

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Vũ Quốc Thụ

**CÔNG NGHỆ TRUYỀN TẢI QUANG 100 Gbps
VÀ ỨNG DỤNG TẠI VNPT HẢI DƯƠNG**

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT
(Theo định hướng ứng dụng)

HÀ NỘI - 2022

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Vũ Quốc Thụ

**CÔNG NGHỆ TRUYỀN TẢI QUANG 100 Gbps
VÀ ỨNG DỤNG TẠI VNPT HẢI DƯƠNG**

CHUYÊN NGÀNH : KỸ THUẬT VIỄN THÔNG

MÃ SỐ: 8.52.02.08 (Kỹ thuật Viễn thông)

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT
(Theo định hướng ứng dụng)

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

PGS.TS. BÙI TRUNG HIẾU

HÀ NỘI - 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu và kết quả nghiên cứu nêu trong Luận văn này là trung thực, các trích dẫn từ tài liệu tham khảo đều được chú dẫn đầy đủ, chỉ rõ nguồn gốc theo đúng quy định. Toàn bộ nội dung Luận văn chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận văn

Vũ Quốc Thụ

LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên xin em trân trọng gửi lời cảm ơn sâu sắc đến quý Thầy, Cô trong Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông đã dìu dắt và tận tình truyền đạt cho em những kiến thức, kinh nghiệm vô cùng quý báu để em có được kết quả ngày hôm nay.

Em xin trân trọng cảm ơn Thầy giáo PGS.TS. Bùi Trung Hiếu, người hướng dẫn khoa học của luận văn, đã hướng dẫn tận tình và giúp đỡ về mọi mặt để Luận văn được hoàn thành.

Xin trân trọng cảm ơn quý Thầy, Cô Khoa Đào tạo sau đại học đã hướng dẫn và giúp đỡ em trong quá trình thực hiện luận văn.

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC HÌNH VẼ.....	v
DANH MỤC BẢNG BIỂU	vii
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT.....	viii
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG 1: NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ TRUYỀN TẢI QUANG 100 Gbps.....	3
1.1 Ra đời của Công nghệ truyền tải quang 100 Gbps	3
1.2 Quá trình phát triển của công nghệ truyền dẫn quang 100 Gbps.....	5
1.3 Các tiêu chuẩn cho công nghệ truyền tải quang 100 Gbps.....	6
1.3.1 IEEE.....	7
1.3.2 OIF	7
1.3.3 ITU-T	8
1.4. Thực trạng triển khai công nghệ truyền tải quang 100 Gbps.	9
1.5 Tổng kết chương	11
CHƯƠNG 2: MỘT SỐ KỸ THUẬT CHỦ CHỐT TRONG CÔNG NGHỆ TRUYỀN TẢI 100 Gbps.	12
2.1 Kỹ thuật điều chế trong truyền tải 100 Gbps.....	12
2.1.1 Điều chế khóa dịch pha PSK (Phase Shift Keying).....	13
2.1.2 Điều chế pha hai trạng thái BPSK	14
2.1.3 Điều chế pha bốn trạng thái QPSK.....	16
2.1.4 Điều chế pha kết hợp ghép phân cực DP-QPSK	18
2.2 Kỹ thuật sửa lỗi (FEC – Forward Error Correction)	22
2.3 Kỹ thuật tách sóng	25
2.3.1 Khái quát về tách sóng Coherent	26
2.3.2 Hệ thống truyền dẫn quang với tách sóng coherent.....	28
2.3.3 Bộ phát và bộ thu DP-QPSK.	30

2.3.4	Truyền dẫn quang 100 Gbps DP-QPSK.	32
2.4	Một số vấn đề trong triển khai các hệ thống truyền tải quang 100Gbps.	34
2.4.1	Các đặc điểm năng lực của truyền dẫn 100 Gbps DP-QPSK.	34
2.4.2	Nâng cấp hệ thống truyền dẫn lên tốc độ 100 Gbps	37
2.4.3	Sự phức tạp của bộ thu tách sóng coherent số	38
2.5	Tổng kết chương 2.	40
CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG TRUYỀN TẢI QUANG 100 GBPS TẠI VNPT HẢI DƯƠNG.		41
3.1	Mạng viễn thông của VNPT Hải Dương	41
3.2.	Ứng dụng hệ thống truyền tải 100 Gbps tại VNPT Hải Dương.	43
3.2.1	Thiết bị Juniper MX2020 và MX960 tại VNPT Hải Dương.	43
3.2.2.	Cấu trúc mạng truyền tải 100Gbps tại VNPT Hải Dương.....	49
3.3.	Khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải 100 Gbps.	55
3.3.1.	Khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải 100 Gbps qua phần mềm mô phỏng.....	55
3.3.2.	Khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải quang 100 Gbps qua đo kiểm thực tế	68
3.4	Tổng kết chương:	71
KẾT LUẬN		72
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....		74

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Các dịch vụ băng rộng.....	3
Hình 1.2. Các băng tần theo chuẩn ITU-T	4
Hình 1.3. Suy giảm chất lượng truyền dẫn	4
Hình 1.4. Quá trình phát triển của công nghệ truyền dẫn quang	5
Hình 1.5. Các tiêu chuẩn của công nghệ 100 Gbps[15].....	7
Hình 1.6. Cấu trúc khung OTN.....	8
Hình 1.7. Ghép khung OTN[7].	9
Hình 2.1. Điều chế pha với tín hiệu nhị phân 10111001.	14
Hình 2.2. Sơ đồ nguyên lý điều chế BPSK.	14
Hình 2.3 . Giản đồ và dạng phổ tín hiệu BPSK[9].....	15
Hình 2.4. Hệ thống truyền tải sử dụng điều chế và giải điều chế BPSK.	15
Hình 2.5. Bộ điều chế giao thoa March-Zehnder hai cực.	16
Hình 2.6. Sơ đồ nguyên lý điều chế QPSK.....	17
Hình 2.7. Giản đồ và dạng phổ của tín hiệu QPSK	17
Hình 2.8. Mã hóa hai bit dữ liệu vào ký tự quang	18
Hình 2.9. Hệ thống truyền tải sử dụng điều chế và giải điều chế QPSK.	18
Hình 2.10. Sơ đồ nguyên lý điều chế pha DP-QPSK [9].....	19
Hình 2.11. Sơ đồ khối máy phát DP-QPSK [14]	19
Hình 2.12. Sơ đồ khối máy thu DP-QPSK[14].....	20
Hình 2.13. Thay đổi pha và trạng thái phân cực tín hiệu trong máy phát [14]	21
Hình 2.14. Thay đổi pha và phân cực của tín hiệu trong máy thu [14]	22
Hình 2.15. Khuyến nghị công suất LO tối đa cho phép.....	22
Hình 2.16. Thuật toán sửa lỗi FEC.	23
Hình 2.17. So sánh SD-FEC và HD-FEC (Coding Gain, Overhead). [10]	24
Hình 2.18. Kỹ thuật sửa lỗi SD-FEC.	24
Hình 2.19. Sơ đồ khối cơ bản của bộ tách sóng quang coherent.[16]	27
Hình 2.20. Hệ thống truyền dẫn coherent.[16]	28
Hình 2.21. Mô hình toán cho hệ thống truyền dẫn coherent.[16]	29
Hình 2.22. Sơ đồ chòm sao của DP-QPSK.	31

Hình 3.1. Sơ đồ kết nối AGG – UPE – UPE – AGG tại VNPT Hải Dương.	42
Hình 3.2. Sơ đồ kết nối các AGG tới các thiết bị PE, BNG tại miền VN2.	43
Hình 3.3. Thiết bị MX2020 của Juniper.	44
Hình 3.4. Thiết bị MX960 của Juniper.	45
Hình 3.5. Modul quang 100 Gbps loại CFP2-100G-ER4-D.....	46
Hình 3.6. Sơ đồ mạng Core Ring VNPT Hải Dương.	49
Hình 3.7. Sơ đồ một Access Ring VNPT TP Hải Dương.	52
Hình 3.8. Mô hình hệ thống truyền tải quang 100 Gbps.....	57
Hình 3.9. Sơ đồ hệ thống 100 Gbps DP-QPSK không có DSP	58
Hình 3.10. Phổ của tín hiệu 100 Gbps sau máy phát trên hệ thống không có DSP.	60
Hình 3.11. Phổ của tín hiệu trước máy thu 100 Gbps trên hệ thống không có DSP với khoảng cách khác nhau	61
Hình 3.12. Biểu đồ chòm sao tín hiệu 100 Gbps điện (phân cực X) trên hệ thống không có DSP với khoảng cách $L=10\text{km}$	62
Hình 3.13. Biểu đồ chòm sao tín hiệu 100 Gbps điện (phân cực X) trên hệ thống không có DSP với khoảng cách $L=100\text{km}$	63
Hình 3.14. Sơ đồ hệ thống truyền tải quang 100 Gbps DP-QPSK có DSP	65
Hình 3.15. Biểu đồ chòm sao trước khi xử lý số trên hệ thống 100 Gbps với khoảng cách $L = 100\text{Km}$	66
Hình 3.16. Biểu đồ chòm sao sau khi xử lý số trên hệ thống 100 Gbps có DSP với khoảng cách $L = 100\text{Km}$	67
Hình 3.17. Sơ đồ kết nối tuyến 100 Gbps từ Trạm Trung tâm đến Trạm Kinh Môn.	68

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.2. Tốc độ truyền ở các kênh quang trong OTN	9
Bảng 2.1. Đặc tính của các kỹ thuật điều chế ở truyền tải tốc độ 100 Gbps[9].....	12
Bảng 2.2. Độ dự trữ hệ thống với các kỹ thuật điều chế ở tốc độ 100 Gbps[9]	13
Bảng 3.1. Thông số Modul quang 100 Gbps loại CFP2-100G-ER4-D.	46

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

ADC	Analog-to-digital converter	Bộ chuyển đổi tương tự sang số
AGG	Aggregation	Bộ tổng hợp
APD	Avalanche photodiodes	Điốt thác lũ
ASK	Amplitude-shift keying	Điều chế khóa dịch biên độ
AWGN	Additive white Gaussian noise	Nhiều Gaussian trắng
BER	Bit Error Ratio	Tỉ lệ lỗi bit
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Điều chế pha nhị phân
BRAS	Broadband Remote Access Server	Máy chủ truy nhập băng thông rộng.
CD	Chromatic Dispersion	Tán sắc CD
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo bước sóng thô
DCF	Dispersion compensating fiber	Sợi bù tán sắc
DCM	Dispersion compensating module	Mô đun bù tán sắc
DEMUX	Demultiplexer	Bộ tách tín hiệu
DP-QPSK	Dual Polarization-Quadrature Phase Shift Keying	Điều chế khóa dịch pha cầu phương, phân cực kép
DQPSK	Differential quaternary phase-shift keying	Điều chế khóa dịch pha cầu phương vi phân
DSP	Digital Signal Processing	Xử lý tín hiệu số
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplex	Ghép kênh phân chia theo bước sóng mật độ cao
EDC	Electronic dispersion compensation	Bù tán sắc ở miền điện
EDFA	Erbium doped Fibre amplifier	Bộ khuếch đại sợi quang trộn Eribium
FEC	Forward Error Correction	Sửa lỗi trước.
HD-FEC	Hard Decision – Forward Error Correction	Sửa lỗi trước – điều khiển cứng
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Hội Kỹ sư Điện và Điện tử
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector	Liên minh Viễn thông quốc tế
LDPC	Low-density parity check codes	Mã kiểm tra chẵn lẻ - mức thấp
LO	Local Oscillator	Bộ dao động nội
MAN-E	Metro Area Network - Ethernet	Mạng đô thị sử dụng công nghệ Ethenet
MPLS	Multi-Protocol Label Switching	Chuyển mạch nhãn đa giao thức
NRZ	Non return to rezo	Không trở về không

OIF	Optical Internetworking Forum	Diễn đàn mạng quang
OLT	Optical Line Terminal	Thiết bị đầu cuối đường dây quang
OOK	On off keying	Khóa on - off
OPLL	Optical Phase-locked loop	Vòng lặp khóa pha quang
OSNR	Optical Signal-To-Noise Ratio	Tỉ lệ tín hiệu quang trên nhiễu
OTN	Optical Transport Network	Mạng truyền tải quang
PBC	Polarization beam combiner	Bộ kết hợp chùm phân cực
PBS	Polarization beam splitter	Bộ tách chùm phân cực
PDM	Polarization-division multiplexing	Ghép kênh phân cực
PIN	PIN diode	Đi ốt PIN
PLL	Phase-locked loop	Vòng lặp khóa pha
PMD	Polarization Mode Dispersion	Tán sắc mode phân cực
PM-QPSK	Polarization-multiplexed quadrature phase-shift keying	Điều chế ghép kênh phân cực, khóa dịch pha cầu phương
PSK	Phase Shift Keying	Khóa dịch pha
PXC	Photonic cross-connects	Bộ kết nối chéo ở miền quang
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Điều chế biên độ cầu phương
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	Điều chế pha trực giao
ROADM	Reconfigurable optical add/drop multiplexer	Bộ ghép kênh/xem rớt, có thể cấu hình lại ở miền quang
ROF	Radio over fiber	Vô tuyến qua sợi quang.
RZ	Return to rezo	Trở về không
SD-FEC	Soft Decision – Forward Error Correction	Sửa lỗi trước – điều khiển mềm
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Phân cấp số đồng bộ
SSMF	Standard single-mode fiber	Sợi quang chuẩn đơn mode
TDM	Time-division multiplexing	Ghép kênh phân chia miền thời gian
VPN	Virtual Personal Network	Mạng riêng ảo
WDM	Wavelength-division multiplexing	Ghép kênh phân chia theo bước sóng

MỞ ĐẦU

Ngày nay các dịch vụ thông tin bùng nổ ngày càng tăng trưởng nhanh chóng: Đó là các thế hệ điện thoại thông minh với dịch vụ 3G/4G; các trang video; các dịch vụ cung cấp data... Để có thể đáp ứng được sự tăng trưởng không ngừng đó, các công nghệ truyền dẫn mới liên tục được nghiên cứu, triển khai và đưa vào ứng dụng. Công nghệ thông tin quang SDH ra đời, đã mở ra giai đoạn phát triển mới cho truyền tải dữ liệu trong viễn thông. Tuy nhiên với tốc độ chỉ đến 10 Gbps, truyền tải quang SDH không đáp ứng được nhu cầu tăng trưởng ngày càng nhanh chóng của các dịch vụ viễn thông.

Chính vì vậy hệ thống thông tin quang ghép kênh theo bước sóng (WDM) đã ra đời và đóng vai trò quan trọng trong mạng thông tin quang. Các hệ thống truyền dẫn ghép kênh theo bước sóng đã và đang được triển khai trên toàn cầu như là một công nghệ truyền dẫn chính cho mạng đường trục và mạng vùng. Bên cạnh rất nhiều ưu điểm, công nghệ WDM bị hạn chế bởi hiệu suất sử dụng tần số đó là chỉ sử dụng được các tần số trong băng C và băng L. Chính vì vậy không thể tăng số bước sóng ghép trên một sợi quang. Điều đó dẫn đến phải nghiên cứu các công nghệ nhằm tăng dung lượng của một bước sóng.

Công nghệ truyền tải quang 100 Gbps đã được các nhà sản xuất và cung cấp thiết bị lớn trên thế giới nghiên cứu và triển khai thành công. Điều đó mở ra triển vọng cho việc nâng cấp các hệ thống 10 Gbps và 40 Gbps đang sử dụng lên 100 Gbps. Trong đó kỹ thuật kết hợp đóng vai trò chủ chốt cho tốc độ 100 Gbps. Hệ thống thông tin quang kết hợp có các kỹ thuật điều chế rất phong phú và đa dạng từ đơn giản như điều chế ASK, FSK, PSK cho đến các kiểu điều chế phức tạp như DB-PSK, DQPSK, RZ-DQPSK, DP-QPSK... Trong đó DP-QPSK là ứng cử viên sáng giá nhất cho tốc độ 100 Gbps.

Với mục tiêu được tìm hiểu và nghiên cứu sâu hơn về công nghệ truyền tải quang 100 Gbps và ứng dụng mạng truyền tải quang 100 Gbps trên mạng lưới của VNPT Hải Dương, tôi lựa chọn đề tài “ Công nghệ truyền tải quang 100 Gbps và

ứng dụng tại VNPT Hải Dương ” cho Luận văn của mình. Nội dung đề tài gồm 3 chương:

CHƯƠNG 1: NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN CÔNG NGHỆ TRUYỀN TẢI QUANG 100 Gbps.

- Ra đời và phát triển của công nghệ truyền quang 100 Gbps.
- Các chuẩn trong công nghệ truyền tải 100 Gbps.
- Thực trạng triển khai công nghệ truyền tải quang 100 Gbps.

CHƯƠNG 2: MỘT SỐ KỸ THUẬT CHỦ CHỐT TRONG CÔNG NGHỆ TRUYỀN TẢI QUANG 100 Gbps.

- Kỹ thuật điều chế.
- Sửa lỗi trong truyền tải quang 100 Gbps.
- Kỹ thuật tách sóng.

CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG TRUYỀN TẢI QUANG 100 Gbps TẠI VNPT HẢI DƯƠNG.

- Mạng viễn thông của VNPT Hải Dương.
- Khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải 100 Gbps.
- Ứng dụng hệ thống truyền tải 100 Gbps tại VNPT Hải Dương.

Do kiến thức và thời gian tìm hiểu còn hạn chế nên luận văn không thể tránh khỏi những thiếu sót. Tôi rất mong nhận được những góp ý, bổ sung của thầy cô cũng như bạn đọc để luận văn này được hoàn thiện hơn.

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến PGS.TS Bùi Trung Hiếu, người đã tận tình chỉ bảo, hướng dẫn trong suốt thời gian qua. Đồng thời, tôi cũng xin chân thành cảm ơn các thầy cô trong Khoa Đào tạo sau Đại học, Học viện Công Nghệ Bưu chính Viễn thông đã trang bị kiến thức và giúp đỡ tôi hoàn thành đồ án này.

