

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

**Bùi Trung Ninh**

**NGHIÊN CỨU NÂNG CAO HIỆU SUẤT  
MẠNG QUANG DWDM SỬ DỤNG  
KHUẾCH ĐẠI QUANG HỖN HỢP  
DRFA/EDFA**

Chuyên ngành: Kỹ thuật viễn thông

Mã số: 62.52.02.08

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ NGÀNH CÔNG  
NGHỆ KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ, TRUYỀN THÔNG

**Hà Nội – 2015**

## CHƯƠNG 1

# TỔNG QUANG VỀ MẠNG TRUY NHẬP LR-PON

### 1.1. Tổng quan về mạng truy nhập

Những tiến bộ về mặt công nghệ trong mạng đường trục, mạng doanh nghiệp và mạng gia đình cùng với sự bùng nổ của lưu lượng truy cập Internet đã làm chậm đáng kể dung lượng của mạng truy nhập. Tại phần cuối của mạng viễn thông hiện nay vẫn còn tồn tại “điểm tắc nghẽn” giữa mạng LAN dung lượng cao và mạng đường trục.

Để giảm bớt “tắc nghẽn” về băng thông này, sợi quang và các nút quang được đưa tới gần hơn phía người dùng và công nghệ mạng quang thụ động PON ngày càng được chú ý bởi ngành công nghiệp viễn thông và được xem như giải pháp hữu ích cho mạng truy nhập.

### 1.2. Các công nghệ hỗ trợ PON

Các công nghệ hỗ trợ PON bao gồm TDM, WDM và OCDM.

### 1.3. Mạng quang thụ động khoảng cách dài LR-PON

Mạng LR-PON là một kiến trúc được đề xuất cho phép kết hợp mạng metro và mạng truy nhập lại với nhau, mở rộng khoảng cách của mạng truy nhập từ 20 km chuẩn tới 100 km. Các kỹ thuật kéo dài khoảng cách hoàn toàn thụ động sẽ thu hút hơn đối với các nhà mạng. Các nghiên cứu gần đây cho thấy, việc sử dụng các bộ khuếch đại quang tại tổng đài trung tâm (CO)

và/hoặc tại tổng đài nội hạt là rất cần thiết để quỹ công suất của mạng PON khoảng cách dài (LR-PON) được đảm bảo.

#### **1.4. Một số kiến trúc LR-PON đã được triển khai**

Một số kiến trúc LR-PON đã được triển khai như LR-PON dựa trên TDM, GPON, WDM, TDM và CWDM, TDM và DWDM, CDM à DWDM.

#### **1.5. Các tham số đánh giá hiệu năng của hệ thống mạng LR-PON**

Tỉ số tín hiệu trên nhiễu (SNR): Được định nghĩa là tỉ số giữa công suất tín hiệu và công suất nhiễu.

Tỉ lệ lỗi bit BER: Là tỉ số giữa số bit thu được bị lỗi trên tổng số bit được phát đi trong một đơn vị thời gian.

#### **1.6. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng của mạng LR-PON**

Đối với mạng LR-PON đa bước sóng sử dụng công nghệ OCDMA và DWDM thì giới hạn về hiệu năng chủ yếu do các yếu tố sau: suy hao, tán sắc, nhiễu của bộ khuếch đại, nhiễu đa truy nhập MAI, hiệu ứng tự điều pha, hiệu ứng điều chế xuyên pha, hiệu ứng trộn bốn bước sóng, tán sắc một phân cực...

#### **1.7. Các nghiên cứu liên quan đến luận án**

Các hướng nghiên cứu chính hiện nay về hệ thống LR-PON bao gồm: tăng khoảng cách truyền dẫn, tăng tỉ lệ chia, giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu do các bộ khuếch đại quang gây ra, sử

dụng hiệu ứng tán xạ Raman kích thích để mở rộng khoảng cách và băng tần khuếch đại...

## **1.8. Vấn đề nghiên cứu của luận án**

Trên cơ sở kết quả phân tích các hạn chế của các nghiên cứu liên quan, vấn đề nghiên cứu được đề xuất trong luận án này là: đề xuất thiết kế và chế tạo bộ khuếch đại quang Raman được bơm bằng công suất thấp ( $<1W$ ) để kéo dài khoảng cách truyền dẫn cho mạng truy nhập quang đa bước sóng sử dụng công nghệ DWDM (DWDM LR-PON); nghiên cứu giải pháp cải thiện hiệu năng cho hệ thống mạng LR-PON sử dụng kỹ thuật OCDMA và bộ khuếch đại EDFA có sẵn trên thị trường; phân tích, đánh giá ảnh hưởng của nhiễu ASE, tán sắc màu và cấu hình bơm đến hiệu năng của hệ thống mạng; so sánh các kết quả tính toán lý thuyết, mô phỏng với các kết quả thử nghiệm trên hệ thống mạng thực tế từ đó đưa ra các giải pháp tối ưu nhất cho việc triển khai hệ thống mạng truy nhập quang đa bước sóng (WDM, OCDM) tại Việt Nam.

