

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

---

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**ỨNG DỤNG KHUẾCH ĐẠI QUANG SỢI TRONG  
TRUYỀN DẪN QUANG WDM**

Ngành: KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ

Học viên: NGUYỄN HOÀNG ANH

Người HD Khoa học: PGS.TS LẠI KHẮC LÃI

THÁI NGUYÊN – 2013

## CÁC TỪ VIẾT TẮT

APD	Avalanche Photodiode	Đi ốt quang thác
CPM	Cross Phase Modulation	Điều chế chéo pha
DBF	Distributed Feedback laser	Laser hồi tiếp phân bố
DCF	Dispersion Compensating Fiber	Sợi bù tán sắc
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	Khuếch đại quang sợi pha tạp
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo bước sóng
EDF	Erbium Doped Fiber	Sợi quang pha tạp Erbium
TEC	Thermally Expanded Core Interface	
ASE	Amplifier Spontaneous Emission	Bức xạ tự phát được khuếch đại
LASER	Light Amplification by Stimulate Emission of Radiation	
LD	Laser Diode	Diode laser
OC	Optic Circulator	Bộ vòng quang
AGC	Automatic Gain Control	Tự động điều chỉnh khuếch đại
APC	Automatic Power Control	Tự động điều chỉnh công suất
BER	Bit Error Ratio	Tỷ lệ lỗi bit
BA	Booster Amplifier	Khuếch đại công suất
PA	Pre-amplifier	Tiền khuếch đại
LA	Line Amplifier	Khuếch đại đường truyền
EDTFA	Erbium Doped Tellurite based Fiber Amplifier	
OFA	Optic Fiber Amplifier	Bộ khuếch đại quang sợi
NF	Noise Figure	Hình ảnh nhiễu
RIN	Renatine Intensity Noise	Nhiều cường độ tương đối
MPI	Multipath Interference	Nhiều quá mức
OAR	Optically Aplified Recciver	Thu khuếch đại quang
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector	Liên minh viễn thông quốc tế
CPM	Cross-phase modulation	Điều chế pha chéo
<b>TDFA</b>		
OTDR	Optical Time Domain Reflectometers	Đường truyền dẫn quang
PDFA	Praseodymium Doped Fiber Amplifier	
LED	Light Emitting Diode	Khuếch đại quang sợi pha tạp
LTE	Line Terminal Equipment	Diode phát quang
SBS	Stimulated Brillouin Scattering	Thiết bị đầu cuối đường dây
SLA	Semiconductor Laser Amplifier	Tán xạ Brillouin kích thích
SPM	Self-Phase Modulation	Bộ khuếch đại Laser bán dẫn
SRS	Stimulated Raman Scattering	Hiệu ứng tự điều chế pha
		Hiệu ứng Raman kích thích