Hà Nội, ngày.....tháng.....năm 2022

Học viên thực hiện

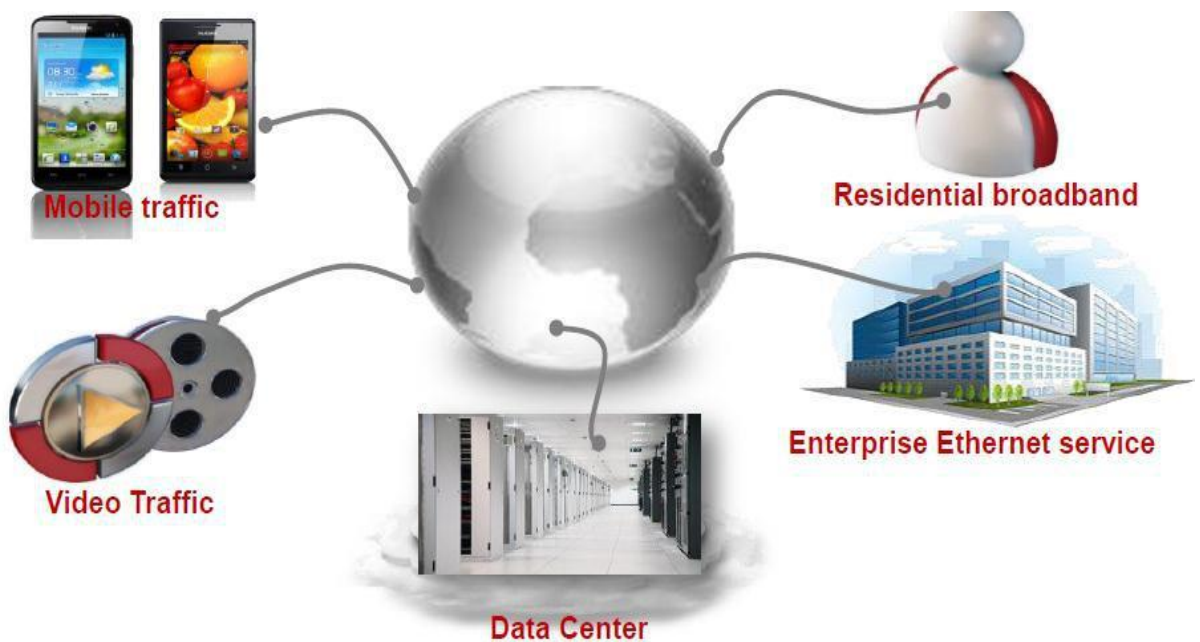
Vũ Quốc Thụ

CHƯƠNG 1: NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ TRUYỀN TẢI QUANG 100 Gbps.

Nội dung của chương trình bày khái quát quá trình ra đời và phát triển của công nghệ truyền tải quang 100 Gbps, các chuẩn trong công nghệ truyền tải 100 Gbps và thực trạng triển khai công nghệ truyền tải quang 100 Gbps. Cuối cùng là phần tổng kết chương.

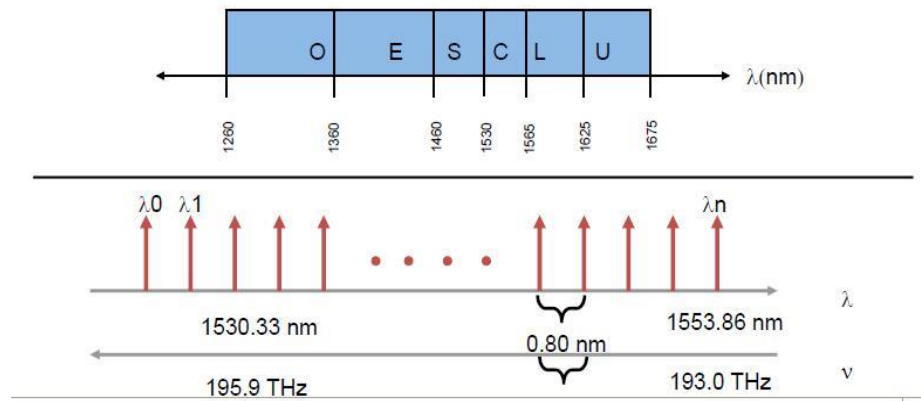
1.1 Ra đời của Công nghệ truyền tải quang 100 Gbps

Trong khoảng 5-10 năm qua đã cho thấy một sự gia tăng rất lớn trong yêu cầu băng thông internet. Điều đó là do các dịch vụ dữ liệu kinh doanh tăng cao, các điện thoại thông minh với dịch vụ 3G/4G, các trang web video chuyên sâu phổ biến như Youtube, Netflix, Hulu,...ngày càng phát triển. Điều này dẫn tới kết quả tất yếu là làm xuất hiện các mạng truyền tải cực lớn.



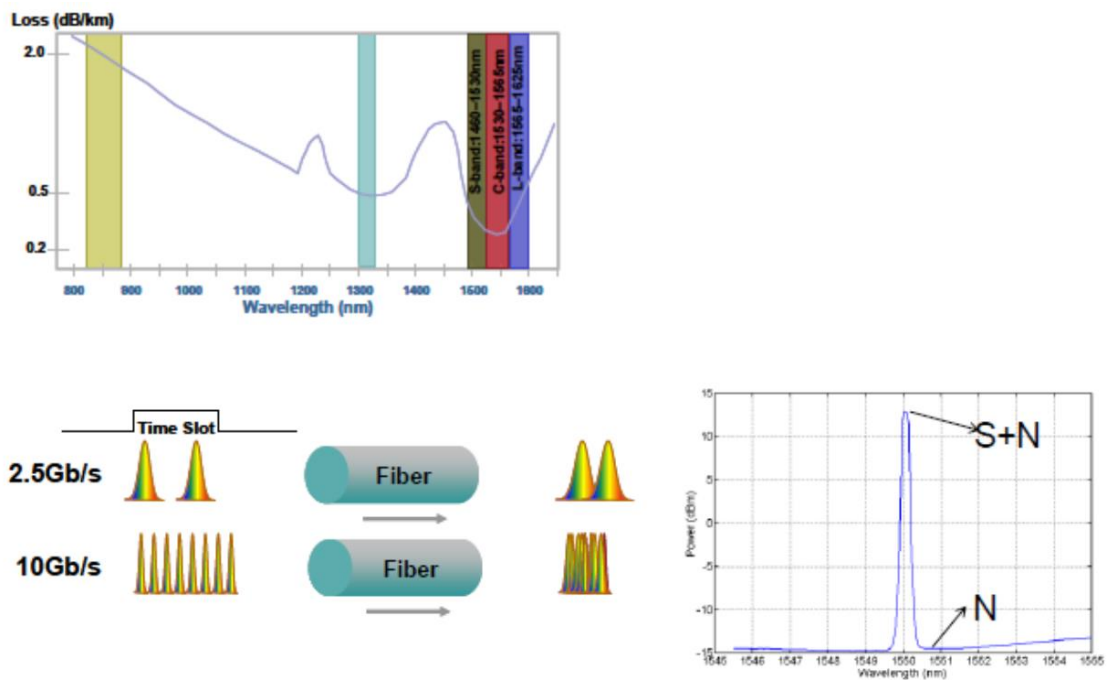
Hình 1.1. Các dịch vụ băng rộng

Vấn đề hiệu suất sử dụng phổ tần số trong thông tin quang cũng là một trong những lý do ra đời công nghệ 100 Gbps. ITU chia dải tần các bước sóng thành Grid; Grid được chia thành các Bands. Trong đó Band L và C được sử dụng cho DWDM.



Hình 1.2. Các băng tần theo chuẩn ITU-T

Công nghệ 100 Gbps ra đời nhằm giải quyết bài toán về suy giảm chất lượng truyền dẫn. Đó là các vấn đề về suy hao (suy giảm theo chiều dài tuyến cáp, giới hạn khoảng cách truyền); tán sắc (dãn rộng/biến dạng xung ánh sáng khi lan truyền, giới hạn khoảng cách truyền); OSNR (tỉ số tín hiệu trên nhiễu gây ra bởi nhiễu trên đường truyền).



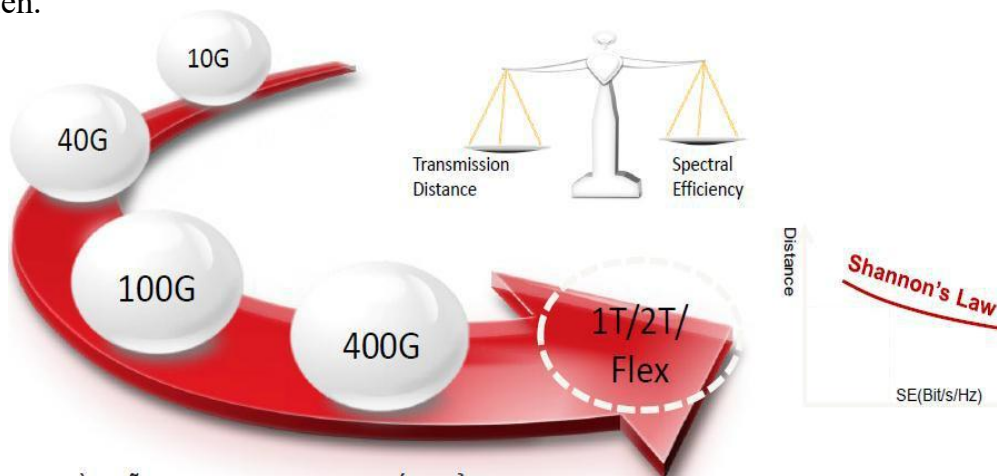
Hình 1.3. Suy giảm chất lượng truyền dẫn

Công nghệ 100Gbps ra đời giúp giảm giá thành/bit. Theo ước tính thì công nghệ 100 Gbps ra đời sẽ giảm giá thành từ 10-30% so với công nghệ 40 Gbps, từ đó tăng cơ hội tiết kiệm chi phí cho mạng DWDM, IP.

1.2 Quá trình phát triển của công nghệ truyền dẫn quang 100 Gbps

Theo các số liệu điều tra vào đầu những năm 2000, tăng trưởng lưu lượng của Internet ở mức từ 70-150% một năm [6]; kể từ năm 2009, tỉ lệ này nằm ở mức 40-50% [19]; Rõ ràng với mức độ tăng trưởng đó thì hệ thống mạng sử dụng tốc độ 10 Gbps sẽ không đáp ứng được. Nhiều nhà khai thác mạng lớn đã lập kế hoạch mở rộng một cách đáng kể năng lực mạng lưới để đáp ứng nhu cầu tăng trưởng của lưu lượng IP. Theo số liệu của hãng nghiên cứu thị trường Dell'Oro thì các sản phẩm truyền dẫn có tốc độ 100 Gbps sẽ phát triển mạnh từ sau năm 2012 với tổng giá trị sản phẩm khoảng 30 triệu USD và sẽ đạt khoảng 500 triệu USD vào năm 2014. Còn hãng nghiên cứu thị trường Heavy Reading thì dự báo thị phần các ứng dụng có tốc độ kênh từ 40 Gbps đến 100 Gbps sẽ chiếm hơn phân nửa (55%) vào năm 2013, trong đó ứng dụng 40 Gbps chiếm 26% và 100 Gbps là 29%; gần phân nửa thị trường còn lại (45%) là của các ứng dụng 10 Gbps [15]. Hình 1.4 thể hiện xu hướng phát triển về tốc độ truyền dẫn trên các hệ thống mạng DWDM.

Truyền dẫn quang đã và đang tiến triển từ 10/40 Gbps lên 100 Gbps và thậm chí còn cao hơn (lên đến Tbps). Đối với công nghệ truyền tải quang 400 Gbps trở lên thì mối quan hệ giữa SE (hiệu suất phổ) và cự ly truyền dẫn trở thành bất biến.



Hình 1.4. Quá trình phát triển của công nghệ truyền dẫn quang.

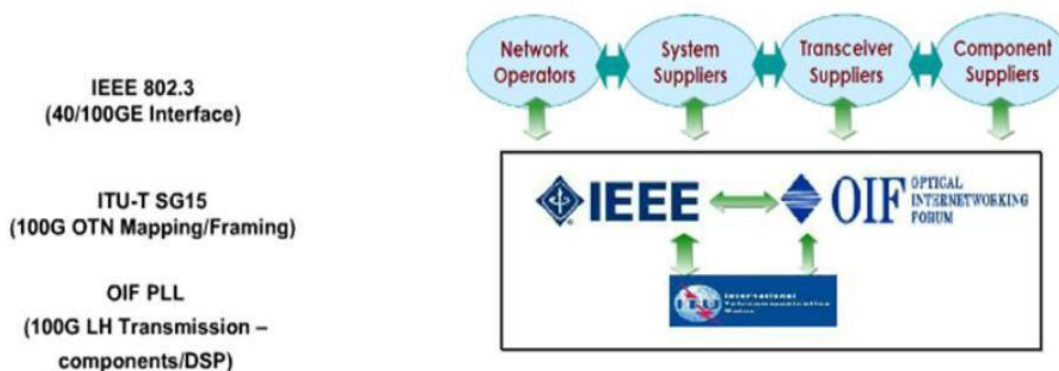
Truyền dẫn quang đã thống trị thị trường vào năm 2021 do có nhiều ưu điểm và khả năng vượt trội. Sợi quang hỗ trợ băng thông và tốc độ cực cao với số lượng dữ liệu lớn được truyền trên đơn vị quang. Sự phát triển của các công nghệ điều chế như DP-QPSK, OFDM... và các công nghệ ghép kênh WDM, DWDM, SDM nâng cao hiệu quả truyền dẫn trên sợi quang và tốc độ truyền dẫn quang.

Tháng 10 năm 2021, NEC đã giành được hợp đồng xây dựng tuyến cáp quang biển xuyên Đại Tây Dương kết nối Hoa Kỳ và Châu Âu. Việc sử dụng dữ liệu quốc tế trên khắp Đại Tây Dương dự kiến tăng 20 lần từ năm 2021 đến 2035.

Với các tốc độ lớn hơn 100 Gbps sẽ có sự tăng trưởng đột biến trong giai đoạn 2022-2029 do nhu cầu phát triển dịch vụ 5G trên toàn thế giới.

1.3 Các tiêu chuẩn cho công nghệ truyền tải quang 100 Gbps

Các tiêu chuẩn của công nghệ 100 Gbps được hình thành bởi nhiều tổ chức chuyên về phát triển và cải tiến các chuẩn thông tin quang trong các lĩnh vực như Ethernet, module quang và mạng truyền tải OTN.



Hình 1.5. Các tiêu chuẩn của công nghệ 100 Gbps[15]

1.3.1 IEEE

IEEE chịu trách nhiệm cho các chuẩn liên quan đến giao diện phía khách hàng cũng như việc chuyển tải Ethernet. IEEE đã phát triển IEEE 802.3ba như chuẩn cho giao diện Ethernet 100 Gbps.

Chuẩn Ethernet tốc độ 40/100 Gbps (IEEE P802.3ba) được thông qua vào ngày 17/06/2010, mở đường cho một làn sóng kết nối máy chủ Ethernet tốc độ cao và hệ thống chuyển mạch lõi. Thiết bị OME 6500 của Ciena cũng đã cung cấp giao diện khách hàng 100 GbE, thuận tiện cho kết nối giữa mạng WDM và mạng Metro hoặc mạng vùng. Như vậy tín hiệu 100Gbps trên mạng lõi có thể chia thành 10 x khách hàng 10 GbE , 10 x 10 khách hàng đa tốc độ Gbps hoặc khách hàng 100 GbE . Với giao diện 100 GbE, cho phép truyền tín hiệu 100 GbE từ thiết bị truyền dẫn đến các Router lõi. Chuẩn IEEE P802.3 được trình bày trong bảng 1.1 [15]:

Bảng 1.1. Chuẩn IEE P802.3 ba [15]

	100 GbE	40 GbE
Tốc độ	103,125 Gbps	41,25 Gbps
1m backplane		40GBASE-KR4
10m cáp đồng	100 GBASE- CR10	40GBASE-CR4
100m MMF	100GBASE-SR10 (10 x 10 Gbps – 10sợi/hướng)	40GBASE-SR4
10km SMF	100GBASE-LR4 (4 x 25 Gbps CWDM-800 GHz)	40GBASE-LR4
40km SMF	100GBASE-ER4 (4 x 25Gbps CWDM-800 GHz)	

1.3.2 OIF

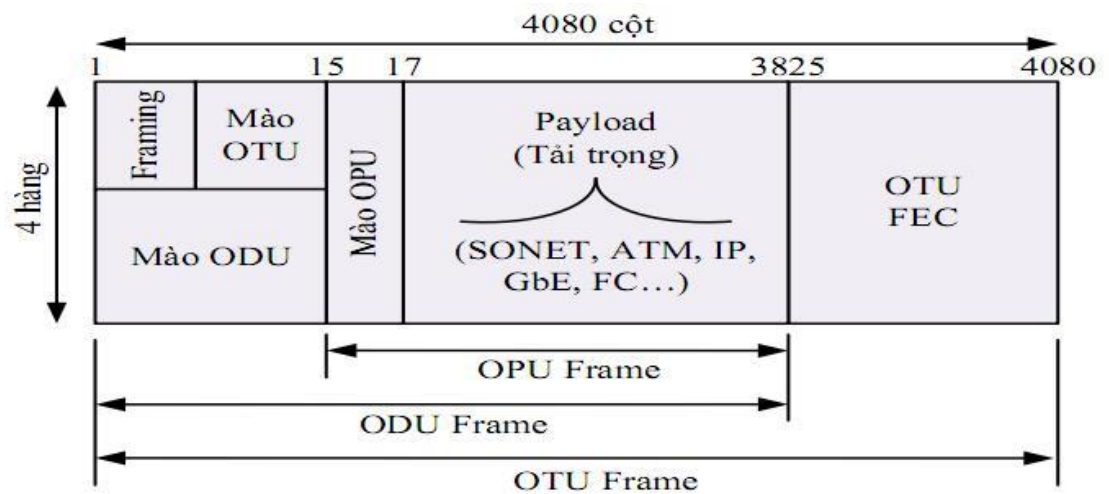
OIF đảm trách việc thiết lập ra các định chuẩn cho các module quang hệ thống đường line DWDM 100 Gbps. Các định chuẩn này bao gồm các module thu phát (transceiver), công nghệ sửa lỗi phía thu (FEC – Forward Error Correction), cũng như các đặc tính điện và cơ khí của các module. Khác với

IEEE thường không quan tâm đến kỹ thuật điều chế tín hiệu, OIF đã tập trung vào nghiên cứu các kỹ thuật điều chế cho 100 Gbps đường dài và đã lựa chọn DP-QPSK làm định dạng điều chế chuẩn cho tốc độ 100 Gbps [17].

