; $6.3361.10^{-25}$; $1.55937.10^{-20}$; $2.26799.10^{-25}$, so với tỷ số lỗi bit (BER) theo tiêu chuẩn quy định là $BER=10^{-12}$ thì kết quả mô phỏng đạt yêu cầu.

Tiếp tục nghiên cứu các ảnh hưởng tán sắc và chuẩn kỹ thuật mới trong công nghệ thông tin quang vô tuyến [11],[12], để áp dụng mở rộng vào bài toán thiết kế mạng truyền dẫn quang tốc độ cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ TT&TT, (2010), “Quy chuẩn quốc gia về giao diện quang cho thiết bị kết nối mạng SDH”, QCQG, 7-2010/BTTTT.
- [2]. Bộ TT&TT, (2011), “Tiêu chuẩn quốc gia về sợi quang dung cho mạng viễn thông Việt Nam”, TCVN, 8665-2011, BTTTT.
- [3]. IUT-T Recommendation G.957, (2006), Optical interface for single channel SDH systems with optical amplifiers, and STM-64 systems.
- [4]. IUT-T Recommendation G.691 (2006), Optical interface for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.
- [5]. Gerard Lachs, Fibet optic communications system, Analysis and Enhancements, McGraw Hill Telecommunications, 1998
- [6]. John Gowar, Optical communications system, McGraw Hill Telecommunications, 1993,
- [7]. Kishore Bhowmik, (2012), “Reduction of dispersion in optical fiber communications by fiber Bragg grating and optical phase conjugation techniques”, UNSW Sydney.
- [8]. Md, Bipul Hosain, (2020), “Performance investigation of different dispersion compensation methodes in optical fiber communications” Asian journal of research in computer science, No5.(2), 36-44, 2020.
- [9]. Stegun, Knovel, and I.S. Gradtteyn, D. Zwillinger. “Handbook of mathematical function with table of integrals siries and producs, 7th, ed”. Amsterdam, Boston Elsevier, 1972.
- [10]. Nguyen, H.N., Hau, N.T., Hang, N.T.T. and Voznak, M., (2021), On The Performance Analysis of hybrid FSO/RF Communication system in Relay Networks. In *2021 29th Telecommunications Forum (TELFOR)* (pp. 1-4). November. 2021, IEEE.
- [11]. Nguyen, N. D., & Le, A. T. (2021). Employing non-orthogonal multiple access for a dual-hop relaying system with FSO/RF links. In *2021 10th International Conference on Information and Automation for Sustainability (ICIAfS)* (pp. 346-351), 2021, August. IEEE

Ngày nhận bài: 06/01/2025

Ngày chấp nhận đăng: 22/02/2025