**DANH MỤC HÌNH VẼ**

Hình 1.1. Sơ đồ cấu trúc một EDFA.....	10
Hình 1.2. Cấu trúc hình học của lõi pha tạp Erbium .....	11
Hình 1.3. Sơ đồ của sợi TEC được vuốt Gaussian .....	12
Hình 1.4. Giảm độ năng lượng của Erbium.....	13
Hình 1.5. Phổ đầu ra quang tiêu biểu của EDFA.....	14
Hình 1.6. ba cấu hình chuẩn của EDFA .....	15
<i>Hình 1.7. Các cấu hình EDFA phản xạ .....</i>	<i>16</i>
<i>Hình 1.8. cấu hình hai hướng cơ bản của EDFA .....</i>	<i>17</i>
Hình 1.9. Sự giảm NF do ASE ngược và loại trừ ASE ngược bằng bộ cách ly. ....	20
Hình 1.10. Cấu hình EDFA có bộ lọc quang được xen vào độ dài sợi EDF. ....	20
<i>Hình 1.11. Các ứng dụng bộ khuếch đại quang sợi. ....</i>	<i>21</i>
<i>Hình 1.12. Cấu trúc EDTFA.....</i>	<i>23</i>
<i>Hình 1.13. Sự phụ thuộc bộ khuếch đại tín hiệu vào công suất bơm EDFA .....</i>	<i>24</i>
<i>Hình 1.14. Quan hệ giữa độ dài EDFA và khuếch đại tín hiệu. ....</i>	<i>25</i>
Hình 1.15. Phổ tiết diện bức xạ và hấp thụ giữa các mức $^4I_{13/2}$ và $^4I_{15/2}$ .....	26
Hình 1.16. Độ khuếch đại của EDFA phụ thuộc vào công suất tín hiệu đầu vào với 4 công suất bơm khác nhau. ....	27
Hình 1.17 Độ khuếch đại tín hiệu là hàm số của công suất tín hiệu đầu ra với .....	28
Hình 1.18 Hiệu suất biến đổi công suất như một hàm của độ dài sợi EDF .....	29
Hình 1.19 Nhiễu phách tín hiệu – tự phát. ....	31
Hình 1.20 Nhiễu phách tín hiệu- tự phát giữa các thành phần phổ ASE.....	32
Hình 1.21. Hình ảnh nhiễu dưới dạng nguồn phát và bộ thu lý tưởng.....	33
Hình 1.22 Khuếch đại tín hiệu phụ thuộc vào nhiệt độ.....	35
Hình 1.24. Modul cơ bản của bộ thu quang sử dụng khuếch đại quang. ....	37
Hình 1.25. Các mật độ phổ công suất điện của các nhiễu phách. ....	39
Hình 1.26. Các thành phần công suất nhiễu điện của 10Gbit/s OAR với $B_e = 7,5$ Gbit/s, $B_0 = 0.5$ nm, $NF = 4$ dB.....	40
Hình 1.27. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu điện của 3 bộ thu khuếch đại quang 10 Gbits/s...41	

Hình 1.28. Kết quả thực nghiệm độ nhạy thu của 10 Gbit/s OAR [38,124].	44
Hình 1.29. BER của hệ thống có khuếch đại quang 10 Gbit/s phụ thuộc vào cự ly.	45
Hình 1.30. Cấu hình các bộ khuếch đại EDFA mắc chuỗi.	46
Hình 1.31. Độ nhạy thu của 10 Gbit/s OAR trong hệ thống	48
Hình 1.32. BER và hệ số các bộ EDFA mắc chuỗi phụ thuộc vào cự ly của tuyến truyền dẫn 10Gbit/s.	49
Hình 1.33. Giảm độ năng lượng của Thulium.	50
Hình 1.34. Phổ khuếch đại quang sợi pha tạp $Tm^{3+}$	55
Hình 1.35. Hình ảnh nhiễu và phổ khuếch đại TDFA	56
Hình 1.36. Độ khuếch đại phụ thuộc vào công suất bơm của TDFA	57
Hình 1.37. Độ khuếch đại và NF phụ thuộc vào nồng độ $Tb^{3+}$	58
Hình 1.39. Giảm độ năng lượng của $Pr^{3+}$	59
Hình 1.40. giảm độ năng lượng và dịch chuyển của ion $Pr^{3+}$ trong ZBLAN	61
Hình 1.41. ảnh hưởng của độ dài tới độ khuếch đại	62
Hình 1.42. ảnh hưởng của độ dài tới độ khuếch đại và độ rộng dải khuếch đại	62
Hình 1.43. Quan hệ giữa độ khuếch đại tín hiệu, khuếch đại bên trong và tín hiệu GSA	63
Hình 1.44. Đặc trưng bão hòa khuếch đại đối với sợi cơ sở ZnF4 pha tạp $Pr^{3+}$	64
Hình 1.45. Phổ NF của khuếch đại quang sợi cơ sở ZnF4 pha tạp $Pr^{3+}$	65
Hình 1.46. Sự phụ thuộc độ tăng ích và NF vào công suất ra của tín hiệu	66
Hình 1.47. Minh họa sự phụ thuộc nhiệt độ của độ khuếch đại và hình ảnh nhiễu	67
Hình 1.49. sự phụ thuộc nhiệt độ của PDFA tại bước sóng từ 1,29 $\mu m$ ÷ 1,33 $\mu m$	69
Hình 1.50. sơ đồ cấu hình ghép nối sợi pha tạp $Pr^{3+}$ và sợi silica	69
Hình 1.51. Kỹ thuật nối rãnh chữ V hai sợi $Pr^{3+}$ và sợi silica.	70
Hình 1.52. cấu hình khuếch đại đơn	70
Hình 1.53. cấu hình khuếch đại kép	71
Hình 1.54. cấu hình khuếch đại tầng	71
Hình 1.55. Phổ khuếch đại Raman	72
Hình 2.1. Sơ đồ khối phép đo	82
Hình 2.2. Hình công suất sóng liên tục CW	83