1.3.3 ITU-T

ITU-T đảm trách việc thiết lập các chuẩn cho các mạng của các nhà khai thác, đưa ra các định nghĩa ODU4/OTU4, việc ánh xạ và đóng khung 100G OTN, bao gồm các khuyến nghị G.872, G.709, G.798 cho mạng truyền tải quang (OTN). [3]

Những ưu điểm của OTN: tính trong suốt trong toàn miền quang, tối ưu hóa cho chuyển gói trên mạng quang, tích hợp FEC để tăng khoảng cách truyền dẫn, chuyển đổi dễ dàng lên tốc độ 40 Gbps và 100 Gbps... Đặc biệt với giao diện G.709 cho phép đơn giản hóa cơ chế ghép kênh và hỗ trợ đa giao thức (IP, Ethernet, SONET/SDH...) trong mạng OTN. Chuẩn ITU-T G.709 cho phép tín hiệu khách hàng (client signal) được đóng gói và sắp xếp (mapping) vào các khung, tương tự như các khung trong SONET/SDH. Cấu trúc khung trong G.709 được minh họa như trên hình 1.6.



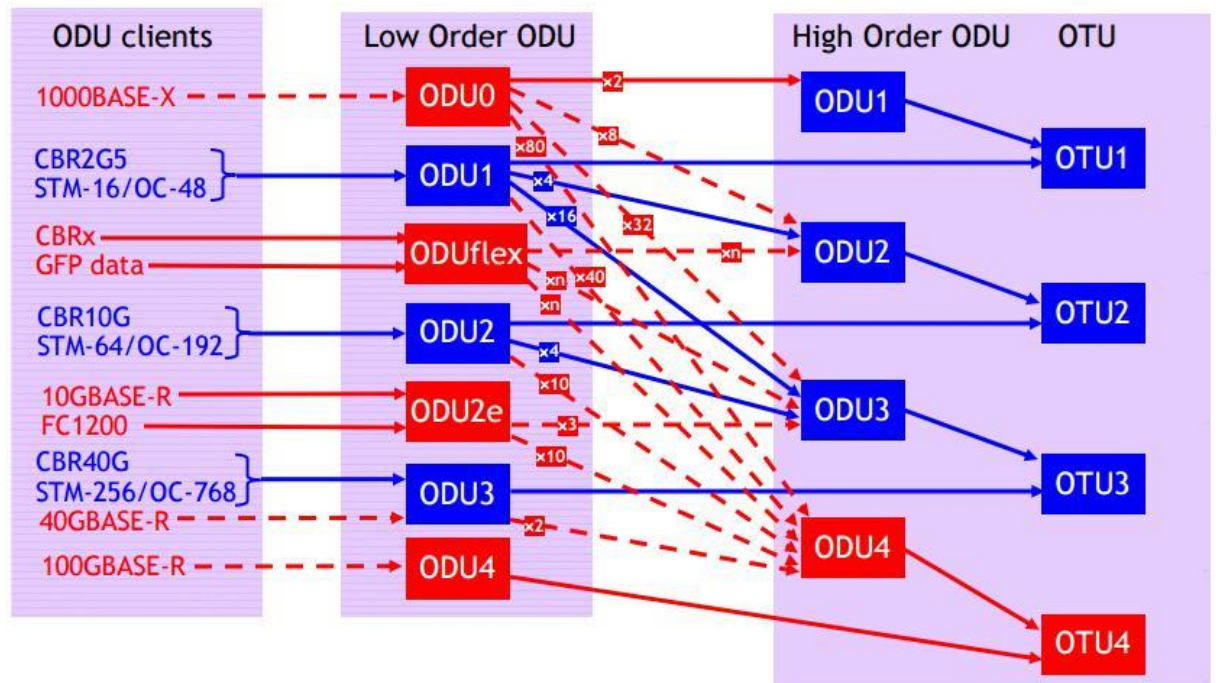
Hình 1.6. Cấu trúc khung OTN

- *Payload*: là dữ liệu khách hàng, bao gồm SONET/SDH, ATM, GbE...
- *OPU*: Optical channel Payload Unit: khối tải trọng kênh quang.
- *ODU*: Optical channel Data Unit: khối dữ liệu kênh quang.
- *OTU*: Optical channel Transport Unit: khối truyền tải kênh quang.
- *FEC*: Forward Error Correction: mã sửa lỗi trước.

Bảng 1.2. Tốc độ truyền ở các kênh quang trong OTN

OTU	ODU	Tốc độ làm tròn Gbps	Tốc độ OUT Gbps	Tốc độ ODU Gbps	Tín hiệu khách hàng
	0	1,25		1,244160	1GbE
1	1	2,5	2,666057	2,498775	STM-16/OC-48
2	2	10	10,709225	10,037274	STM-64/OC-192
3	3	40	43,018414	40,319219	STM-256/OC-768
4	4	100	111,809973	104,794446	100GbE
2e	2e	10	11,095730	10,399525	10GbE
3e1	3e1	40	44,570975	41,774364	4 x ODU2e
3e2	3e2	100	44,583356	41,785969	4 x ODU2e

Các khung dữ liệu sẽ được ghép chéo như trên hình 1.7 và tín hiệu cuối cùng được truyền đi là OTU1 – OTU4, tốc độ các khung như trên bảng 1.2. Như vậy đối với mạng truyền tải 100 Gbps, nếu tín hiệu khách hàng là 100 GbE, thì sẽ được sắp xếp vào ODU4 ($\text{ODU4} + \text{FEC} = \text{OTU4}$). Nếu là các tín hiệu khác sẽ được sắp xếp vào các ODU bậc thấp hơn, sau đó thực hiện ghép theo các hệ số như hình dưới để được tín hiệu ODU4.



Hình 1.7. Ghép khung OTN[7].

- *STM: Synchronous Transport Module: khối truyền tải đồng bộ (SDH)*
- *OC: Optical Carrier: khối vận tải quang (SONET).*
- *L: Lower Order ODU: ODU bậc thấp hơn.*
- *H: Higher Order ODU: ODU bậc cao hơn.*
- *ODUflex: hỗ trợ các dữ liệu với tốc độ khác nhau.*
- *FEC sử dụng trong ITU-T G.709 là mã Reed Solomon (255,239).*

1.4. Thực trạng triển khai công nghệ truyền tải quang 100 Gbps.

Hiện nay, công nghệ truyền tải 100 Gbps đang được triển khai rộng rãi trên toàn thế giới.

Về mặt công nghệ, truyền tải 100 Gbps chủ yếu là vấn đề điều chế cho tốc độ dữ liệu 100 Gbps, kỹ thuật mã sửa lỗi trước FEC (forward error correction) và các công nghệ truyền tải đường. Kỹ thuật điều chế tiên tiến là cần thiết cho việc thực hiện truyền tải WDM dung lượng cao và truyền đường dài. Một số hãng trên lớn trên thế giới đã nghiên cứu các vấn đề này, ví dụ như Huawei đã phát triển các kỹ thuật điều chế tiên tiến như sDQPSK, oPDM-DQPSK, và ePDM-QPSK. Kỹ thuật

sDQPSK sử dụng kỹ thuật kiểm soát phân cực để giảm tác động phi tuyến trong hệ thống DWDM tốc độ cao, cho phép hệ thống truyền tín hiệu trên khoảng cách đến 1200 km. Bằng việc thực thi phần cứng kết hợp với các thuật toán tiên tiến, kỹ thuật oPDM-DQPSK tạo điều kiện theo dõi một cách nhanh chóng phân cực quang và giúp truyền tải tới 80 bước sóng tín hiệu tại 100 Gbps. Các đặc tính cách tân của công nghệ ePDM-QPSK có thể kể đến như bộ chuyển đổi tín hiệu tương tự – số tốc độ cao (ADC), bộ xử lý số tốc độ cao (DSP). Dựa trên các thuật toán tiên tiến, DSP có thể theo dõi phân cực, khôi phục đồng hồ, pha và thông tin dữ liệu, thực hiện bù tán sắc và bù tán sắc phân cực (PMD). Công nghệ ePDM-QPSK có thể truyền tải lên tới 80 bước sóng tín hiệu tại 100 Gbps trên khoảng cách 1500 km. Kỹ thuật FEC là một đặc tính quan trọng khác cho truyền tải đường dài. Để loại trừ ảnh hưởng của nhiễu làm suy giảm các tín hiệu quang, một hệ thống 100 Gbps yêu cầu FEC cao hơn các hệ thống truyền tải trước đó.

Ngày nay, nhờ các kỹ thuật điều chế tiên tiến mà có thể giúp làm tăng dung lượng truyền tải trên mỗi bước sóng từ 10 Gbps, 40 Gbps, 100 Gbps và đã được thương mại hóa. Gần đây một số hãng sản xuất thiết bị đã thử nghiệm thành công kỹ thuật điều chế mới và tạo ra dung lượng truyền tải 400 Gbps trên mỗi bước sóng và đang được đưa vào thương mại hóa. Việc áp dụng các kỹ thuật điều chế trên nền công nghệ sản xuất IC bán dẫn hiện tại, đã giúp làm giảm các chi phí đầu tư hạ tầng cho các nhà mạng, như là có thể nâng cấp hệ thống truyền dẫn WDM hiện tại từ dung lượng 10 Gbps trên mỗi bước sóng lên 40 Gbps hoặc 100 Gbps trên mỗi bước sóng, bằng cách vẫn giữ nguyên hạ tầng thiết bị tách/ghép bước sóng và nâng cấp thay thế phần thiết bị điều chế/tách sóng ở từng bước sóng lên dung lượng 40 Gbps hoặc 100 Gbps. Trong hệ thống thông tin quang, công nghệ truyền tải bước sóng 100 Gbps sử dụng kỹ thuật điều chế DP-QPSK (hay PM-QPSK) để truyền tải 100 Gbps dữ liệu trên một bước sóng ở băng C và gửi tới hệ thống tách/ghép bước sóng để truyền/nhận tới/ở đầu xa.

Tại Việt Nam, một số nhà mạng như VNPT, Viettel đã và đang triển khai hệ thống truyền dẫn quang bước sóng 100 Gbps của các hãng như Huawei, Alcatel, Nortel... Công nghệ truyền tải bước sóng 100 Gbps này được các nhà sản xuất chào bán sản phẩm với nhiều ưu điểm như giảm giá thành truyền tải trên mỗi bit dữ liệu, đòi hỏi OSNR thấp, khả năng truyền tải xa hơn, độ tin cậy cao hơn...

NTT Communications Corporation (NTT Com) có thể coi là hãng công bố việc triển khai hệ thống truyền tải 100 Gbps đầu tiên trên hệ thống cáp quang biển xuyên Thái Bình Dương nối Mỹ và Nhật Bản, nâng dung lượng thiết kế của hệ thống PC-1 của công ty lên hơn 2,5 lần, đến dung lượng 8,4 Tbps.

Lưu lượng dữ liệu tăng lên nhanh chóng từ việc sử dụng điện thoại thông minh và máy tính bảng để tải nhạc, video, điện toán đám mây và các dịch vụ như mạng xã hội. Để giải quyết vấn đề truyền tải tốc độ cao NTT Com đã triển khai đường truyền quang 100 Gbps trên tuyến đường Hoa Kỳ - Nhật Bản của công ty. Mặc dù sức hấp dẫn của công nghệ như một phương pháp để mở rộng nhanh chóng dung lượng mạng quang, song giai đoạn đầu việc cung cấp tốc độ 100 Gbps trên một khoảng cách xa bảo đảm ổn định là rất khó khăn do các đặc tính của ánh sáng. Bằng cách tối ưu hóa về mặt quang học kiến trúc mạng của PC-1, bao gồm các bộ lặp quang được đặt phù hợp, NTT Com đã giải quyết được vấn đề về khoảng cách truyền, thực hiện thành công công nghệ truyền tải 100 Gbps đầu tiên trên tuyến cáp quang xuyên Thái Bình Dương. Tuyến cáp quang biển PC-1, tuyến liên kết xuyên Thái Bình Dương ngắn nhất, được vận hành bởi PC Landing Corp, một công ty thuộc tập đoàn NTT Com.

1.5 Tổng kết chương

Trong chương đã trình bày khái quát về công nghệ truyền tải quang 100 Gbps, bao gồm các lý thuyết căn bản như lý do phải dùng công nghệ truyền tải quang 100 Gbps, quá trình phát triển của công nghệ truyền tải quang 100 Gbps, các tiêu chuẩn cho công nghệ truyền tải bước sóng 100 Gbps và thực trạng triển khai công nghệ truyền tải quang 100 Gbps. Đây là nền tảng lý thuyết cho chương 2 về các kỹ thuật chủ chốt trong công nghệ truyền tải 100 Gbps.

CHƯƠNG 2: MỘT SỐ KỸ THUẬT CHỦ CHỐT TRONG CÔNG NGHỆ TRUYỀN TẢI 100 Gbps.

Điều chế, tách sóng và sửa lỗi là những vấn then chốt rất được quan tâm trong truyền tải quang tốc độ 100 Gbps. Nhiều kỹ thuật đã được nghiên cứu và đề xuất cho những vấn đề này. Trong chương này, những kỹ thuật cốt lõi áp dụng cho truyền tải quang 100 Gbps sẽ được trình bày.









2.1 Kỹ thuật điều chế trong truyền tải 100 Gbps

Có rất nhiều kỹ thuật điều chế trong thông tin quang đã và đang được sử dụng, nghiên cứu, đó là:

- ASK, FSK, PSK: Các dạng điều chế cơ bản trong thông tin quang kết hợp.
- BPSK: Điều chế pha 2 trạng thái.
- QPSK: Điều chế pha vuông góc (4 trạng thái).
- 8-PSK: Điều chế pha 8 trạng thái.
- DPSK (DBPSK): Điều chế pha vi sai 2 trạng thái.
- DQPSK: Điều chế pha vi sai 4 trạng thái.
- M-ADPSK: Điều chế pha kết hợp công suất M trạng thái ($M = 4, 8, 16, \dots$).
- DP-QPSK: Điều chế pha vuông góc phân cực kép (ghép phân cực).
- M-QAM: Điều chế biên độ vuông góc M trạng thái ($M = 8, 16, 32, \dots$).
- DP-OFDM: Ghép kênh phân chia theo tần số trực giao-ghép phân cực...

Đặc tính của các kỹ thuật điều chế ở truyền tải tốc độ 100 Gbps:

Bảng 2.1. Đặc tính của các kỹ thuật điều chế ở truyền tải tốc độ 100 Gbps[9].

Modulation format	OOK	OOK-VSB	DQPSK	RZ-DPSK-3ASK	DP-DQPSK	OP-FDM-RZ-DQPSK	DP-QPSK	DP-OFDM-QPSK
coh. / noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	coh.	coh.
Bits/symbol	1	1	2	2.5	2x2	2x2	2x2	2x2x2
Symbol Rate (Gbd)	112	112	56	44	28	28	28	14
Constellation								
DWDM Grid (GHz)	200	100	100	50	50	100	50	50
Spectral Efficiency (bits/s/Hz)	0.5	1	1	2	2	1	2	2

Độ dự trữ hệ thống với các kỹ thuật điều chế[9]

Bảng 2.2. Độ dự trữ hệ thống với các kỹ thuật điều chế ở tốc độ 100 Gbps[9]

Modulation format	OOK	OOK-VSB	DQPSK	RZ-DPSK-3ASK	DP-DQPSK	OP-FDM-RZ-DQPSK	DP-QPSK	DP-OFDM-QPSK
coh. / noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	coh.	coh.
DWDM Grid (GHz)	200	100	100	50	50	100	50	50
Estimated Reach (km)	< 500	< 500	1000	<500	600	1500	1500	2000
Tolerances	⊖	⊖	⊕	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕
OSNR tolerance (dB) @ BER 4×10^{-3}	17.5	18.5	15.5	>20	15.5	15.5	< 15	< 15
CD tolerance (ps/nm) @ 2dB penalty	± 5	± 5	± 22	± 30	± 90	± 90	>>	>>
Max. DGD tolerance (ps) @ 2dB penalty	4	4	9	10	18	18	>>	>>
Compatibility with 10G and 40G	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖
Filtering with ROADMs	⊖	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖

Ngày nay, việc nâng cấp hệ thống lên công nghệ truyền tải 100 Gbps là tất yếu. Dựa vào những so sánh trong các bảng 2.1 và 2.2, chúng ta thấy rằng: điều chế DP-QPSK là dạng điều chế phù hợp nhất cho tốc độ 100 Gbps. DP-QPSK có tính miễn nhiễm cao đối với CD và PMD cũng như đối với hiệu ứng phi tuyến, có hiệu suất phổ cao và yêu cầu OSNR thấp. Trên thực tế có nhiều kỹ thuật điều chế khác phức tạp hơn có thể ứng dụng cho truyền tải 100 Gbps như DP-8PSK, M-QAM, Co-OFDM. Những kỹ thuật này cho phép truyền tải ở cả những tốc độ bit cao hơn 100 Gbps (200 Gbps, 400 Gbps...). Tuy nhiên, kỹ thuật DP-QPSK đạt được sự cân bằng tối ưu về độ phức tạp của kỹ thuật cũng như giá thành của sản phẩm cho ứng dụng truyền tải 100 Gbps.