## **CHƯƠNG 2**

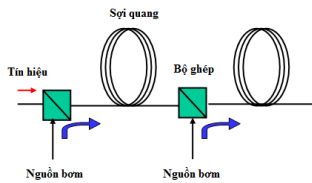
### **CHẾ TẠO BỘ KHUẾCH ĐẠI QUANG RAMAN BƠM BẰNG CÔNG SUẤT THẤP**

#### **2.1. Nghiên cứu thiết kế phần điện tử của thiết bị FRA**

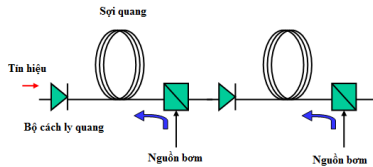
##### **2.1.1. Yêu cầu của nguồn laser bơm cho khuếch đại quang Raman**

Độ ổn định của hệ số khuếch đại trong quá trình hoạt động; Thời gian hoạt động (thời gian sống danh định) của bộ khuếch đại đạt yêu cầu trên tuyến ( $t > 15000$  giờ); Kiểm soát và điều hành bộ khuếch đại trong mạng thông tin chung; Giá thành bảo trì, sửa chữa, thay thế và tương thích của thiết bị có tính kinh tế cao và thuận tiện.

### 2.1.2. Mô hình của bộ khuếch đại quang Raman



Hình 2.1: Cấu hình bơm thuận cho khuếch đại quang Raman phân bố



Hình 2.2: Cấu hình bơm ngược hướng cho khuếch đại quang Raman phân bố

### 2.1.3. Thiết kế phần điện tử bơm cho laser bán dẫn

Các mạch điện thiết kế có thể bơm đồng thời ba modul laser bán dẫn có công suất cao, mỗi laser bán dẫn có thể phát đạt được công suất quang đến 1W. Các modul được điều khiển riêng biệt. Mạch điện có cổng ghép nối máy tính để nạp chương trình điều khiển từ máy tính cho bộ vi điều khiển.

## 2.2. Xây dựng phần mềm điều khiển nguồn laser bơm



Hình 2.3: Sơ đồ hiển thị các thông số thu nhận từ hoạt động của mô-đun laser

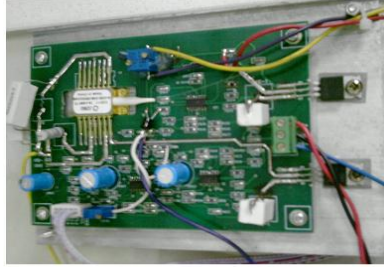
Chương trình hoạt động trên máy tính được viết bằng ngôn ngữ Visual Basic và được tổ chức thành các module để dễ quản lý, kiểm tra, và sửa lỗi. Để modul giao tiếp với máy tính bên ngoài, chúng tôi thực hiện kết nối qua cổng RS232.

## 2.3. Chế tạo phần điện tử cho laser bán dẫn

Với sơ đồ mạch được thiết kế, chúng tôi chế tạo và lắp ráp mạch điện điều khiển cho bộ khuếch đại RAMAN như hình dưới đây:



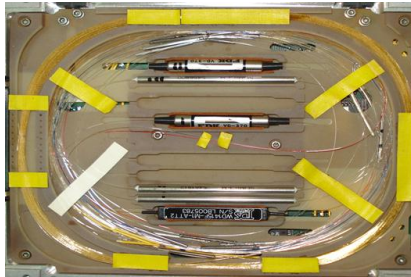
Hình 2.4: Mạch điện cấp dòng nuôi ổn định cho các mô-đun laser bơm



*Hình 2.5: Mạch ổn định dòng bơm cho laser diode*

## **2.4. Thiết kế phần quang tử cho khuếch đại quang sợi Raman**

Phần quang tử của khuếch đại quang Raman gồm các linh kiện chính như sau:



*Hình 2.6: Cấu trúc phần quang tử thụ động của thiết bị khuếch đại Raman*

Mô-đun laser bơm ghép nối với sợi quang đơn mode tiêu chuẩn; Bộ ghép kênh quang sợi theo bước sóng (bộ WDM); Bộ cách ly quang sợi; Bộ cộng công suất quang; Sợi quang tăng cường hiệu ứng tán xạ Raman; Sợi quang truyền thông tin và khuếch đại đồng thời (sợi SMF-28 dài 90km, sợi bù tán sắc DCF dài 4km, sợi nhảy quang pha tạp  $\text{GeO}_2$  nồng độ 18% dài 0.5km).