## **DANH MỤC BẢNG BIỂU**

# MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

DANH MỤC HÌNH VẼ

DANH MỤC BẢNG BIỂU

LỜI NÓI ĐẦU

<b>CHƯƠNG 1</b> .....	8
<b>TỔNG QUAN VỀ KHUẾCH ĐẠI QUANG SỢI</b> .....	10
<b>1.1. Khuếch đại quang sợi EDFA</b> .....	10
<i>1.1.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động:</i> .....	10
<i>1.1.2. Phổ khuếch đại của EDFA.</i> .....	13
<i>1.1.3. Các ứng dụng của EDFA trong hệ thống thông tin quang.</i> .....	14
<i>1.1.4. Các tham số đặc tính kỹ thuật ảnh hưởng đến hệ thống thông tin quang EDFA.</i> .....	23
<i>1.1.5. Ảnh hưởng của khuếch đại quang EDFA trong hệ thống tin quang</i> .....	35
<b>1.2. Khuếch đại quang sợi TDFA</b> .....	49
<i>1.2.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động.</i> .....	49
<i>1.1.2. Khuếch đại sử dụng sợi pha tạp THULIUM</i> .....	54
<b>1.3. Khuếch đại quang sợi PDFA.</b> .....	59
<i>1.3.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động.</i> .....	59
1.3.2. Mô hình khuếch đại. ....	60
<i>1.3.3. Các đặc trưng khuếch đại cơ bản.</i> .....	61
1.3.4. Kỹ thuật ghép nối. ....	69
1.3.5. Cấu hình Modul PDFA. ....	70
<b>1.4. Khuếch đại Raman.</b> .....	71
<i>1.4.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động.</i> .....	71
<i>1.4.2. Hiệu ứng tán xạ kích thích Raman.</i> .....	73
<b>NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÔNG SUẤT SÓNG LIÊN</b> .....	82
<b>TỤC CW ĐẾN TỈ SỐ SNR TRONG KHUẾCH ĐẠI RAMAN</b> .....	82

<b>2.1. Mô hình tính toán</b> .....	82
<b>2.1.1. Sơ đồ thực nghiệm</b> .....	82
<b>2.1.2. Nguyên lý</b> .....	82
<b>2.2. Tính tỉ số tín hiệu trên tạp âm</b> .....	84
<b>CHƯƠNG 3</b> .....	88
<b>CHƯƠNG TRÌNH MÔ PHỎNG</b> .....	88
<b>3.1. Lưu đồ thuật toán và kết quả mô phỏng</b> .....	88
<b>KẾT LUẬN</b> .....	102
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> .....	103