2.1.1 Điều chế khóa dịch pha PSK (Phase Shift Keying)

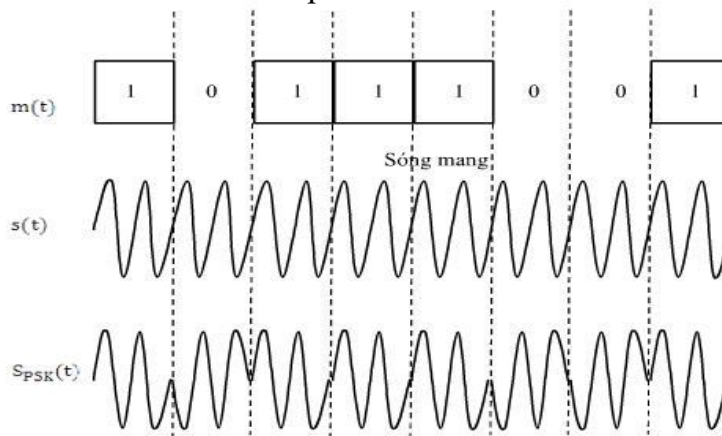
Luồng bit quang được tạo ra bằng việc điều chế pha trong khi giữ nguyên biên độ và tần số của sóng mang quang. Biểu thức toán học biểu diễn dạng điều chế PSK như sau [9]:

$$e_s(t) = E_m \cos[w_s t + b(t)\pi] \quad (2.1)$$

Có hai loại PSK thường được dùng, loại thứ nhất dùng hai tín hiệu sóng mang đại diện cho bit “1” và bit “0”, hai sóng mang này khác pha nhau 180° . Vì tín

hiệu này chỉ là nghịch đảo của tín hiệu kia nên loại này được gọi là điều chế khóa dịch pha kết hợp (PSK kết hợp).

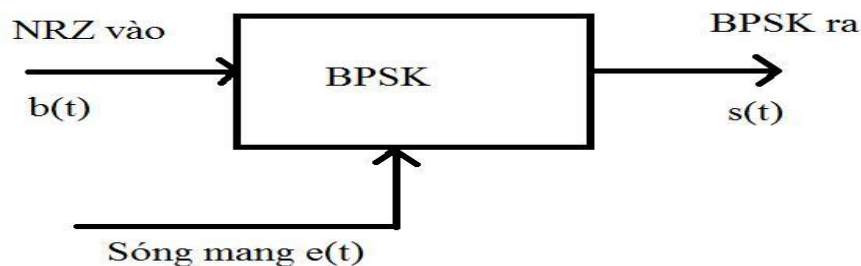
Loại thứ 2 gọi là PSK vi sai (differential PSK). Với loại này sự dịch chuyển pha xảy ra tại mỗi bit hay mỗi symbol, không cần quan tâm tới chuỗi bit “0” hay “1” đang được truyền. Giả sử với điều chế 2-PSK vi sai thì một sự dịch pha 90° tương ứng với tín hiệu hiện hành chỉ định “0” là bit kế tiếp, trong khi sự dịch pha 270° chỉ bit “1” là kế tiếp.



Hình 2.1. Điều chế pha với tín hiệu nhị phân 10111001.

2.1.2 Điều chế pha hai trạng thái BPSK

Đây là dạng điều chế nhảy pha 2 mức, nghĩa là 2 trạng thái “0” và “1” được phân biệt bởi 2 giá trị pha của sóng mang.

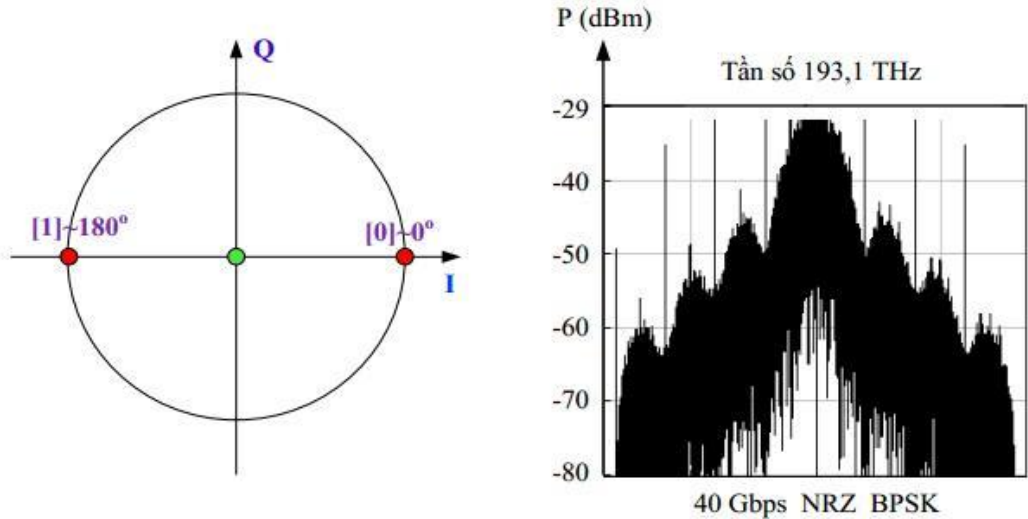


Hình 2.2. Sơ đồ nguyên lý điều chế BPSK.

Với:

$$\begin{aligned}
 s(t) &= \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{bit 1} \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) & \text{bit 0} \end{cases} \\
 &= \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{bit 1} \\ -A \cos(2\pi f_c t) & \text{bit 0} \end{cases}
 \end{aligned}
 \quad (2.2)$$

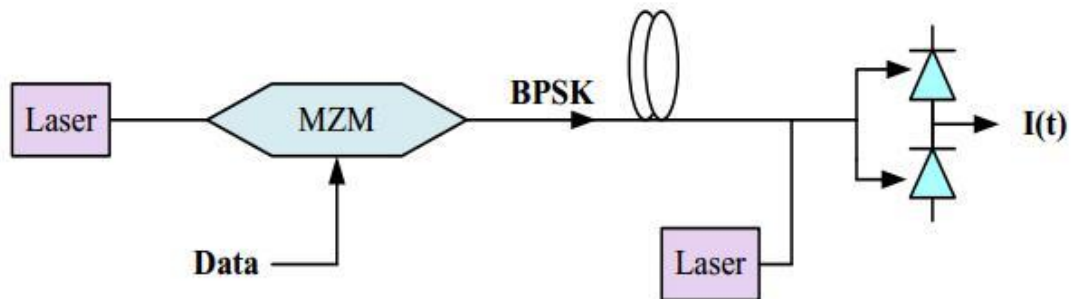
Hai pha cách nhau 180° (π rad), hình dưới đây biểu diễn giản đồ trạng thái và dạng phổ của tín hiệu BPSK:



Hình 2.3 . Giản đồ và dạng phổ tín hiệu BPSK[9].

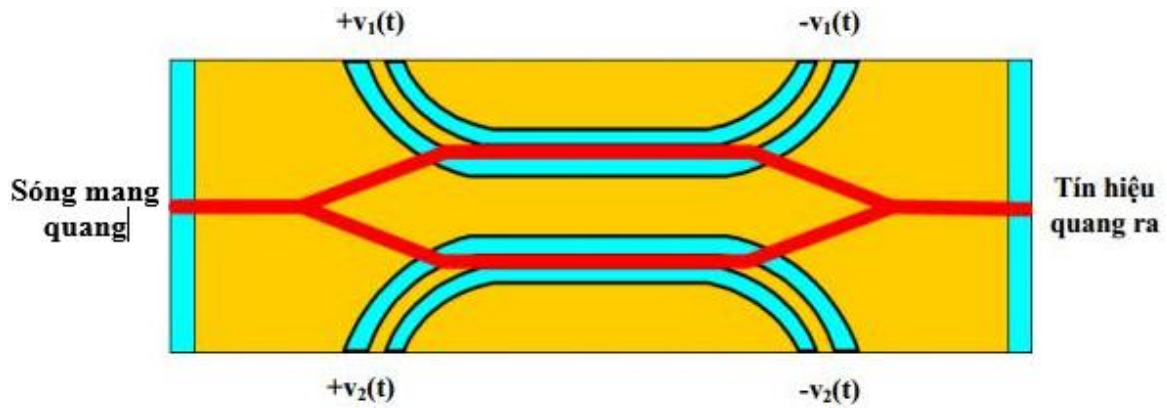
Đặc điểm của điều chế BPSK:

- + Độ rộng phổ tương đương với tốc độ bit (bit rate) hoặc symbol rate.
- + Chịu được các bộ lọc quang băng thông hẹp tốt hơn điều chế OOK.
- + Miễn nhiễm với PMD tương đối tốt.
- + Miễn nhiễm với CD và phi tuyến kém hơn so với điều chế OOK.



Hình 2.4. Hệ thống truyền tải sử dụng điều chế và giải điều chế BPSK.

Hình 2.4 minh họa sơ đồ khối đơn giản của hệ thống truyền tải sử dụng điều chế và giải điều chế BPSK, trong đó MZM (Mach-Zehnder Modulator) là một bộ điều chế ngoài dùng để làm thay đổi pha của sóng mang.



Hình 2.5. Bộ điều chế giao thoa March-Zehnder hai cực.

Trên hình 2.5 là sơ đồ bộ điều chế 4 cực, với sóng quang ở cả 2 nhánh được điều chế bởi $v_1(t)$ và $v_2(t)$.

Nếu điện áp điều chế $v_1(t) = v_2(t) = v(t)$ thì [9]:

$$e(t)_{\text{output}} = \frac{e(t)_{\text{input}}}{2} [\exp(j\pi \frac{v(t)}{V_\pi}) + \exp(j\pi \frac{v(t)}{V_\pi})] = e(t)_{\text{input}} \exp[j\pi \frac{v(t)}{V_\pi}] \quad (2.3)$$

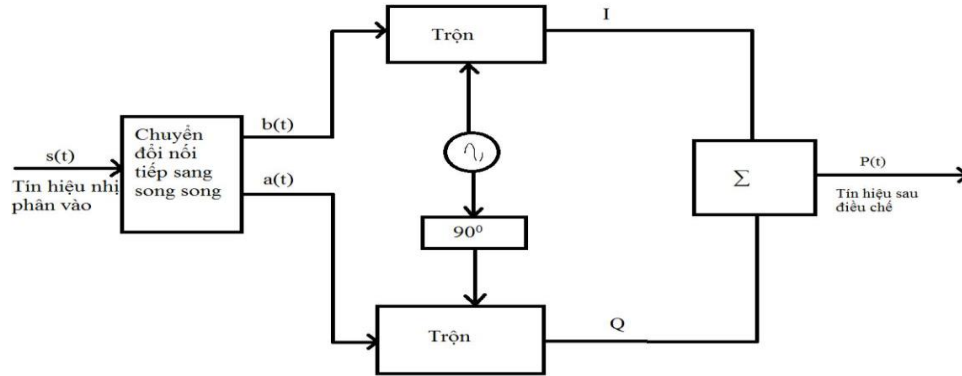
Và lúc này sóng mang tín hiệu đã được điều chế pha. Tùy theo sự thay đổi giá trị của $v(t)$ mà pha của sóng mang cũng thay đổi theo. Trong trường hợp BPSK thì pha của sóng mang là 0 hoặc là π . Bộ tách sóng là một cặp photodiode cân bằng, được gọi là balanced-photodiode (BPD).

2.1.3 Điều chế pha bốn trạng thái QPSK

Đây là dạng điều chế nhảy pha 4 mức, nghĩa là 4 trạng thái “00”, “01”, “11”, “10” được phân biệt bởi 4 giá trị pha của sóng mang. Lúc này pha cách nhau 90° .

Tín hiệu được đưa vào bộ biến đổi nối tiếp thành song song, đầu ra được 2 luồng số liệu có tốc độ bit giảm đi một nửa, đồng thời biến đổi tín hiệu đơn cực

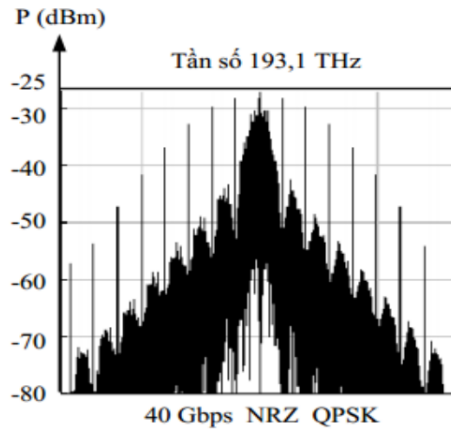
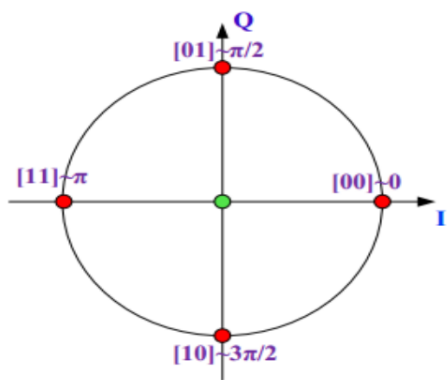
thành tín hiệu ± 1 . Hai sóng mang tới hai bộ trộn làm lệch pha nhau 90° . tổng hợp tín hiệu đầu ra 2 bộ trộn ta được tín hiệu QPSK.



Hình 2.6. Sơ đồ nguyên lý điều chế QPSK

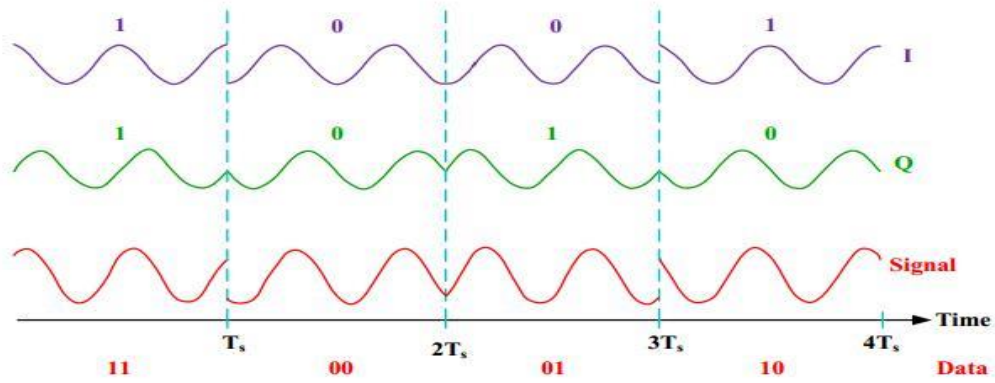
Mỗi trạng thái sóng mang mang thông tin 2 bit:

$$S(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}) & 11 \\ A \cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}) & 01 \\ A \cos(2\pi f_c t - \frac{3\pi}{4}) & 00 \\ A \cos(2\pi f_c t - \frac{\pi}{4}) & 10 \end{cases} \quad (2.4)$$

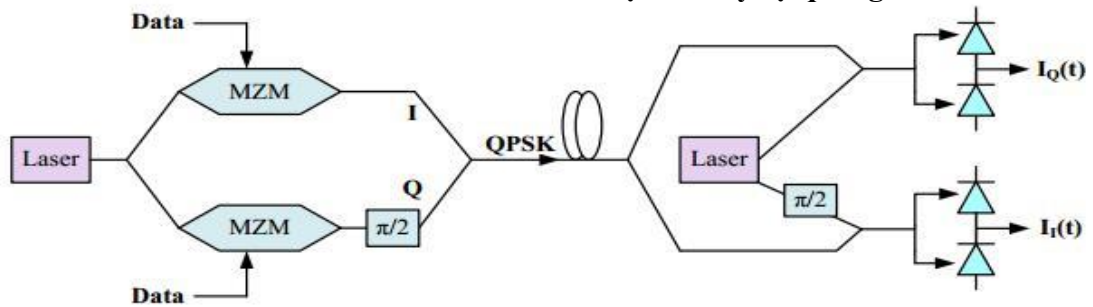


Hình 2.7. Giải đồ và dạng phổ của tín hiệu QPSK

Đối với điều chế BPSK thì một ký tự quang mang 1 bit thông tin, còn điều chế QPSK thì một ký tự quang mang 2 bit thông tin. Một cách đơn giản, có thể coi tín hiệu QPSK là tổng của 2 thành phần tín hiệu BPSK: I (In-phase: đồng pha) và Q (Quadrature: vuông pha).



Hình 2.8. Mã hóa hai bit dữ liệu vào ký tự quang



Hình 2.9. Hệ thống truyền tải sử dụng điều chế và giải điều chế QPSK.

Đặc điểm của điều chế QPSK:

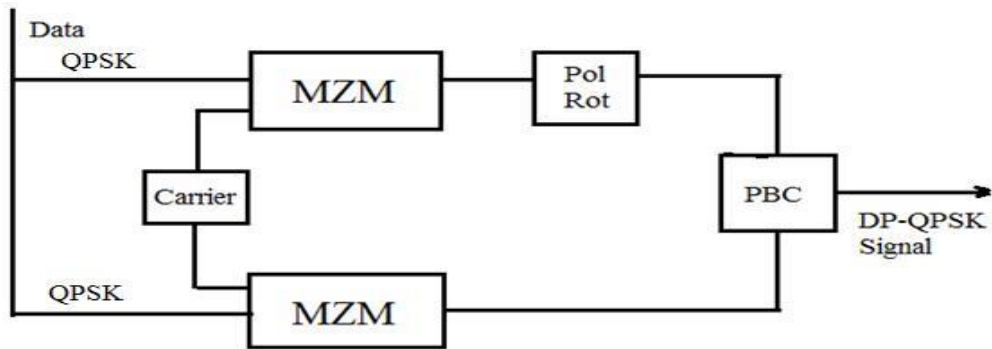
Do mã hóa 2 bit trên 1 ký tự nên độ rộng phổ bằng $1/2$ bit rate, bằng $1/2$ độ rộng phổ của OOK hoặc BPSK có cùng bit rate, dẫn đến lợi gấp đôi về băng tần.