*Hình 2.7: Cấu hình RFA hoàn chỉnh được ghép từ phần quang tử và phần điện tử*

## **2.5. Kết luận chương**

Chương này đã hoàn thành việc thiết kế và chế tạo bộ khuếch đại Raman sử dụng laser bán dẫn công suất cỡ 350 mW, có độ ổn định và công suất phát quang  $\pm 1\%$ , ổn định nhiệt độ để laser bơm  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  tại chế độ dòng bơm cho laser đến 1200 mA. Nguồn laser bơm kiểu cộng công suất được chế tạo trong một hộp để thuận tiện cho lắp ráp nhiều laser có điều khiển đồng bộ và thích hợp với thiết bị khuếch đại quang sử dụng trên tuyến thông tin quang thực tế.

Ngoài ra, chúng tôi cũng đã thiết kế và chế tạo thành công tổ hợp quang tử cho khuếch đại quang sợi Raman theo cấu trúc phân bố và cộng công suất quang. Sợi quang thông tin tiêu chuẩn SMF-28 kết hợp với sợi bù tán sắc DCF đã được thiết kế để đưa vào thử nghiệm tán xạ Raman cưỡng bức. Các linh kiện quang tử thụ động đã được khảo sát kỹ để phù hợp với các bước sóng Stokes và bước sóng tín hiệu nhằm thu được hệ số khuếch đại quang tối ưu với công suất quang hiện có. Phần khảo sát và



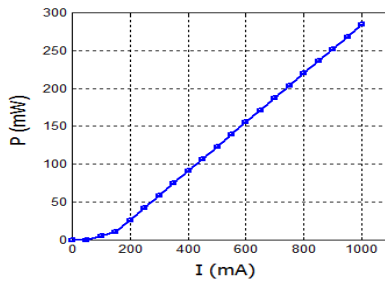
thử nghiệm các đặc tính của bộ khuếch đại quang Raman đã chế tạo sẽ được chúng tôi thực hiện trong Chương 3.

## CHƯƠNG 3

# CÁC KẾT QUẢ KHẢO SÁT VÀ THỬ NGHIỆM KHUẾCH ĐẠI QUANG RAMAN

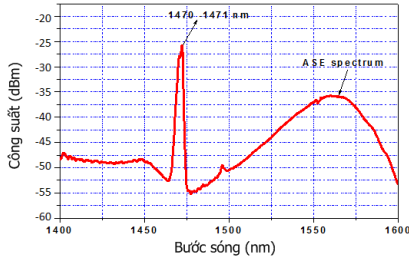
### 3.1. Kết quả khảo sát đặc trưng của mô-đun laser bơm

Kết quả khảo sát công suất phát xạ của modul laser 34-0250-DW0-300 được trình bày trong hình 3.1.



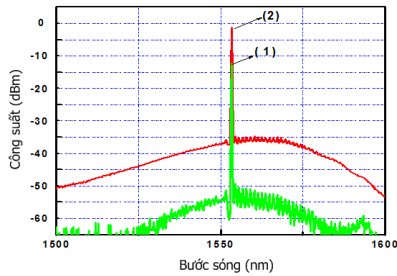
Hình 3.1: Đặc trưng I-P của laser 34-0250-DW0-300 tại bước sóng 1470.1 nm

### 3.2. Kết quả khảo sát phổ phát xạ Raman tự phát sử dụng 3 nguồn laser bơm



Hình 3.2: Phổ phát xạ Raman tự phát (sóng Stokes) trong vùng 1550 nm dịch 90 nm về vùng sóng dài so với bước sóng laser bơm 1470-1471 nm

### 3.3. Kết quả khảo sát khuếch đại quang bằng hiệu ứng Raman cưỡng bức



Hình 3.3: Phổ tín hiệu chưa khuếch đại (1) và tín hiệu đã được khuếch đại (2) khi  $L = 90 \text{ km}$ ,  $P_p = 880 \text{ mW}$

Hình 3.3 mô tả phổ phát xạ của tín hiệu quang chưa được khuếch đại (đường 1) và đã được khuếch đại bằng hiệu ứng tán xạ Raman cưỡng bức (đường 2) khi chiều dài sợi quang là 90km. Kết quả chỉ ra rằng tín hiệu đã được khuếch đại lên 11dB, độ rộng phổ và bước sóng tín hiệu không thay đổi trong quá trình khuếch đại.