## LỜI NÓI ĐẦU

Trong những năm gần đây, sự phát triển của các dịch vụ thoại và phi thoại tạo ra một sự bùng nổ về dung lượng. Hệ thống thông tin quang đơn mode đã là một mạng thông tin tiên tiến, nhưng nó chưa tận dụng được băng thông lớn của sợi quang một cách hữu hiệu, do mỗi sợi quang chỉ truyền được 1 kênh. Vì vậy cần phải cải thiện các hệ thống thông tin quang có sẵn bằng các kỹ thuật tiên tiến với chi phí thấp bằng cách ghép nhiều bước sóng cùng truyền trên một sợi quang. Kỹ thuật ghép kênh quang theo bước sóng WDM (Wavelength Division Multiplexer) ra đời, cho phép nâng cao dung lượng truyền dẫn của hệ thống lên rất lớn mà không cần phải tăng thêm sợi quang và tận dụng được băng tần lớn của sợi quang do có thể ghép nhiều kênh bước sóng trên cùng một sợi quang. Kỹ thuật ghép kênh quang theo bước sóng đang được ứng dụng rộng rãi trong các mạng viễn thông. Sự phát triển của công nghệ WDM cùng với công nghệ khuếch đại quang và chuyển mạch quang sẽ tạo nên một mạng thông tin thế hệ mới: mạng thông tin toàn quang.

Công nghệ WDM là công nghệ ghép kênh theo bước sóng đã tận dụng hữu hiệu nguồn tài nguyên băng rộng trong khu vực tổn hao thấp của sợi quang đơn mode. Công nghệ ghép kênh WDM nâng cao dung lượng truyền dẫn của hệ thống mà không cần phải tăng tốc độ của từng kênh trên mỗi bước sóng.

Công nghệ WDM chính là giải pháp tiên tiến trong kỹ thuật thông tin quang, đáp ứng được nhu cầu truyền dẫn của hệ thống.

Để triển khai lắp đặt các hệ thống thông tin quang có hiệu quả, bảo đảm chất lượng truyền dẫn trong thời gian khai thác dài, công việc thiết kế tuyến là hết sức quan trọng. khi xây dựng các tuyến truyền dẫn tốc độ cao và cự ly xa thì các tuyến này thường hay sử dụng các bộ khuếch đại quang, đặc biệt là EDFA và Raman.

Xuất phát từ mong muốn tìm hiểu hệ thống thông tin quang sử dụng kỹ thuật WDM và khuếch đại quang sợi được sự đồng ý của PGS.TS Lại Khắc Lãi, em đã thực hiện luận văn tốt nghiệp: “*Ứng dụng khuếch đại quang sợi trong truyền dẫn quang WDM*”. Luận văn trình bày một số hiểu biết về khuếch đại quang sợi và nghiên cứu ảnh hưởng của công suất sóng liên tục CW đến tỉ số SNR trong khuếch đại Raman và chương trình mô phỏng. Luận văn được chia làm các chương :



## **Chương 1: Tổng quan về khuếch đại quang sợi**

Chương này trình bày khái quát về khuếch đại quang sợi sử dụng trong truyền dẫn quang WDM

## **Chương 2: Nghiên cứu ảnh hưởng của công suất sóng liên tục CW đến tỉ số SNR trong khuếch đại Raman**

Nghiên cứu ảnh hưởng của công suất sóng liên tục CW đến tỉ số SNR trong khuếch đại Raman

## **Chương 3: Chương trình mô phỏng**

Đưa ra chương trình mô phỏng.