Chịu được các bộ lọc quang băng thông hẹp.

Miễn nhiễm đối với CD, PMD và phi tuyến: tương tự như BPSK.

2.1.4 Điều chế pha kết hợp ghép phân cực DP-QPSK

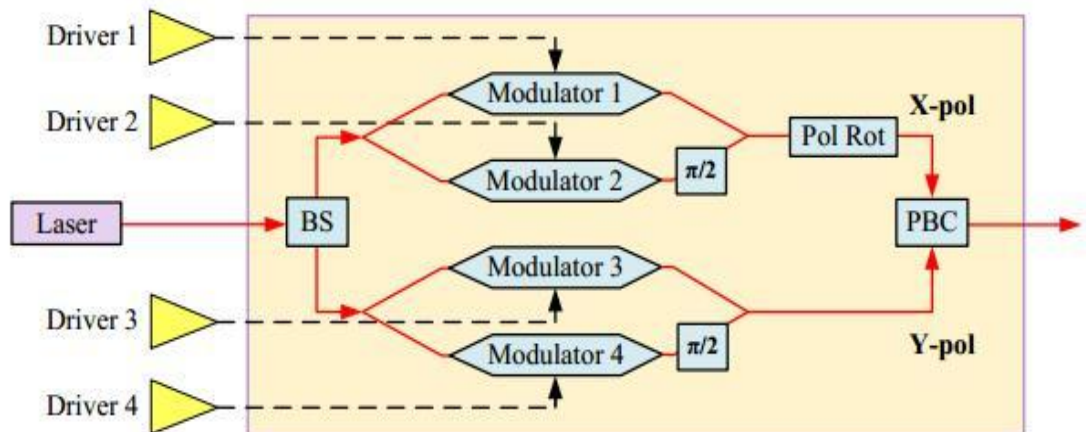
Trong trường hợp điều chế DP-QPSK thì hai tín hiệu QPSK được truyền trên hai phân cực X và Y của sóng mang, chúng đi qua bộ kết hợp tia phân cực (PBC) và được truyền trên sợi quang. Đến đầu thu, bộ tách tia phân cực (PBS) sẽ chia thành hai luồng tín hiệu riêng rẽ và xử lý một cách độc lập với nhau.



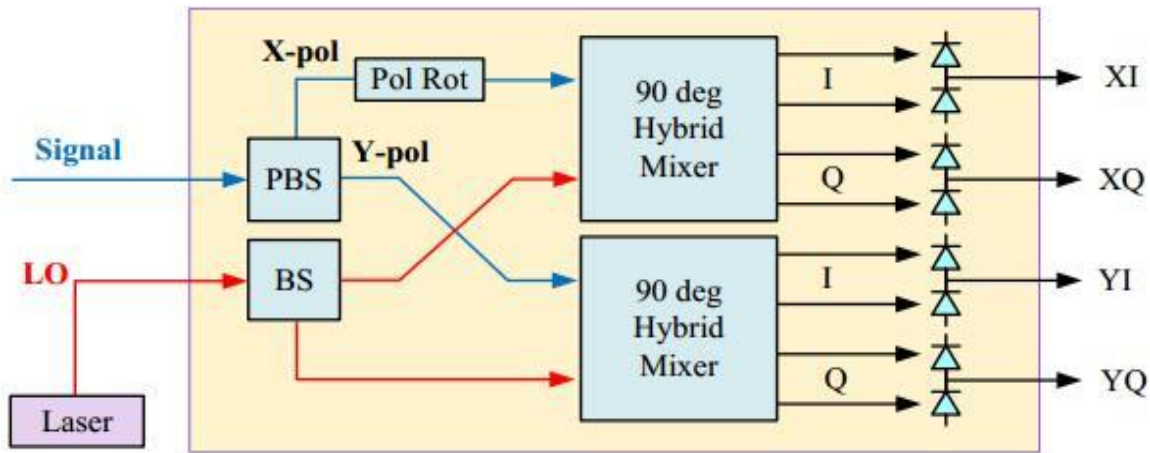
Hình 2.10. Sơ đồ nguyên lý điều chế pha DP-QPSK [9]

Như vậy kỹ thuật điều chế này đã làm tăng gấp đôi hiệu suất phổ so với điều chế QPSK, nghĩa là tăng gấp đôi tốc độ bit trong khi sử dụng cùng một băng tần. Kỹ thuật điều chế DP-QPSK truyền tải đồng thời bốn bit trên một sóng mang quang (gấp đôi so với QPSK).

Hình 2.11 và 2.12 minh họa sơ đồ khối của một máy phát và máy thu DP-QPSK theo chuẩn của OIF.



Hình 2.11. Sơ đồ khối máy phát DP-QPSK [14]



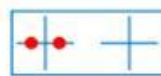
Hình 2.12. Sơ đồ khối máy thu DP-QPSK[14]

Trong các sơ đồ này:

- *Driver 1 đến Driver 4: các bộ điều khiển điện áp phân cực đặt lên các bộ điều chế;*
- *Modulator 1 đến Modulator 4 theo chuỗi bit dữ liệu đầu vào.*
- *BS: Beam Splitter: bộ chia, dùng để chia tín hiệu từ nguồn phát Laser.*
- *Modulator: bộ điều chế ngoài, dùng để điều chế pha của tín hiệu, có thể sử dụng bộ điều chế Mach-Zehnder. Tín hiệu sau Modulator 1 và Modulator 2 là hai tín hiệu BPSK được dịch pha nhau $\pi/2$ (I và Q), cộng lại ta được tín hiệu QPSK. Tương tự đối với tín hiệu sau Modulator 3 và Modulator 4.*
- *X-pol và Y-pol: phân cực X và phân cực Y (trực giao với nhau).*
- *Pol Rot: Polarization Rotator: bộ xoay phân cực, tạo ra tín hiệu phân cực X trực giao với tín hiệu phân cực Y. Hai tín hiệu QPSK sau các bộ điều chế Modulator là hai tín hiệu có cùng trạng thái phân cực (X hoặc Y), bộ xoay phân cực sẽ xoay 1 trong 2 tín hiệu đến trạng thái phân cực mới vuông góc với trạng thái phân cực của tín hiệu còn lại.*
- *PBC: Polarization Beam Combiner: bộ kết hợp tia phân cực, ghép 2 tín hiệu phân cực trực giao QPSK để tạo thành tín hiệu DP-QPSK và truyền đi trên sợi quang.*
- *LO: Local Oscillator: bộ dao động nội tại máy thu.*

- *PBS: Polarization Beam Splitter: bộ tách tia phân cực, chia tín hiệu DP-QPSK thành hai tín hiệu QPSK ở hai trạng thái phân cực trực giao (vuông góc).*
- *90 deg Hybrid Mixer: bộ trộn lai ghép quang 90 độ, có nhiệm vụ tổ hợp tín hiệu sau bộ PBS với tín hiệu từ bộ dao động nội để tạo ra bốn tín hiệu BPSK.*

Tín hiệu điện sau photodiode sẽ được chuyển đến bộ biến đổi tín hiệu tương tự-số (Analog-to-Digital Converter – ADC) và bộ xử lý tín hiệu số DSP để xử lý tiếp trước khi được phục hồi dưới dạng chuỗi bit.



Tín hiệu BPSK In-phase (I).



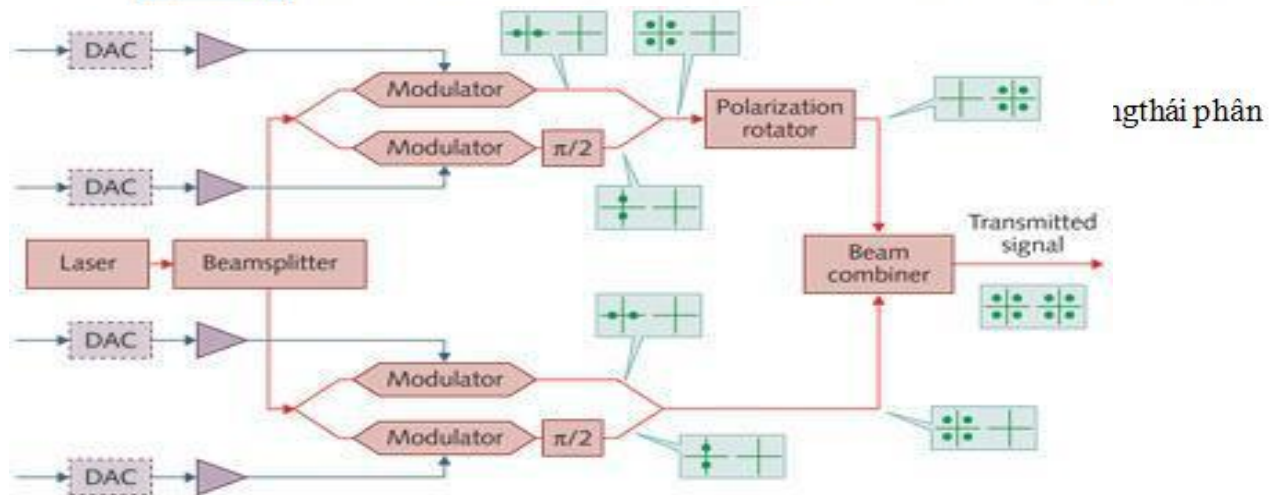
Tín hiệu BPSK Quadrature (Q), đã được dịch pha $\pi/2$.



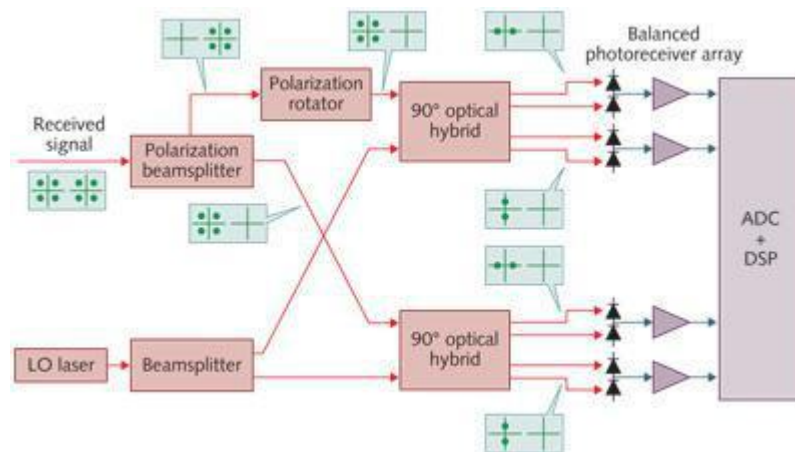
Tín hiệu QPSK ở trạng thái phân cực Y.



Tín hiệu QPSK ở trạng thái phân cực X (sau khi được quay phân cực).



Hình 2.13. Thay đổi pha và trạng thái phân cực tín hiệu trong máy phát [14]

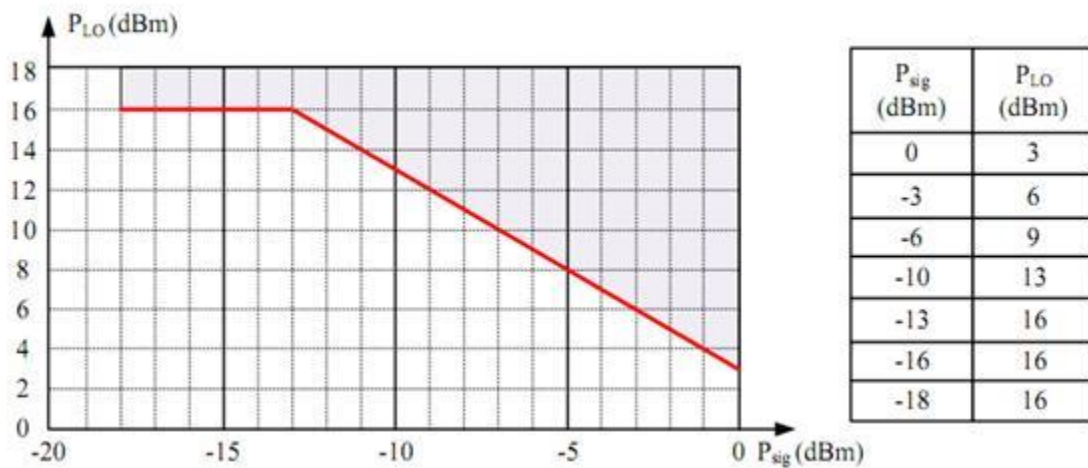


Hình 2.14. Thay đổi pha và phân cực của tín hiệu trong máy thu [14]

DAC: Digital-to-Analog Converter: bộ biến đổi tín hiệu số – tương tự.

ADC: Analog-to-Digital Converter: bộ biến đổi tín hiệu tương tự – số.

DSP: Digital Signal Processor: bộ xử lý tín hiệu số.



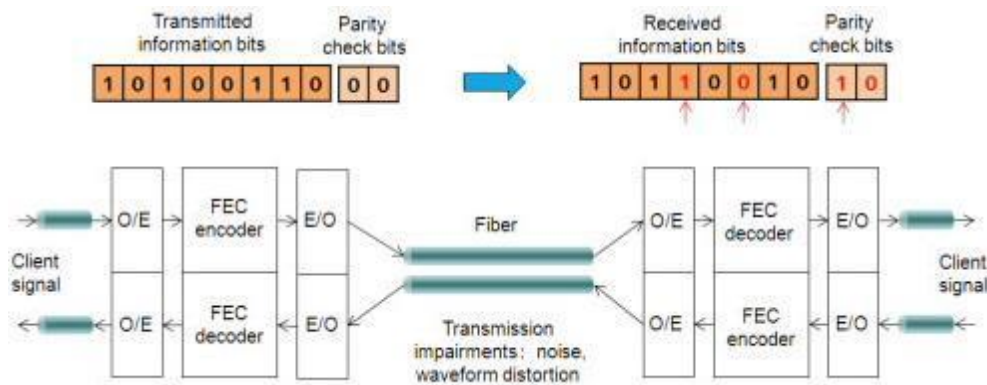
Hình 2.15. Khuyến nghị công suất LO tối đa cho phép.

2.2 Kỹ thuật sửa lỗi (FEC – Forward Error Correction)

Một trong những tham số quan trọng trong thiết kế mạng truyền tải quang là OSNR. Mạng DWDM phải hoạt động trên giới hạn OSNR để đảm bảo lỗi tối đa ở mức cho phép. Giới hạn OSNR là một trong những thông số quan trọng quyết định khoảng cách một bước sóng có thể đi được trước khi cần tái tạo. Tùy thuộc vào việc một hệ thống ROADM được thiết kế cho mạng Metro, Backbone,... dòng bit 10 Gbps có thể được vận chuyển 800-2000 km trước khi cần tái tạo bắt buộc.

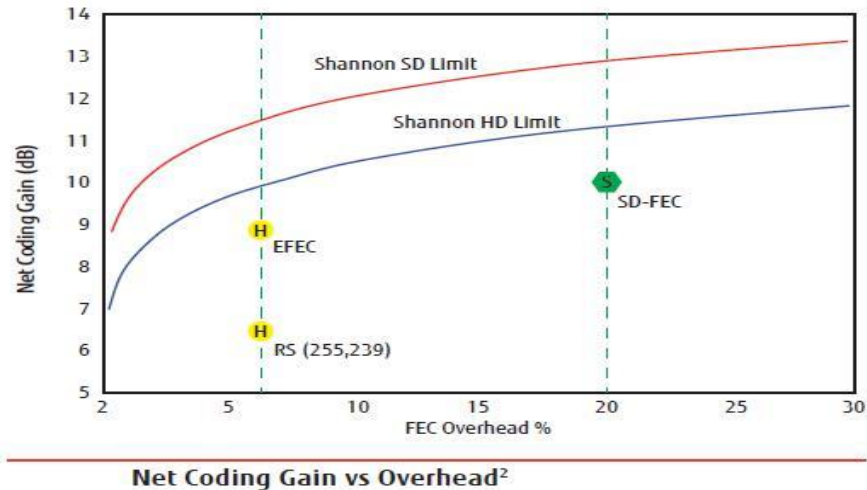
Tại tốc độ dữ liệu cao hơn 10 Gbps, các phương thức điều chế tiên tiến được sử dụng để giảm thiểu các tác động của suy giảm chất lượng tín hiệu quang, chẳng hạn do CD, PMD, cũng như để đảm bảo tín hiệu quang phù hợp trong grid 50 GHz được sử dụng trong hệ thống DWDM hiện đại. Nhược điểm của hệ thống tốc độ cao và các phương thức điều chế tiên tiến, đó là yêu cầu OSNR ở tốc độ 100 Gbps tối thiểu cao hơn 10 dB so với ở tốc độ 10 Gbps. Nếu không có phương thức sửa lỗi thì hệ thống truyền tải quang tốc độ 100 Gbps sẽ bị giới hạn trong khoảng cách rất ngắn. Tuy nhiên, các kỹ thuật sửa lỗi FEC tính vi đã cho phép truyền tải tốc độ 100 Gbps ở khoảng cách truyền dẫn đủ xa.

FEC là phương thức mã hóa các tín hiệu ban đầu, với thông tin mã hóa phát hiện và sửa lỗi được chèn vào (ví dụ các byte chẵn lẻ), vì vậy tại đầu thu có thể phát hiện và sửa lỗi xảy ra trên đường truyền. FEC làm giảm BER và tăng khoảng cách truyền tín hiệu quang mà không cần tái tạo.