### 3.4. Kết quả khảo sát khuếch đại quang Raman khi sử dụng sợi đệm

Thực nghiệm cho thấy khi có sợi đệm nối với nguồn quang bơm, hệ số khuếch đại quang của thiết bị Raman đã tăng lên hơn 2 dB khi bơm công suất quang 300 mW và tăng đến 5 dB khi bơm ngược chiều với công suất quang 880 mW (trên độ dài sợi quang 90 km trong phòng thí nghiệm).

### 3.5. So sánh các thông số của khuếch đại Raman thương mại và chế tạo

Các thông số so sánh	Bộ khuếch đại RMPM1300	Bộ khuếch đại chế tạo
Sợi quang sử dụng	G.652, G.653, G.654, G.655	G.652, G.653, G.654, G.655
Bước sóng bơm	1425.3 và 1452 nm	1470 và 1471 nm
Khoảng bước sóng tín hiệu	1530 – 1570 nm	1545 – 1585 nm
Khoảng bước sóng OSC	1500 - 1520	Ít hỗ trợ
Số bước sóng	1 – 40	1 – 40
Vùng công suất tín hiệu vào khi tắt bơm	-40 ÷ +5 dBm	-40 ÷ +10 dBm
Công suất 3 nguồn bơm kết hợp	> 1200 mW	< 1000 mW
Vùng hệ số khuếch đại – ba nguồn bơm trên sợi G.652	10 ÷ 18 dB	11 ÷ 16 dB
Hệ số NF tại công suất bơm 880mW, bơm ngược	< 3.7 dB	3.68 dB
Dòng cung cấp với 3 nguồn bơm	1.5 A	1.1 A
Nhiệt độ hoạt động	-5 ÷ 55 °C	0 ÷ 70 °C
Công suất nhiễu ASE tại công suất bơm 880 mW, ngược	-36 dBm	- 35 dBm

Từ bảng so sánh chúng ta có thể thấy rằng bộ khuếch đại quang Raman do chúng tôi chế tạo có hệ số khuếch đại tương đương với bộ khuếch đại quang thương mại đang sử dụng trên tuyến

trong khi công suất bơm yêu cầu là thấp hơn và dòng cung cấp cho nguồn bơm cũng thấp hơn.

### **3.6. Thử nghiệm khuếch đại quang Raman đã chế tạo trên tuyến thực**

Chúng tôi đã tiến hành thử nghiệm bộ khuếch đại quang Raman trên tuyến WDM thực tế nhằm đánh giá các thông số của thiết bị hoạt động trên tuyến và so sánh với kết quả khảo sát tĩnh trong phòng thí nghiệm cũng như các kết quả mô phỏng.

### **3.7. Kết luận và đề xuất các phương án chế tạo khuếch đại quang Raman phục vụ tuyến thông tin quang WDM băng rộng**

Các kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo và khảo sát khuếch đại quang Raman trên tuyến thông tin WDM cho phép có thể đưa ra đề xuất phương án chế tạo loạt nhỏ các thiết bị khuếch đại quang Raman dựa trên tiêu chí: cần khuếch đại cả bước sóng giám sát quang, bước sóng định dạng chuẩn định dạng lưới bước sóng, sử dụng nhiều nguồn bơm để mở rộng băng tần khuếch đại...

## **CHƯƠNG 4**

# **NÂNG CAO HIỆU NĂNG MẠNG TRUY NHẬP QUANG ĐA BƯỚC SÓNG SỬ DỤNG KỸ THUẬT OCDMA VÀ EDFA**

### **4.1. Xây dựng mô hình mạng LR-PON sử dụng OCDMA và EDFA**

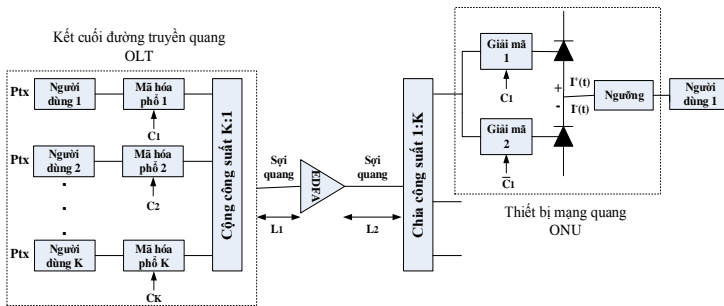
Trong chương này chúng tôi đề xuất một kiến trúc mạng truy nhập quang thụ động đa bước sóng khoảng cách dài (LR-PON) sử dụng kỹ thuật mã hóa biên độ phổ kết hợp với đa truy nhập phân chia theo mã quang (SAC/OCDMA).