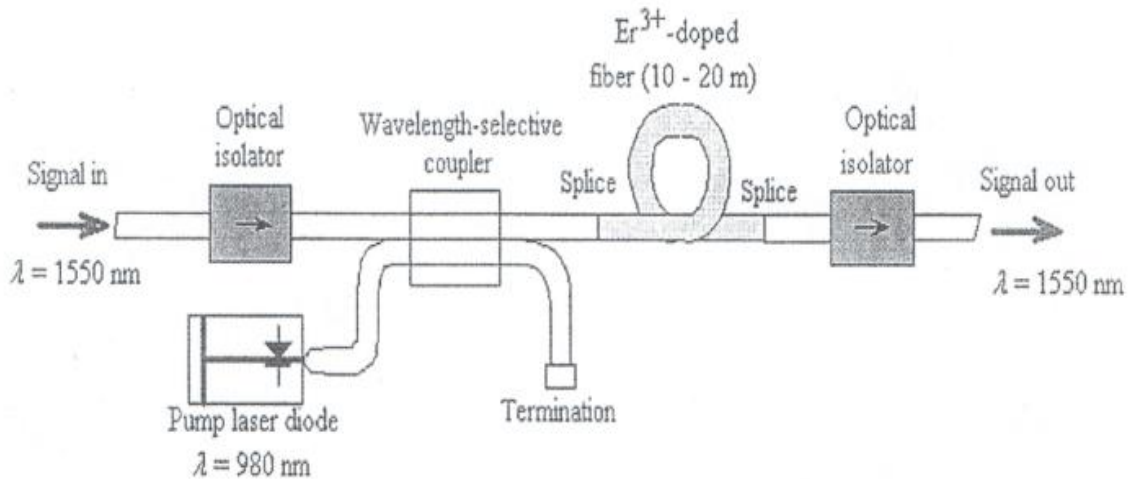
# CHƯƠNG 1

## TỔNG QUAN VỀ KHUẾCH ĐẠI QUANG SỢI

### 1.1. Khuếch đại quang sợi EDFA

#### 1.1.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động:

##### a. Cấu trúc của bộ khuếch đại quang sợi EDFA.



Hình 1.1. Sơ đồ cấu trúc một EDFA

Trên đây là cấu trúc của một khuếch đại sợi quang EDFA. Bơm Laser có thể hoạt động ở hai bước sóng 980 nm hoặc 1480 nm thì hiệu suất bơm là hiệu quả nhất. Các bộ cách ly quang (Isolator) có nhiệm vụ chống phản xạ tín hiệu, chỉ cho phép truyền dẫn quang đơn hướng. WDM coupler dùng để ghép tín hiệu bước sóng bơm và tín hiệu cần khuếch đại vào sợi Erbium.

Các thành phần chính cấu tạo nên EDFA gồm có sợi được pha tạp Erbium EDF (Erbium Doped Fiber) thường có độ dài khoảng 10 m; laser bơm LD; bộ ghép bước sóng quang (coupler) WDM và bộ cách ly quang (Isolator). Từ các thành phần cấu trúc thiết bị như vậy người ta đã tạo ra nhiều loại EDFA với các công nghệ và thể thức khác nhau. Để thu được bộ khuếch đại thì phải cung cấp năng lượng quang cho sợi pha tạp Erbium. Nguồn năng lượng để cung cấp năng lượng cho bộ khuếch đại quang được gọi là năng lượng bơm. Công suất quang từ nguồn bơm này thường có bước sóng 980 nm hoặc 1480 nm, công suất bơm từ 10 mW đến 100mW. Các diode laser LD dùng làm nguồn bơm được cấu tạo phù hợp với cấu hình và bước sóng bơm. Khi mà hệ thống được bơm ở bước sóng 980 nm thì loại LD bơm thường là loại có vùng tích cực với cấu trúc giếng lượng tử InGaAs là lớp rất mỏng được đặt xen vào giữa các lớp vỏ có các tham số tinh thể khác nhau. Nếu hệ thống được bơm ở bước sóng 1480 nm thì LD bơm thuộc loại laser Fabry-Perot dị thể chôn có cấu trúc tinh thể ghép InGaAs/ InP. Bộ ghép bước sóng WDM sẽ thực hiện ghép ánh sáng tín hiệu và ánh sáng bơm pha tạp Erbium hoặc trong một số trường hợp nó lại tách các tín hiệu này. Các bộ cách ly quang có tác dụng làm giảm ánh sáng phản xạ từ hệ thống chẳng hạn như phản xạ Rayleigh từ các bộ nối quang hay phản xạ ngược lại từ bộ khuếch đại. Việc giảm phản