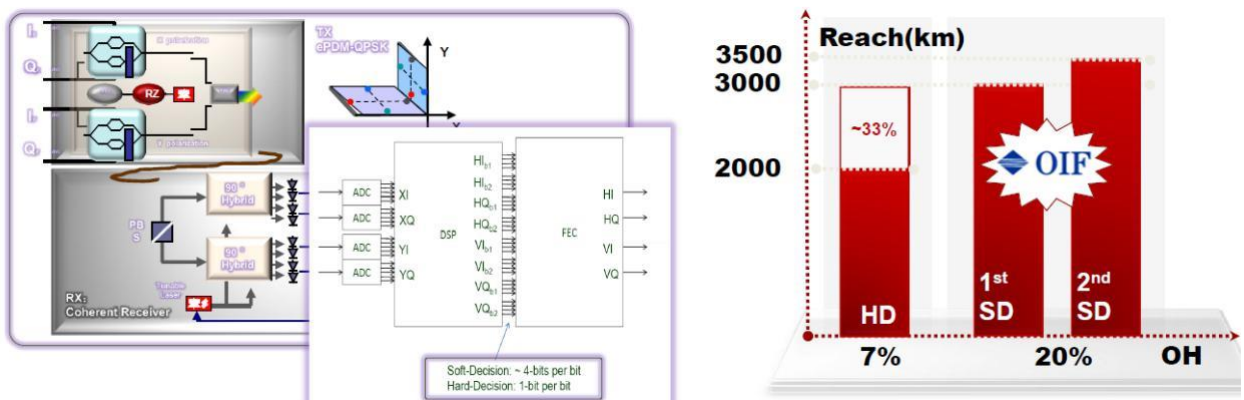
Hình 2.16. Thuật toán sửa lỗi FEC.

Có một số thuật toán FEC khác nhau, trong khi thế hệ đầu tiên FEC Reed-Solomon và thế hệ thứ hai EFEC được sử dụng cho bước sóng 10 Gbps, 40 Gbps, thì thuật toán FEC thế hệ thứ ba là cần thiết cho bước sóng 100 Gbps để đạt được hiệu suất tối ưu. Thế hệ FEC thứ ba dựa trên thuật toán mã hóa và giải mã mạnh hơn, mã hóa lặp đi lặp lại và được gọi là SD-FEC (Soft-decision FEC).



Hình 2.17. So sánh SD-FEC và HD-FEC (Coding Gain, Overhead). [10]

Trong khi các khối giải mã HD-FEC (Hard-decision FEC) thực hiện giải mã trên cơ sở tín hiệu đến thì cũng cung cấp một bit thông tin (1 hoặc 0) để giải mã FEC. Tín hiệu thu được so sánh với một ngưỡng, trên ngưỡng thì là “1” và dưới ngưỡng là “0”. SD-FEC sử dụng các bit bổ sung được thêm vào, để cung cấp khả năng nhận diện tín hiệu đến tốt hơn. Nói cách khác, bộ giải mã không chỉ xác định xem tín hiệu đến là một “1” hoặc một “0” dựa trên ngưỡng, mà còn cung cấp một yếu tố “tin cậy” để quyết định. Các bit “tin cậy” hoặc “xác suất” đúng được sử dụng trong giải mã SD-FEC, cho khả năng khôi phục đúng tín hiệu cao hơn, làm tăng độ lợi 1-2 dB. Mức tăng độ lợi này không nhiều, nhưng đủ để có thể tăng khoảng cách truyền dẫn lên 20-40% và đó là điều rất có ý nghĩa ở tốc độ 100 Gbps.



Hình 2.18. Kỹ thuật sửa lỗi SD-FEC.

Có 3 thể hệ FEC đã ra đời và đã được thương mại hóa:

Thể hệ thứ nhất: G-FEC được định nghĩa trong chuẩn khuyến nghị G.709 của ITU-T, nó được cấu hình để cho phép tương kết giữa các nhà sản xuất thiết bị WDM với nhau. Tuy nhiên, G-FEC cho phép chỉ 6 dB NCG với 6.69 % thông tin mào đầu. G-FEC sử dụng giải mã hóa kiểu ‘hard-decision’.

Thể hệ thứ hai: E-FEC – là một mở rộng của FEC, các thuật toán được liệt kê trong chuẩn khuyến nghị G.975.1 của ITU-T, dựa theo các kỹ thuật giải mã hóa điển hình. E-FEC không hướng đến việc tương kết giữa các hệ thống E-FEC của nhiều nhà sản xuất thiết bị khác nhau, nhưng nó cho phép 8 dB và 9.5 dB NCG với thông tin mào đầu giữa 6.69% và 10%, phụ thuộc vào thực tế. E-FEC sử dụng giải mã hóa kiểu ‘hard-decision’. G-FEC và E-FEC được sử dụng với cả hai hệ thống coherent và tách sóng trực tiếp.

Thể hệ thứ ba: SD-FEC sử dụng giải mã hóa ‘soft-decision’ và cho phép cải tiến xử lý tín hiệu điện cho các hệ thống coherent 100 Gbps và dung lượng cao hơn nữa. SD-FEC cho phép làm lợi 11 dB NCG hoặc hơn nữa với phần thông tin mào đầu là từ 15%-35%, phụ thuộc vào cách đóng gói dữ liệu. Các kỹ thuật mới hơn nữa như SD-FEC mở rộng hiện vẫn đang tiếp tục được phát triển, chẳng hạn, SD-FEC chia sẻ độ lợi, ở đó FEC ở đầu ra từ hai kênh được kết hợp toán học với nhau để có thể sử dụng mở rộng giá trị chất lượng của kênh.

2.3 Kỹ thuật tách sóng

Sự phát triển gần đây trong xử lý tín hiệu số tốc độ cao cho phép sử dụng các bộ thu kỹ thuật số coherent. Một bộ thu số coherent cơ bản là kết hợp trạng thái quang học và điện tử; tách sóng coherent về mặt lý thuyết là nguyên lý tách sóng tối ưu nhất và một bộ thu thực hiện cân bằng lượng suy giảm truyền dẫn tuyến tính thực tế. Về lý thuyết, các kỹ thuật trong thông tin vô tuyến và hữu tuyến đã phát triển nhiều năm qua có thể ứng dụng cho thông tin quang. Như vậy, các bộ thu kỹ thuật số coherent sẽ nhanh chóng trở thành công nghệ không thể bỏ qua khi lựa chọn công nghệ trong các hệ thống truyền dẫn quang.

Sự thay đổi nhanh chóng từ các bộ thu tách sóng trực tiếp sang các bộ thu kỹ thuật số coherent được thúc đẩy bởi một số các phát triển về công nghệ. Các bộ thu kỹ thuật số coherent đã thúc đẩy việc sử dụng các định dạng điều chế bậc cao hơn, như QPSK, ghép kênh phân cực, sự bù suy giảm truyền dẫn tuyến tính gây ra bởi tán sắc màu và tán sắc phân cực mode (PMD), thiết kế của các bộ khuếch đại sợi quang trộn Erbium cho phép bỏ qua giai đoạn trung gian cũng như là cải thiện việc theo dõi công suất quang.

Sự phân cực thể hiện một phạm vi quan trọng của sóng quang và có thể được chú ý khai thác. Một ví dụ đơn giản là sự quan tâm gần đây trong các hệ thống truyền dẫn quang sử dụng một kênh dữ liệu được ghép phân cực (Pol-Mux). Kênh truyền Pol-mux như vậy làm tăng gấp hai lần hiệu suất phổ hệ thống (bits/s.Hz) và làm tăng khả năng chịu đựng các ảnh hưởng tán sắc sợi quang. Khi kết hợp với các định dạng điều chế tiên tiến và băng thông cao, truyền dẫn quang phổ hiệu quả là khả thi.

Những cải tiến về độ nhạy thu là động lực chính tiềm ẩn các ảnh hưởng trong hệ thống truyền thông sợi quang coherent. Điều đó cho phép:

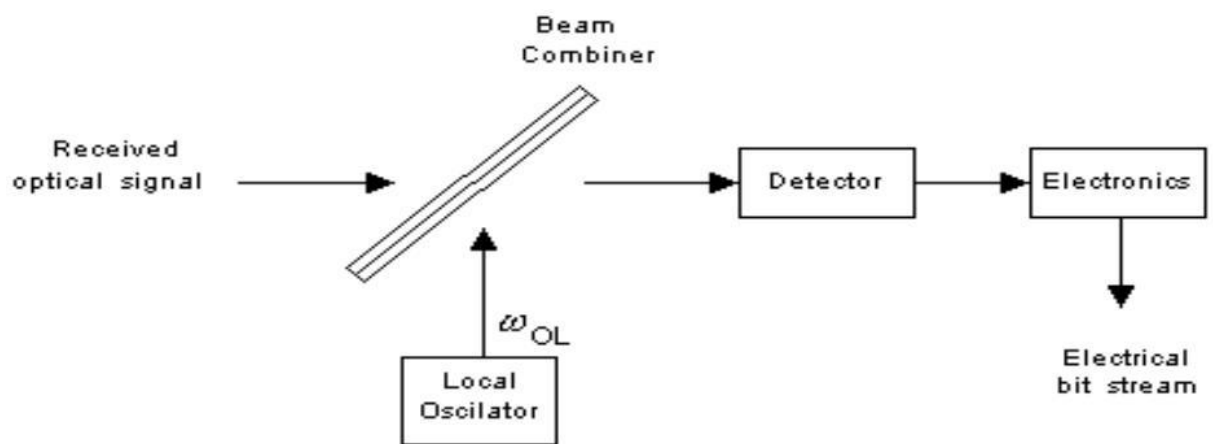
- Tăng khoảng cách trạm lặp cho hệ thống truyền dẫn quang trên đất liền và dưới biển;
- Tăng tốc độ truyền tải quang mà không cần giảm khoảng cách các trạm lặp;
- Tăng quỹ công suất quang dự phòng để bù suy hao tại các bộ coupler và các thiết bị tách/ghép bước sóng;
- Cải thiện độ nhạy thu cho các thiết bị đo quang như: máy OTDR, máy thu quang...

2.3.1 Khái quát về tách sóng Coherent .

Hai loại của cấu trúc bộ thu được sử dụng để tách tín hiệu quang là tách trực tiếp và tách coherent (heterodyne hoặc homodyne).

Trong bộ tách coherent, một sóng dao động nội được cộng với tín hiệu quang thu được và tách sóng quang tổng bởi một bộ tách sóng quang (photodetector). Tín hiệu sau tách sóng quang được xử lý tiếp ở băng tần cơ sở (base band) trong

tách sóng homodyne hoặc ở một tần số trung gian trong tách sóng heterodyne. Điều chỉnh pha và tần số được thực hiện đối với bộ dao động nội (laser). Với công suất sóng quang dao động nội lớn, tín hiệu quang tổng sau bộ cộng đủ mạnh để có tỷ số tín hiệu trên nhiễu quang (OSNR) ở mức yêu cầu. Bộ tách sóng quang (photodetector) thường sử dụng photodiode thác lũ (APD), để có được dòng tín hiệu điện sau tách sóng đủ lớn. Đây cũng là lý do phía thu không yêu cầu bộ tiền khuếch đại có độ lợi cao. Bộ tách coherent có thể được sử dụng cho một số dạng điều chế khác nhau ở phía phát.



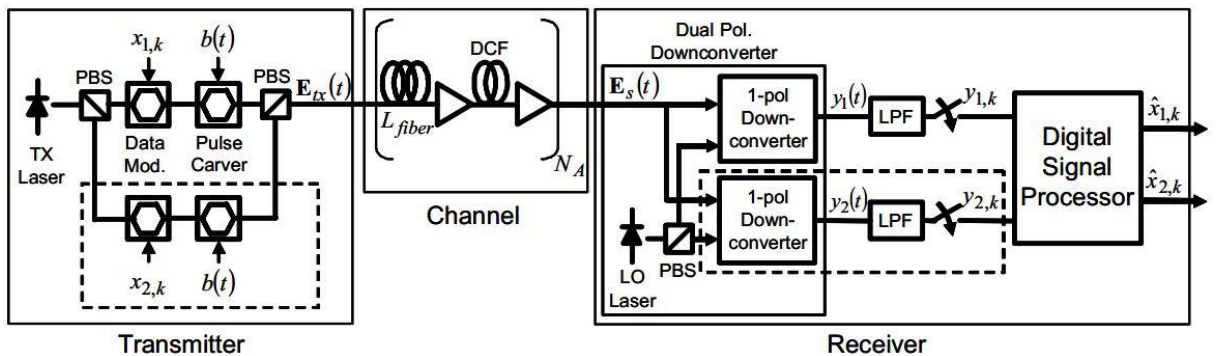
Hình 2.19. Sơ đồ khối cơ bản của bộ tách sóng quang coherent.[16]

Tách sóng coherent có nhiều ưu điểm hơn tách sóng trực tiếp, nhưng lại nhạy cảm với biến động pha cũng như biên độ của sóng quang và yêu cầu khả năng lọc quang siêu hẹp cho hệ thống ghép bước sóng phân chia mật độ cao DWDM. Ưu thế hơn trong tách sóng coherent (độ nhạy tốt hơn – BER thấp hơn với cùng OSNR) là bộ tách homodyne, nhưng phương thức này yêu cầu sử dụng laser có độ rộng phổ hẹp và vòng khóa pha (PLL) chuẩn xác cao, làm cho nó đắt hơn. Các bộ thu coherent có thể sử dụng tách sóng heterodyne hoặc homodyne và có những ưu điểm nổi trội so với tách sóng trực tiếp. Một là, có thể đạt được giới hạn nhiễu bản của bộ thu với một nguồn dao động nội (Local Oscillator - LO) thích hợp do LO cho độ lợi tín hiệu, trong khi nhiễu bản LO lẫn át nhiễu nhiệt của bộ thu. Hai là, độ phân giải tần số ở tần số trung tần (IF) hoặc băng gốc

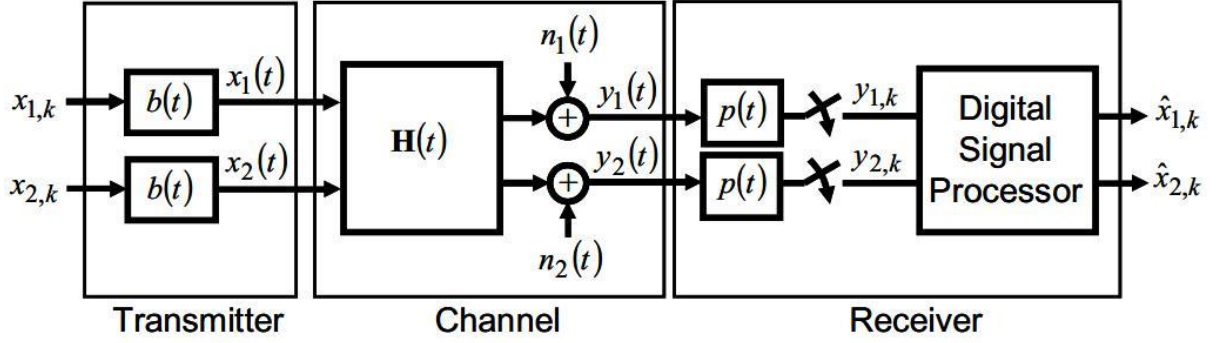
(baseband) cao, cho phép tách ghép bước sóng (trong các hệ thống WDM) theo khoảng đóng ở giai đoạn xử lý tín hiệu điện.

2.3.2 Hệ thống truyền dẫn quang với tách sóng coherent

Phương thức tách sóng tiên tiến coherent cho phép khôi phục trường điện có chứa cả thông tin biên độ và pha. Với ưu thế này, tách sóng coherent có thể phù hợp với các dạng điều chế khác nhau, khi thông tin có thể được mã hóa trong pha hoặc biên độ, hoặc trong các thành phần của sóng mang đồng pha (I) và vuông pha (Q). Tách sóng coherent yêu cầu bộ thu nhận ra pha của sóng mang, khi tín hiệu thu được giải điều chế bởi một LO đảm nhiệm như một tham chiếu pha thuần túy. Thông thường, sự đồng bộ sóng mang được thực hiện bởi một vòng lặp khóa pha (PLL). Các hệ thống quang có thể sử dụng một PLL quang (OPLL) để đồng bộ tần số và pha của laser LO với laser phát (Tx laser) hoặc một PLL điện, mà ở đó tần số và pha của laser LO được điều chỉnh bằng một VCO tương tự hoặc số. Sử dụng một PLL điện có thể trở nên thuận lợi trong các hệ thống song công, khi chỉ một laser được sử dụng cho cả phần phát và phần thu (một laser dùng cho cả Tx và LO). Các PLL rất nhạy với trễ truyền sóng và yêu cầu trễ có thể là khó có thể đáp ứng. Sự ổn định sóng mang Feedforward (FF) sẽ khắc phục vấn đề này. Hơn nữa, khi đồng bộ sử dụng cả hai ký tự hiện tại và tương lai để xác định pha của sóng mang, có thể đạt được PLL có hiệu năng tốt hơn, so với một hệ thống chỉ sử dụng các ký tự hiện tại. Gần đây, DSP đã cho phép căn chỉnh sự phân cực và đồng bộ hóa sóng mang được thực hiện bằng các phần mềm.