#### 4.1.1. Nhiễu gây ra bởi bộ khuếch đại EDFA

Nhiều chủ yếu trong bộ khuếch đại quang là nhiễu phát xạ tự phát được khuếch đại (ASE). Nhiễu ASE sẽ tạo ra một phổ nền rộng xung quanh tín hiệu được khuếch đại, và bản thân chúng cũng được khuếch đại khi đi qua bộ khuếch đại. Vì ASE được tạo ra trước photodiode, nó làm tăng ba thành phần nhiễu khác nhau trong bộ thu quang.

#### 4.1.2. Phân tích lý thuyết

Kiến trúc mạng LR-PON dựa trên kỹ thuật SAC/OCDMA được minh họa trong hình 4.1.



Hình 4.1: Sơ đồ khối hệ thống mạng LR-PON dựa trên SAC/OCDM

#### 4.2. Mô phỏng hệ thống bằng phần mềm Optisystem

Trong phần này chúng tôi sử dụng phần mềm OptiSystem để mô phỏng hệ thống mạng LR-PON đã được đề cập ở trên.

### **4.3. Phân tích các kết quả mô phỏng và so sánh kết quả với lý thuyết**

Các thí nghiệm mô phỏng được thực hiện để nghiên cứu ảnh hưởng của nhiễu ASE và vị trí của bộ khuếch đại EDFA đến hiệu năng của mạng truy nhập quang đa bước sóng LR-PON dựa trên công nghệ SAC/OCDM. Các kết quả khảo sát BER theo công suất phát, BER theo vị trí của bộ khuếch đại, BER theo số lượng người dùng đồng thời cũng như hệ số khuếch đại theo khoảng cách truyền dẫn cho thấy các kết quả mô phỏng là hoàn toàn phù hợp với các tính toán lý thuyết.

### **4.4. Đánh giá hiệu năng của hệ thống mạng khi sử dụng bộ thu APD**

Thay thế bộ thu PIN bằng các bộ thu photodiode thác lũ (APD) và khảo sát các ảnh hưởng của nhiễu ASE đến hiệu năng của hệ thống như trên, ngoài ra chúng tôi cũng đánh giá tầm quan trọng của bộ thu APD và tìm ra hệ số khuếch đại dòng của APD phù hợp nhất cho hệ thống. Các kết quả tính toán lý thuyết và mô phỏng cho thấy BER và số lượng người dùng được cải thiện đáng kể khi sử dụng bộ thu APD (với hệ số khuếch đại dòng thích hợp  $M=3$ ).

### **4.5. Kết luận chương**

Trong phạm vi chương này, chúng tôi đã đề xuất một kiến trúc mạng truy nhập quang thụ động khoảng cách dài (LR-PONs) sử

dụng kỹ thuật mã hóa biên độ phổ/đa truy nhập phân chia theo mã quang (SAC/OCDMA). Dựa trên mô hình mạng được đề xuất, chúng tôi đã khảo sát ảnh hưởng của nhiễu ASE và các loại nhiễu khác. Theo các kết quả tính toán và mô phỏng, để đạt được tỉ lệ lỗi bit thấp thì bộ khuếch đại EDFA nên được đặt gần phía phát (tức OLT) cụ thể là trong khoảng từ 10 đến 20 km từ OLT với tổng khoảng cách tuyến truyền dẫn là 90km. Chúng tôi cũng đã khảo sát hệ thống trong trường hợp sử dụng bộ thu là PIN hoặc APD và thấy rằng khi sử dụng bộ thu APD do có hệ số khuếch đại dòng thích hợp ( $M=3$ ) sẽ cho phép cải thiện hiệu năng của hệ thống. Ngoài kỹ thuật OCDMA và bộ khuếch đại quang EDFA được triển khai hiệu quả trên mạng truy nhập quang đa bước sóng thì bên cạnh nó còn một công nghệ khác đó là DWDM và bộ khuếch đại Raman cũng giúp nâng cao được hiệu năng, tăng số lượng người truy nhập cũng như băng thông và khoảng cách của mạng truy nhập, nội dung này sẽ được chúng tôi trình bày trong Chương 5 của luận án.

## CHƯƠNG 5

### **NÂNG CAO HIỆU NĂNG MẠNG TRUY NHẬP QUANG ĐA BƯỚC SÓNG SỬ DỤNG KỸ THUẬT DWDM VÀ KHUẾCH ĐẠI RAMAN BƠM BẰNG CÔNG SUẤT THẤP**

#### **5.1. Xây dựng mô hình mạng LR-PON sử dụng DWDM và khuếch đại Raman**

Để khắc phục được nhược điểm của các hệ thống LR-PON đã triển khai như trình bày trong phần đầu của Chương 4, đồng thời mở rộng được băng tần khuếch đại cho hệ thống mạng. Chúng tôi đề xuất một kiến trúc mạng LR-PON sử dụng kỹ thuật DWDM (khoảng cách bước sóng 0.4 nm) và bộ khuếch đại Raman phân bố DRA được bơm bằng công suất thấp.

### **5.1.1. Mô hình khuếch đại quang sử dụng tán xạ Raman kích thích**

Mô hình lý thuyết để giải thích hiệu ứng tán xạ Raman cưỡng bức sử dụng trong khuếch đại quang dựa trên hệ thống các cặp phương trình vi phân mô tả sự thay đổi của công suất nguồn bơm, công suất phát xạ ngẫu nhiên và công suất tín hiệu khuếch đại dọc theo trục sợi quang (trục z). Các hệ phương trình này có thể áp dụng cho kiểu bơm một hoặc bơm nhiều bước sóng cho khuếch đại Raman, đồng thời cũng chỉ ra sự ảnh hưởng của chiều bơm, chiều tín hiệu và sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới bức xạ Raman tự phát được khuếch đại (ASE).

### **5.1.2. Phân tích lý thuyết mô hình mạng đề xuất**

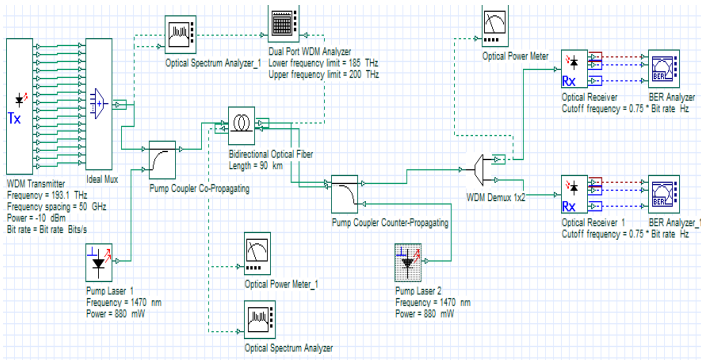
Trong phần này chúng tôi phân tích khuếch đại Raman phân bố trong các hệ thống truyền dẫn DWDM sử dụng cả hai cấu hình bơm thuận và bơm ngược. Tính toán các loại nhiễu gây ra tại bộ thu, từ đó suy ra tỉ lệ lỗi bit và tỉ số SNR của hệ thống.

## **5.2. Mô phỏng hệ thống bằng phần mềm Optisystem**

### **5.2.1. Cắt đặt mô phỏng**



Trong phần này chúng tôi thiết lập một mô hình mạng DWDM LR-PON bằng việc sử dụng phần mềm Optisystem 7 để so sánh công suất nhiễu ASE với các kết quả thực nghiệm trong chương 3. Trong mô hình này chúng tôi sử dụng một bộ khuếch đại Raman phân bố với hai cơ chế bơm khác nhau là bơm thuận và bơm ngược.



Hình 5.1: Sơ đồ khối của hệ thống DWDM sử dụng khuếch đại Raman phân bố

### 5.2.2. Các kết quả mô phỏng

Mô phỏng được thực hiện để đánh giá ảnh hưởng của nhiễu ASE, NF, và tán sắc màu đến hiệu năng của mạng trong các cấu hình bơm khác nhau. Chúng ta có thể thấy rằng trong trường hợp bơm thuận cả công suất nhiễu DRA thuận và ngược đều nhỏ hơn công suất nhiễu trong trường hợp bơm ngược. Như vậy bơm thuận có nhiều ưu điểm hơn bơm ngược đứng trên quan điểm tối ưu về nhiễu. Ngoài ra, so sánh với phổ ASE của bộ khuếch đại đã chế tạo trong chương 3 chúng ta thấy rằng chúng là tương đồng (khoảng -35dBm), điều này chứng tỏ rằng các kết

qua khảo sát bằng mô phỏng là đáng tin cậy và phù hợp với thực nghiệm.

Các kết quả khảo sát hệ số tạp âm NF theo chiều dài của bộ khuếch đại, BER theo công suất phát cho hai trường hợp có và không có nhiễu ASE trong các cấu hình bơm thuận và bơm ngược cho thấy ảnh hưởng của nhiễu ASE tăng trong các trường hợp bơm ngược, ngoài ra ảnh hưởng của tán sắc màu cũng tăng trong trường hợp bơm ngược và có nhiễu ASE.