Hình 2.20. Hệ thống truyền dẫn coherent.[16]



Hình 2.21. Mô hình toán cho hệ thống truyền dẫn coherent.[16]

Một hệ thống truyền dẫn coherent và mô hình toán học của nó được biểu diễn trên hình 2.20 và 2.21. Ở bộ phát (transmitter), các bộ điều chế Mach-Zehnder (MZ) gắn các ký tự dữ liệu vào một sóng mang quang. Nếu ghép kênh phân cực được sử dụng, sóng quang đầu ra của laser Tx sẽ tách thành hai thành phần phân cực trực giao, nó sẽ được điều chế riêng biệt và được gộp lại tại bộ kết hợp phân cực (PBS). Tín hiệu phát đi được biểu diễn dưới dạng [16]:

$$E_{tx}(t) = \begin{bmatrix} E_{tx,1}(t) \\ E_{tx,2}(t) \end{bmatrix} = \sqrt{P_t} \cdot \sum_k X_k b(t - k \cdot T_s) \cdot e^{j(\omega_s + \theta_s(t))} \quad (2.5)$$

Ở đây, T_s là chu kỳ ký tự, P_t là công suất quang phát đi trung bình, $b(t)$ là dạng xung (NRZ – non return to zero, hoặc RZ – return to zero) với tiêu chuẩn

$\int |b(t)|^2 dt = T_s$, ω_s và $\theta_s(t)$ là tần số và pha của sóng mang quang từ laser Tx,

và $x_k = [x_{1,k}, x_{2,k}]^T$ là một vector phức hợp 2x1 đại diện cho ký tự thứ k được phát đi. Giả định rằng, các ký tự có năng lượng chuẩn hóa: $E[|x_k|^2] = 1$. Cho một kênh truyền dẫn phân cực đơn, có thể thiết lập phương trình không sử dụng phân cực ($x_{2,k}$ trở về 0).

Kênh bao gồm N_A chặng cáp quang, với khuếch đại trên đường truyền và DCF sau mỗi chặng. Bỏ qua sự ảnh hưởng của hiệu ứng phi tuyến, có thể mô hình hóa kênh như một ma trận 2x2 sau:

$$h(t) = \begin{bmatrix} h_{11}(t) & h_{12}(t) \\ h_{21}(t) & h_{22}(t) \end{bmatrix} \leftrightarrow (F) \leftrightarrow \begin{bmatrix} H_{11}(t) & H_{12}(t) \\ H_{21}(t) & H_{22}(t) \end{bmatrix} = H(\omega) \quad (2.6)$$

Ở đây, $h_{ij}(t)$ biểu thị đáp ứng của đầu ra phân cực thứ i tới một xung đưa vào ở đầu vào phân cực thứ j của sợi quang với phân cực tham chiếu ở bộ phát và bộ thu tùy ý. Phương trình trên bao gồm ảnh hưởng của CD, tất cả các bậc của PMD, suy giảm phân cực lệ thuộc (PDL), các ảnh hưởng của lọc quang và số lần lấy mẫu lỗi. Hơn nữa, một hệ thống quang coherent còn bị ảnh hưởng bởi AWGN, gồm sự bức xạ tự phát được khuếch đại từ các bộ khuếch đại trên đường truyền, nhiễu bắn và nhiễu nhiệt của bộ thu. Trong mô hình truyền dẫn chuẩn hóa, mô hình hóa ảnh hưởng của các loại nhiễu được thay bởi một nguồn nhiễu tương đương $n(t) = [n_1(t), n_2(t)]^T$ tham chiếu tới đầu vào của bộ thu.

Trường E ở đầu ra của sợi quang là: $E_s(t) = [E_{s,1}(t), E_{s,2}(t)]^T$ trong đó:

$$E_{tx}(t) = \sqrt{P_r} \cdot \sum_k \sum_{m=1}^2 x_{m,k} \cdot c_{lm}(t - k \cdot T_s) e^{j(\omega_s + \theta_s(t))} + E_{sp,l}(t) \quad (2.7)$$

Với sơ đồ trên hình 2.20, trong đó khuếch đại trên đường truyền có thể bù lại suy giảm trên đường truyền, $P_r = P_t$ là công suất trung bình nhận được, $c_{lm} = b(t) \otimes h_{lm}(t)$ là một dạng xung được chuẩn hóa và $E_{sp,l}$ là nhiễu tự phát được khuếch đại (ASE) trong phân cực thứ l . Giả định có N_A chặng cáp quang và tất cả các bộ khuếch đại trên đường truyền có độ lợi G và ASE như nhau, công suất phổ 2 chiều của $E_{sp,l}(t)$ là $S_{Esp} = N_A \cdot n_{sp} \cdot h \cdot \omega_s (G - 1)/G$ W/Hz

Trường hợp đầu tiên, giả thiết bộ thu coherent sử dụng tách sóng homodyne để khôi phục tín hiệu băng gốc (baseband) được điều chế ở phía phát. Trong một bộ khôi phục số, các đầu ra tương tự được lọc bởi bộ thông thấp (lowpass) và lấy mẫu ở $1/T = M/k \cdot T_s$, ở đây M/k là tỷ số lấy mẫu. Kênh bị suy giảm có thể được bù kỹ thuật số trước khi tách ký tự.

2.3.3 Bộ phát và bộ thu DP-QPSK.

Một bộ phát DP-QPSK gồm 2 bộ điều chế cầu phương và một bộ kết hợp chùm phân cực PBC để ghép kênh 2 đầu ra phân cực trực giao. Ở phía bộ thu, tín hiệu quang thu được tách thành 2 nhánh có phân cực trực giao bởi PBS thứ hai. Cả hai nhánh được trộn tuần tự trong một cấu trúc lai 90° với sóng quang của một giao động nội.

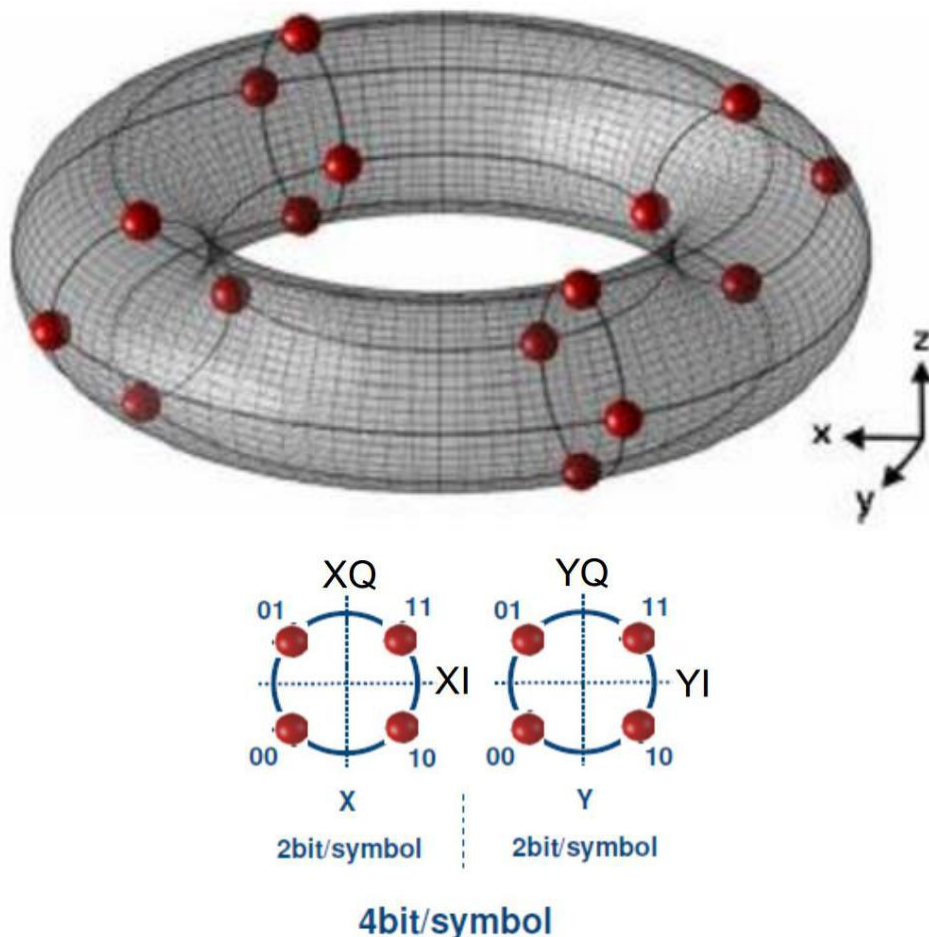
Đầu ra của cấu trúc lai 90° (đồng pha và các thành phần vuông góc của cả hai trạng thái phân cực) được tách với 4 photodiode (cân bằng hoặc đơn cực) và được chuyển đổi sang miền số sử dụng bộ chuyển đổi tương tự - số tốc độ cao (ADC).

Hình (2.22) biểu diễn sơ đồ chòm sao của hệ thống điều chế DP-QPSK, được biểu diễn trong hình không gian siêu cầu phương 4-bit. Hình siêu cầu phương được miêu tả bởi pha quang học (đồng pha và vuông góc) trên mỗi cực (φ_v và φ_h), R và r là bán kính vòng ngoài và vòng trong của đường tròn ($R > r$).

$$x(\varphi_h, \varphi_v) = [R + r \cos(\varphi_v)] \cdot \cos(\varphi_h) \quad (2.8)$$

$$y(\varphi_h, \varphi_v) = [R + r \cos(\varphi_v)] \cdot \sin(\varphi_h) \quad (2.9)$$

$$z(\varphi_h, \varphi_v) = r \cdot \sin(\varphi_v) \quad (2.10)$$



Hình 2.22. Sơ đồ chòm sao của DP-QPSK.

DP-QPSK điều chế 4 bit trên một ký tự, tốc độ ký tự thấp hơn 28 Gbaud là đủ để đạt được tốc độ 112 Gbps, chuyển đổi từ tốc độ dữ liệu 100 Gbps khi thêm vào phần mào đầu mã sửa lỗi FEC xấp xỉ 7% và phần mào đầu Ethernet xấp xỉ 4%.

Tốc độ ký tự thấp hơn cải thiện khả năng suy giảm truyền dẫn tuyến tính do đó cho phép các yêu cầu ít nghiêm ngặt về sự cân bằng điện, cũng như là có thể sử dụng các thành phần điện với bộ lọc có băng thông hẹp hơn. Sự kết hợp của điều chế DP-QPSK và bộ tách coherent cho phép yêu cầu về OSNR gần bằng với lý thuyết.

2.3.4 Truyền dẫn quang 100 Gbps DP-QPSK.

Từ năm 2005, để theo kịp với những yêu cầu phát triển lưu lượng trong các mạng lõi, các hệ thống 10 Gbps đã được nâng cấp lên các kênh 40 Gbps. Khi nhu cầu các hệ thống mạng tiếp tục phát triển nhanh chóng, các hãng thiết bị tiếp tục nghiên cứu các khả năng nâng cấp mạng lên tốc độ cao hơn nữa. Một câu hỏi quan trọng là với sự ra đời của công nghệ 100 Gbps, trong thực tế nó có cho phép nâng cấp từng kênh lên tốc độ 100 Gbps hay không. Điều quan trọng là mạng 40 Gbps liệu có khả năng nâng cấp sử dụng các dạng điều chế tiên tiến như đã giới thiệu, như cách trang bị thêm cho các kênh dữ liệu 40 Gbps khi nâng cấp từ hệ thống 10 Gbps DWDM với các dạng điều chế như ODB (optical duobinary), DPSK và DQPSK đã được phát triển trong các mạng truyền tải.

Một thuộc tính chung của các dạng điều chế là hỗ trợ khoảng cách kênh 50 GHz DWDM. Các dạng điều chế trước 40 Gbps mà không hỗ trợ khoảng cách kênh 50 GHz thì không được phát triển, động cơ chính để phát triển tốc độ đường truyền cao hơn là cải tiến hiệu suất phổ và vì thế đạt dung lượng tối đa trên các hệ thống DWDM và đôi sợi quang. Ở tốc độ 100 Gbps, hiệu suất phổ được cải thiện để đáp ứng sự phát triển lưu lượng của internet và video một lần nữa là yếu tố chính được mong đợi, đồng thời, hỗ trợ khoảng cách kênh 50 GHz vẫn là một đòi hỏi quan trọng. Để tạo điều kiện dễ dàng kết nối, ngưỡng chịu đựng của truyền dẫn đi qua nhiều nút mạng ROADM cũng là cần thiết, khi các kênh sẽ thường

truyền qua một lượng lớn các nút ROADM. Mỗi nút ROADM cho phép mỗi kênh bước sóng được thêm vào, hạ xuống, hoặc đi xuyên qua nút đó, trong miền quang (không chuyển đổi sang tín hiệu điện). Vì thế mỗi nút ROADM như một bộ lọc quang đối với tín hiệu DWDM.

Đối với các kênh 100 GHz, nhiều nghiên cứu quan trọng đã được thực hiện gần đây trên các dạng điều chế tiên tiến như 8-PSK/QAM, 16-QAM hay 32-QAM. Mã hóa hơn 1 bit/ký tự là cần bản để giảm độ rộng phổ của tín hiệu. Ở 100 Gbps, nó cần thiết để mã hóa ít nhất 3 bit/ký tự, làm hẹp phổ tín hiệu đủ để làm việc với các bộ lọc 50 GHz. Điều chế DP-QPSK mã hóa 4 bit/ký tự (điều chế hai nhánh rẽ phân cực trực giao với cả 2 thành phần đồng pha và vuông pha) nhờ vậy, độ rộng phổ của 100 Gbps DP-QPSK là đủ hẹp để sử dụng mạnh mẽ FEC với 20% là phần mã đầu. Mặc dù FEC làm tăng tốc độ đường truyền, tốc độ ký tự và độ rộng phổ của tín hiệu, tín hiệu vẫn có thể truyền qua nhiều tầng 50 GHz ROADM mà vẫn có hiệu năng thỏa đáng. FEC với độ lợi mã hóa (coding gain) cao hơn cho phép nâng cao độ nhạy thu (hạ thấp tỷ số tín hiệu trên nhiễu quang - OSNR) và vì thế cho khoảng cách truyền dài hơn giữa các điểm tái tạo lại quang – điện – quang (OEO), do đó làm giảm chi phí mạng.

Ưu điểm nữa của DP-QPSK là nỗ lực đáng kể trong việc thực hiện các kỳ vọng từ diễn đàn mạng quang OIF. Các thành viên OIF đã hướng tới nghiên cứu rất nhiều các khối phần cứng và giao diện cần thiết để hỗ trợ các kỹ thuật điều chế. OIF bổ xung các điều khoản không bao gồm FEC và DSP, sau khi tách coherent, một trong hai lĩnh vực mở ra sự đổi mới cho các nhà cung cấp thiết bị. Nhờ luật Moore, chức năng to lớn của DSP mà ngày nay đã được tích hợp vào một chip đơn, thậm chí là 100 Gbps. Hơn thế nữa, sử dụng tách sóng coherent, trường E tối đa của tín hiệu có thể đo được trong bộ thu, dẫn đến sự chịu đựng tuyệt vời cho các sự suy giảm tuyến tính, như là tán sắc màu (CD) và tán sắc mode phân cực (PMD). Sự suy giảm này có thể được bù lại trong miền điện, làm cho triển khai các hệ thống 100 Gbps càng khả thi trên các sợi quang đã có.

2.4 Một số vấn đề trong triển khai các hệ thống truyền tải quang 100Gbps.

2.4.1 Các đặc điểm năng lực của truyền dẫn 100 Gbps DP-QPSK.

a. Độ nhạy quang (OSNR).

Coherent DP-QPSK có tỷ số tín hiệu trên nhiễu quang (Optical Signal to Noise Rate - OSNR) cải thiện khoảng 6 dB, so với OOK ở cùng tỷ số lỗi bit (Bit Error Rate - BER) và tốc độ bit giống nhau. 100 Gbps có dung lượng cao hơn gấp 10 lần 10 Gbps, song những phương thức điều chế mới trong 100 Gbps lý tưởng sẽ cải thiện hiệu năng (OSNR) cỡ 10 dB, so với 10 Gbps OOK có cùng độ nhạy.

Mặc dù còn khó khăn để đạt được trong thực tế, song hiệu suất của các hệ thống 100 Gbps cũng có thể được cải thiện bởi sử dụng kỹ thuật SD FEC. Phụ thuộc vào thuật toán, độ phân giải bit mềm và độ dài phần mào đầu được chọn, độ lợi 2-3 dB nữa có thể đạt được với độ dài 7 % mã FEC mở rộng ở phần mào đầu.

Trong các hệ thống 10 Gbps OOK, thường có 1 dB hoặc hơn thế nữa dành cho OSNR để bù ảnh hưởng của CD và PMD. Ưu điểm quan trọng của tách sóng coherent là thông tin pha được xác định trong miền điện, cho phép bù tán sắc trong miền điện (EDC) với việc sử dụng DSP hiệu quả cao để giảm nhẹ lỗi pha với phần dư bù pha rất nhỏ.

Phân tích trên cho thấy, các hệ thống 100 Gbps DP-QPSK với SD FEC và EDC, có thể cải thiện 6 dB với tách sóng coherent, cải thiện 2-3 dB nhờ SD FEC và cải thiện 1-2 dB nhờ làm giảm ảnh hưởng của CD và PMD. Kết quả này cải thiện tổng cộng là 9-11 dB, đến gần độ nhạy của hệ thống 10 Gbps OOK. Điều này cho phép phát triển các hệ thống 100 Gbps DP-QPSK thay thế các hệ thống 10 Gbps OOK mà không cần thay đổi hạ tầng mạng cáp quang.

b. Dung sai lọc quang.

Với tốc độ ký tự 10 Gbaud/s, các kênh 10 Gbps OOK có độ rộng phổ hẹp hơn các bộ lọc kênh 50 GHz được sử dụng trong các hệ thống DWDM. Điều này cung cấp dung sai tuyệt vời cho các tầng ROADMs, với lượng bù ít ỏi sau truyền

tải. Trong khi đó, để đảm bảo dung sai tốt cho ROADMs ở 100 Gbps, đòi hỏi tốc độ ký tự thấp vừa đủ, vì độ rộng phổ của tín hiệu tỷ lệ với tốc độ ký tự.

Các hệ thống 100 Gbps DP-QPSK (tốc độ ký tự xấp xỉ 25 Gbaud/s) có ưu điểm là giảm tốc độ truyền. Một tín hiệu 100 Gbps DP-QPSK có thể truyền qua bộ lọc băng thông dưới 30 GHz, tốt hơn đáng kể so với tách sóng trực tiếp DQPSK và OOK. Điều này cho phép dung sai của các bộ lọc đủ lớn để triển khai với một lượng lớn các nút ROADM.