### **5.3. Kết luận**

Trong chương này, chúng tôi đề xuất mô hình mạng LR-PON sử dụng kỹ thuật DWDM và bộ khuếch đại quang Raman phân bố để tăng khoảng cách truyền dẫn và làm phẳng băng thông độ lợi. Thông qua mô hình được khảo sát, chúng tôi so sánh ảnh hưởng của nhiễu ASE, hệ số tạp âm NF và tán sắc màu trong các cấu hình bơm khác nhau.

Các kết quả mô phỏng cho thấy cấu hình bơm thuận có nhiều ưu điểm hơn cấu hình bơm ngược đứng trên quan điểm tối ưu về nhiễu. Hệ số tạp âm NF cũng cho kết quả tốt hơn khi công suất bơm tăng cao trong cấu hình bơm thuận, điều này là do nó ít bị ảnh hưởng bởi tán xạ Rayleigh kép, đây chính là nhân tố quyết định việc lựa chọn các bộ khuếch đại Raman bơm bằng công suất thấp ( $<1W$ ) cho các cấu hình mạng truy nhập có khoảng cách vừa phải.

# KẾT LUẬN

Luận án tập trung giải quyết vấn đề nâng cao hiệu năng cho mạng truy nhập quang đa bước sóng sử dụng công nghệ đa truy nhập phân chia theo mã quang OCDMA, ghép kênh phân chia theo bước sóng mật độ cao DWDM và các bộ khuếch đại quang EDFA, khuếch đại quang Raman phân bố được bơm bằng công suất thấp ( $<1W$ ). Các kết quả đóng góp mới về mặt khoa học của luận án bao gồm:

1. Đề xuất kiến trúc mạng truy nhập LR-PON đa bước sóng dựa trên công nghệ đa truy nhập phân chia theo mã quang OCDMA, sử dụng bộ khuếch đại EDFA có sẵn trên thị trường để kéo dài khoảng cách truyền dẫn cho mạng (từ 20 km đến khoảng 100 km) cho phép người dùng sử dụng đường truyền ở tốc độ cao (1Gb/s).
  - Thông qua mô hình mạng được đề xuất nghiên cứu sinh đã đánh giá ảnh hưởng của nhiễu ASE đến hiệu năng của hệ thống mạng, thông qua tính toán và mô phỏng tìm ra vị trí thích hợp để đặt bộ khuếch đại trên tuyến truyền dẫn là trong khoảng từ 10 đến 20 km (tính từ OLT) với tổng khoảng cách truyền dẫn là 90 km. Với vị trí này ảnh hưởng của nhiễu ASE là thấp nhất và đạt được tỉ lệ lỗi bit thấp nhất.
  - Nghiên cứu sinh cũng đã khảo sát hệ thống trong trường hợp sử dụng bộ thu là PIN hoặc APD và thấy rằng khi sử dụng bộ thu APD có hệ số khuếch đại dòng thích hợp

( $M = 3$ ) sẽ cho phép cải thiện hiệu năng của hệ thống. Cụ thể là trong trường hợp bộ khuếch đại cách OLT 30km ( $L_1 = 30\text{km}$ ) công suất đánh đổi do nhiễu ASE gây ra khi sử dụng bộ thu PIN và APD lên đến 6dB. Còn khi  $L_1 = 60\text{km}$  thì sự khác biệt về công suất chỉ là 1dB. Điều này cho thấy vị trí đặt bộ khuếch cũng quan trọng trong việc chọn bộ thu.

2. Xây dựng mô hình mạng truy nhập quang LR-PON đa bước sóng sử dụng kỹ thuật DWDM và khuếch đại quang Raman được bơm bằng công suất thấp (<1W), đánh giá ảnh hưởng của nhiễu ASE, hệ số tạp âm NF và tán sắc màu đến hiệu năng của mạng trong các cấu hình bơm khác nhau. Các kết quả mô phỏng cho thấy tỉ lệ lỗi bit và hệ số NF thấp nhất khi sử dụng cấu hình bơm thuận. Cụ thể:

- Hệ số NF giữ nguyên giá trị khoảng 7dB trong cấu hình bơm thuận, nhưng trong cấu hình bơm ngược nó tăng lên đến 16 dB khi chiều dài khuếch đại là 90 km và công suất bơm 880 mW.
- Ảnh hưởng của nhiễu ASE tăng khi sử dụng cấu hình bơm ngược thể hiện ở chỗ công suất đánh đổi do nhiễu ASE gây ra tại  $BER = 10^{-9}$  là khoảng 2dB khi bơm thuận, còn đối với trường hợp bơm ngược, nó tăng lên 2.3dB.
- Ảnh hưởng của tán sắc màu cũng tăng trong cấu hình bơm ngược, công suất đánh đổi do chiều bơm gây ra tại

$BER = 10^{-9}$  khi hệ số tán sắc màu  $D = 16 \text{ ps/nm.km}$  trong trường hợp có ASE là  $> 2 \text{ dB}$ .

3. Thiết kế và thử nghiệm thành công bộ khuếch đại quang Raman đã chế tạo trên hệ thống mạng WDM thực tế. Các kết quả cho thấy:

- Hệ số khuếch đại  $G$  đạt 16 dB cho tín hiệu tại bước sóng 1555.36 khi sử dụng 3 nguồn bơm ngược chiều với tổng công suất bơm 880 mW cho chiều dài sợi quang 90 km có sử dụng sợi đệm (dài 70m). Kết quả này tương thích với thiết bị khuếch đại quang Raman hiện đang sử dụng trên tuyến (RMPM1300).
- So sánh tỉ lệ tín hiệu trên tạp âm quang (OSNR) giữa mô phỏng và thực nghiệm trong trường hợp bơm ngược cho thấy hai đường cong là đồng nhất. Tuy nhiên, khi công suất bơm vượt qua ngưỡng 800 mW thì kết quả thực nghiệm giảm đi một chút do ảnh hưởng của tán xạ Rayleigh kép có xu hướng tăng cao.
- Bước sóng bơm nằm trong dải 1470 nm nên khuếch đại chưa tốt tín hiệu giám sát quang OSC (khoảng 2 dB).

Bên cạnh những kết quả đạt được, chắc chắn luận án không tránh khỏi những thiếu sót. Nghiên cứu sinh rất mong nhận được nhiều ý kiến đóng góp hữu ích của các thầy, cô và bạn đọc.

# DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. Nguyen The Anh, Nguyen Thuy Van, Nguyen Thanh Hai, Pham Thanh Son, Bui Huy, Tran Thi Cham, Bui Trung Ninh, Ha Xuan Vinh, Pham Van Hoi (2011), “Optical amplifier based on simulated Raman scattering effect”, *In the Proceedings of the second Academic Conference on Natural Science for Master and PhD Students from Cambodia-Laos-Malaysia-Vietnam*. pp. 312-316.
2. Pham Thanh Son, Nguyen The Anh, Nguyen Thuy Van, Hoang Thi Hong Cam, Bui Huy, Ha Xuan Vinh, Bui Trung Ninh and Pham Van Hoi (2012), “Stimulated Raman scattering effect in the Silica-alumina fibers”, *In the Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Photonics and Applications (ICPA-7)*, pp. 666-670.
3. Bui Trung Ninh, Pham Van Hoi (2012), “The Effects of ASE Noise on the Performance of Multi-wavelength OCDMA Systems using APD Receiver”, *In the Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Photonics and Applications (ICPA-7)*, pp. 188-192.
4. Bui Trung Ninh, Ngoc T. Dang, Anh T. Pham (2012), “The Effects of EDFA Noise on the Performance of Multi-wavelength OCDM-based Long-Reach Passive Optical

- Networks”, *In the Proceedings of the IEEE Tencon 2012*, Cebu, Philippines, Nov. 19-22, 2012.
5. Bùi Trung Ninh, Phạm Văn Hội, Đặng Thế Ngọc, Phạm Tuấn Anh, Nguyễn Quốc Tuấn (2014), “The Effects of ASE Noise and the Position of EDFA Amplifier on Multi-Wavelength OCDM-Based Long- Reach Passive Optical Networks”, *VNU Journal of Natural Sciences and Technology*, Vol. 30, No. 1, pp. 58-67.
  6. Ninh T. Bui, Tuan Q. Nguyen and Hoi V. Pham (2014), “Effects of ASE Noise and Dispersion Chromatic on Performance of DWDM Networks using Distributed Raman Amplifiers”, *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, Vol. 6, No. 2, pp. 168-172, **ISSN: 2073-607X (Online)**.
  7. Bui Trung Ninh, Nguyen Quoc Tuan, Pham Van Hoi (2015), “Influence of ASE noise on performance of DWDM networks using low-power pumped Raman amplifiers”, *IETE Journal of Research*, Vol. x, No. x, pp.x, ISSN: 0974-780X (Đã được đăng Online).

Danh mục này bao gồm 07 công trình.