Sử dụng mã hóa bậc cao hơn (mPSK), dẫn tới làm giảm hiệu năng OSNR, là không cần thiết. Giảm tốc độ ký tự có các ưu điểm là dễ dàng thực hiện với một chip bán dẫn metal oxide và giảm băng thông yêu cầu cho các thành phần điện, quang. Tuy nhiên, sử dụng các mức điều chế (m) cao hơn để làm thấp hơn nữa tốc độ ký tự sẽ dẫn đến các yêu cầu nghiêm ngặt hơn đối với tín hiệu và độ rộng phổ của laser dao động nội. Tất cả những điều này phải được chú ý khi lựa chọn mức điều chế.

c. Dung sai tán sắc màu.

Với việc EDC ở bên trong modem chip, CD có thể được bù mà không cần các bộ bù tán sắc hiệu chỉnh quang học. Lượng CD có thể được bù bên trong chip là một hàm số của số các khóa (chiều dài đáp ứng xung) trong đáp ứng xung hữu hạn (FIR) đưa vào bộ lọc và thời gian trễ của mỗi khóa.

Các hệ thống 10 Gbps DWDM chủ yếu sử dụng sợi quang bù tán sắc (DCF) được triển khai trên toàn mạng để hạn chế ảnh hưởng của CD ở bộ thu của 10 Gbps OOK, thông thường trong khoảng ± 400 ps/nm đối với các hệ thống đường dài.

Các hệ thống 100 Gbps DP-QPSK EDC khá dễ dàng đáp ứng dải này với một số lượng nhỏ các khóa. Tuy nhiên, nếu hệ thống được triển khai không phải với DCF, nó có thể cải thiện đáng kể hiệu năng. Thông thường có một ống nhỏ DCF gắn trong một modul bù tán sắc DCM, được lắp đặt với mỗi bộ khuếch đại quang. DCF là sợi quang đặc biệt với CD rộng hơn sợi truyền dẫn và có dấu ngược lại. Loại sợi quang này có suy hao cao hơn trên mỗi đơn vị chiều dài và

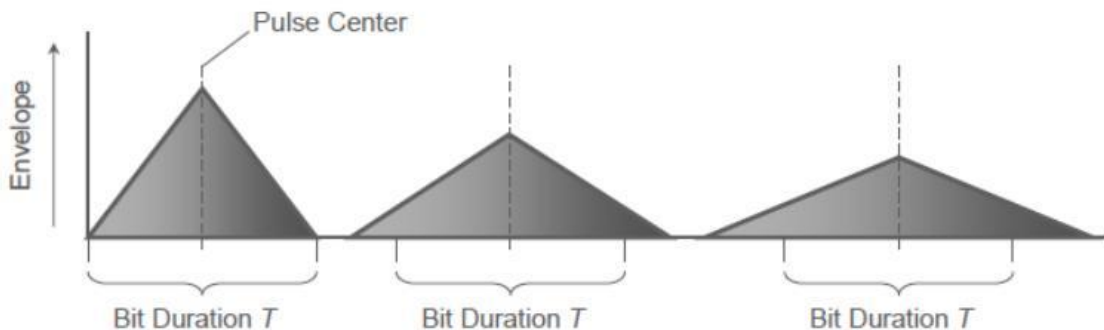
đường kính lõi nhỏ hơn. Do vậy, hệ thống có DCF thêm vào từng bộ khuếch đại quang sẽ cho lượng bù phù hợp, từ đó đảm bảo tác động phi tuyến trong phạm vi bù tán sắc rộng hơn, sẽ tốt hơn một hệ thống triển khai với DCF.

Mỗi DCM chỉ cần phù hợp với chiều dài và loại sợi quang truyền tải trong đoạn trước đó, như vậy, lắp đặt và bảo dưỡng các hệ thống sợi quang cũng trở nên đơn giản. Đồng thời, các nhà mạng cũng quan tâm đến việc giảm độ trễ trong mạng của họ để cải thiện hiệu năng độ nhạy trễ của các ứng dụng viễn thông, như là trò chơi trực tuyến và mạng lưu trữ dữ liệu.

Với các lý do này, các nhà mạng muốn loại bỏ DCF cho các mạng truyền tải thế hệ sau. Việc bỏ DCF sẽ làm tăng đáng kể khả năng chống chịu tán sắc cần thiết (đặc biệt đối với sợi quang chuẩn đơn mode SSMF G652) và độ phức tạp của EDC, khi một số lượng lớn các khóa được yêu cầu trong FIR nhằm đáp ứng đòi hỏi về khả năng chịu tán sắc. EDC phức tạp hơn làm tăng độ phức tạp số công chip, làm tăng công suất tiêu thụ của chip và giảm hiệu quả.

d. Dung sai tán sắc phân cực mode.

EDC cũng có thể bù PMD, bỏ qua các bộ bù PMD quang. Số lượng các khóa cần để bù PMD là tương đối nhỏ, khi sự biến dạng năng lượng xung từ PMD chỉ có thể tràn ra một vài khe thời gian liền kề.



Hình 2.23. Ảnh hưởng của tán sắc đến độ rộng xung.

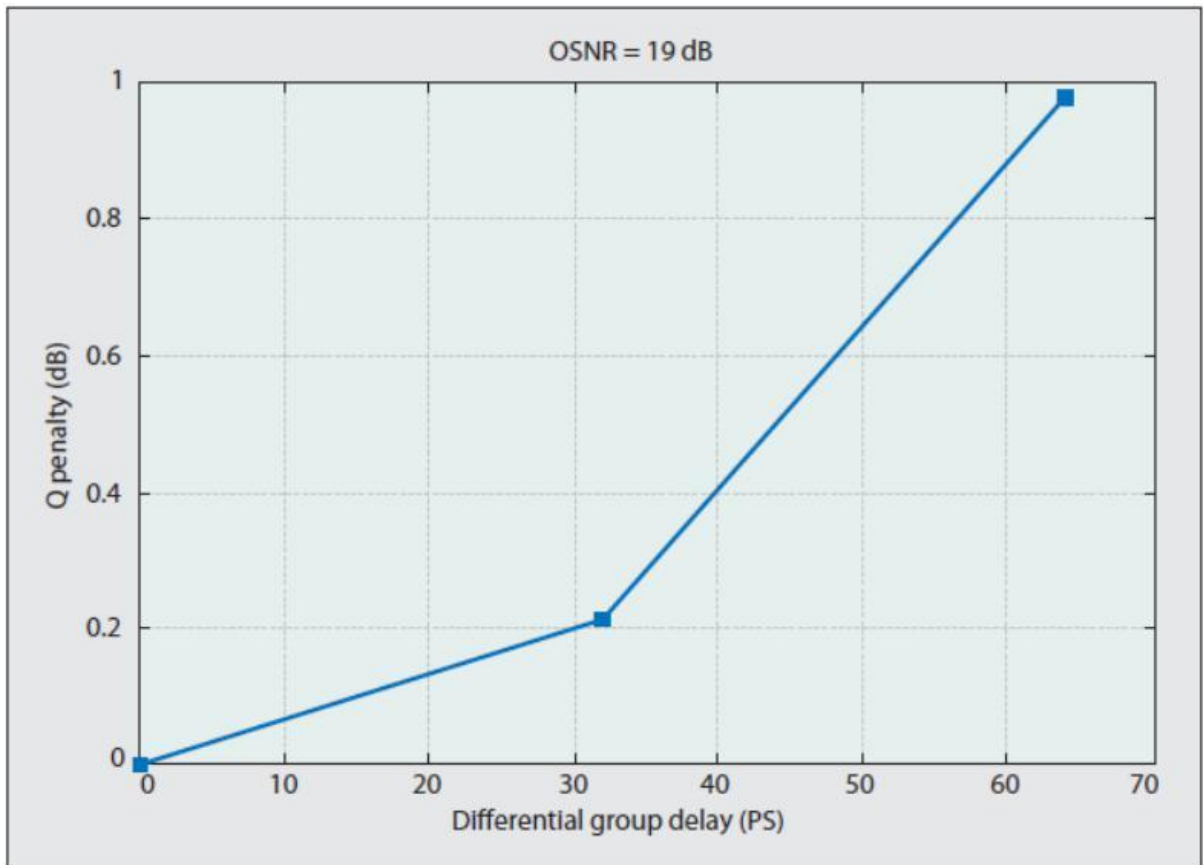
Một thông số quan trọng của khối bù PMD là nó phải hoạt động đủ nhanh để phát hiện ra phân cực động mà có thể xảy ra trong các mạng. Điều này tương phản với sự bù CD, nó tĩnh hơn, thay đổi rất chậm và bởi một lượng nhỏ do biến thiên nhiệt độ sợi quang. Hiện đã có các thuật toán bù PMD có thể xử lý rất nhanh sự thay đổi trạng thái phân cực nhận được hoặc giá trị tức thời của PMD do hệ số khóa được cập nhật ở tần số clock của DSP.

2.4.2 Nâng cấp hệ thống truyền dẫn lên tốc độ 100 Gbps

Ứng dụng các bộ thu số coherent có thể không hoàn toàn dễ dàng vì độ phức tạp của bộ phát và bộ thu thường cao hơn so với các dạng điều/chế tách sóng trực tiếp, chẳng hạn như các hệ thống 43 Gbps DPSK hoặc thậm chí là 43 Gbps DQPSK.

Tuy nhiên, nhìn tổng thể về ưu thế và độ phức tạp của hệ thống, các ưu điểm của điều chế DP-QPSK với bộ thu số coherent là rõ ràng hơn. Để nâng cấp các đường truyền dẫn hiện có lên tốc độ 111 Gbps, dạng điều chế có thể phải đối mặt với nhiều nguyên nhân gây ra suy giảm truyền tải bởi thiết bị hiện có. Các nguyên nhân này bao gồm truyền dẫn trên sợi quang PMD cao, các module bù tán sắc đã lắp đặt, giống như là DCF hoặc FBGs, cũng như là giới hạn băng thông quang qua tầng lọc trong các khối kết nối chéo (cross-connect - PXC) quang.

Ở tốc độ 111 Gbps, phổ quang của điều chế DQPSK quá rộng để phù hợp với lưới kênh 50 GHz, làm nó không thích hợp với hầu hết các hệ thống truyền dẫn trước đây. Điều chế 111 Gbps DP-QPSK kết hợp với bộ thu số coherent có thể bù tán sắc, có khả năng lọc méo quang tốt hơn bởi các tầng PXC trên lưới kênh 50 GHz. Điều này cho phép các đường truyền dẫn, thậm chí không thể hỗ trợ tốc độ 43 Gbps sử dụng các bộ thu tách sóng trực tiếp, vẫn có thể nâng cấp lên tốc độ 111 Gbps sử dụng DP-QPSK với bộ thu coherent số. Hình 2.24 biểu thị sự ảnh hưởng của PMD đối với hệ thống 100 Gbps.



Hình 2.24. Khả năng chống chịu PMD của hệ thống 100 Gbps DP-QPSK.

Triển khai kênh DP-QPSK 100 Gbps cần đặc biệt chú ý đến ảnh hưởng với các kênh truyền có định dạng điều chế khác trong cùng hệ thống WDM. Ví dụ, khi tín hiệu 111 Gbps DP-QPSK truyền kết hợp với các kênh 10 Gbps OOK ở khoảng cách kênh 50 GHz, nhiễu phi tuyến có thể giảm xuống 4 dB, nhưng phụ thuộc vào khoảng cách kênh.

Sự kết hợp điều chế giữa 10 Gbps OOK và DP-QPSK có thể dẫn tới đòi hỏi khắt khe giới hạn truyền dẫn phi tuyến trên khoảng cách xa. Tuy nhiên, đòi hỏi này có thể bớt khắt khe hơn nhờ tối ưu công suất kênh tương ứng hoặc nhờ xử lý phổ quang riêng biệt của các kênh 40 Gbps/100 Gbps được phát triển từ các kênh 10 Gbps.

2.4.3 Sự phức tạp của bộ thu tách sóng coherent số

So với các bộ thu tách sóng trực tiếp, bộ thu tách sóng coherent kết hợp với DSP đã làm thay đổi quan trọng mức độ phức tạp của hệ thống, từ đường truyền tải đến bộ phát, bộ thu. Đặc biệt, các thành phần quang học trong bộ phát và bộ thu

DP-QPSK có độ phức tạp cao hơn nhiều so với các dạng điều chế tách/sóng trực tiếp thông thường.

Sự tích hợp quang học có thể là một khuynh hướng đầy hứa hẹn để giảm việc theo vết (footprint), nguồn tiêu thụ và cải thiện các đặc tính quang học. Ví dụ, một điều chế đơn DP-QPSK Mach-Zehnder ở bộ phát hoặc một mảng photo-diode vuông tích hợp được kết hợp với một cấu trúc lai 90° ở bộ thu là khuynh hướng hiệu quả về sự tích hợp quang học.

Không chỉ phức tạp hơn trong miền quang, các cấu kiện điện tử trong miền điện của các bộ thu coherent cũng phức tạp hơn, đặc biệt các ADC, một thành phần quan trọng trong các bộ thu coherent số. Điều kiện lý tưởng, tín hiệu quang được chuyển đổi sang miền điện sử dụng 2 lần lấy mẫu, dẫn tới yêu cầu ADC lấy mẫu xấp xỉ 60 tỷ lần trong một giây (60 Gsample/s) ở bộ thu coherent 100Gbps.

Thiết kế ADC 60 Gsample/s cho phép băng thông điện lớn hơn 18 GHz, mang lại độ phân giải dọc của ít nhất 4 bit và công suất tiêu thụ chỉ một vài Watt thực sự là một thách thức và đòi hỏi kỹ thuật trộn tín hiệu tiên tiến. Điều này cũng đúng cho các bộ thu DSP, nó có thể gồm từ 40 đến 100 triệu cổng và vì thế đòi hỏi các xử lý CMOS 40 nm hoặc 65 nm tiên tiến. Hơn nữa, để giới hạn công suất tiêu thụ liên quan tới giao tiếp liên chip ở cả hai khối ADC và DSP thì cách tốt nhất là tích hợp vào một chip đơn.

Cuối cùng, một yếu tố quan trọng cho truyền tải 100 Gbps là phương thức thực hiện mã hóa và giải mã hóa FEC tiên tiến. Tốc độ ký tự 25 Gbaud/s cho phép thêm vào 20% độ dài mã đầu cho FEC mà không ảnh hưởng tới khả năng truyền qua các bộ lọc quang. Sử dụng các mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (LDPC) với độ dài xấp xỉ 20% phần mã đầu kết hợp với giải mã mềm (soft-decision) làm tăng độ lợi giải mã lên tới 11 dB ở BER là 10^{-15} , cải thiện 2-3 dB độ lợi giải mã so với các mã FEC được sử dụng ngày nay ở tốc độ 43 Gbps.

2.5 Tổng kết chương 2.

Trong chương này đã tập trung nghiên cứu các kỹ thuật chủ chốt trong công nghệ truyền tải 100 Gbps như: Kỹ thuật điều chế, kỹ thuật sửa lỗi, kỹ thuật tách sóng ...

Kỹ thuật điều chế DP-QPSK điều chế 4bit trên một ký tự, như vậy kỹ thuật điều chế này đã làm tăng gấp đôi hiệu suất phổ so với điều chế QPSK, nghĩa là tăng gấp đôi tốc độ bit trong khi sử dụng cùng một băng tần. Đây là kỹ thuật được sử dụng trong hệ thống truyền tải 100 Gbps.

Kỹ thuật sửa lỗi (FEC – Forward Error Correction) là một kỹ thuật không thể thiếu trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao, được áp dụng ở giai đoạn trước khi truyền thông tin và sau khi nhận được thông tin tốc độ bit là 100 Gbps.

Như vậy, chương 2 đã cho chúng ta thấy được rằng công nghệ truyền tải 100 Gbps cần có một kỹ thuật điều chế và sửa lỗi tốt hơn. Đó chính là kỹ thuật điều chế DP-QPSK và kỹ thuật sửa lỗi SD-FEC. Cùng với kỹ thuật tách sóng coherent các kỹ thuật này cho phép triển khai rộng rãi các hệ thống truyền tải quang 100 Gbps trong thực tế.

CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG TRUYỀN TẢI QUANG 100 GBPS TẠI VNPT HẢI DƯƠNG.

Chương này có nội dung ứng dụng, khai thác các hệ thống truyền dẫn quang ở một VNPT cấp tỉnh. Đầu chương là phần giới thiệu khái quát về mạng viễn thông do VNPT Hải Dương quản lý và khai thác. Phần thứ hai có nội dung về các hệ thống truyền tải quang nói chung, tập trung cho các hệ thống 100 Gbps tại VNPT Hải Dương. Phần tiếp theo trình bày về khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách truyền dẫn đến hiệu năng hệ thống truyền tải 100 Gbps. Phần cuối là tổng kết chương.

3.1 Mạng viễn thông của VNPT Hải Dương

VNPT Hải Dương là một trong những nhà cung cấp dịch vụ Viễn thông– Công nghệ thông tin lớn nhất trên địa bàn tỉnh Hải Dương. Để cung cấp được dịch vụ trên toàn tỉnh, mạng viễn thông của VNPT Hải Dương được xây dựng đến từng khu dân cư trong toàn tỉnh để cung cấp các dịch vụ, bao gồm:

- Dịch vụ Internet cáp quang FiberVNN.
- Dịch vụ di động Vinaphone (2G, 3G, 4G).
- Dịch vụ truyền hình MyTV (IPTV)
- Cho thuê kênh truyền tải VPN (Virtual Private Network), các đường truyền số liệu chuyên dùng kết nối từ các cơ quan chính từ tỉnh về các huyện, thành phố thuộc tỉnh, xã, phường.

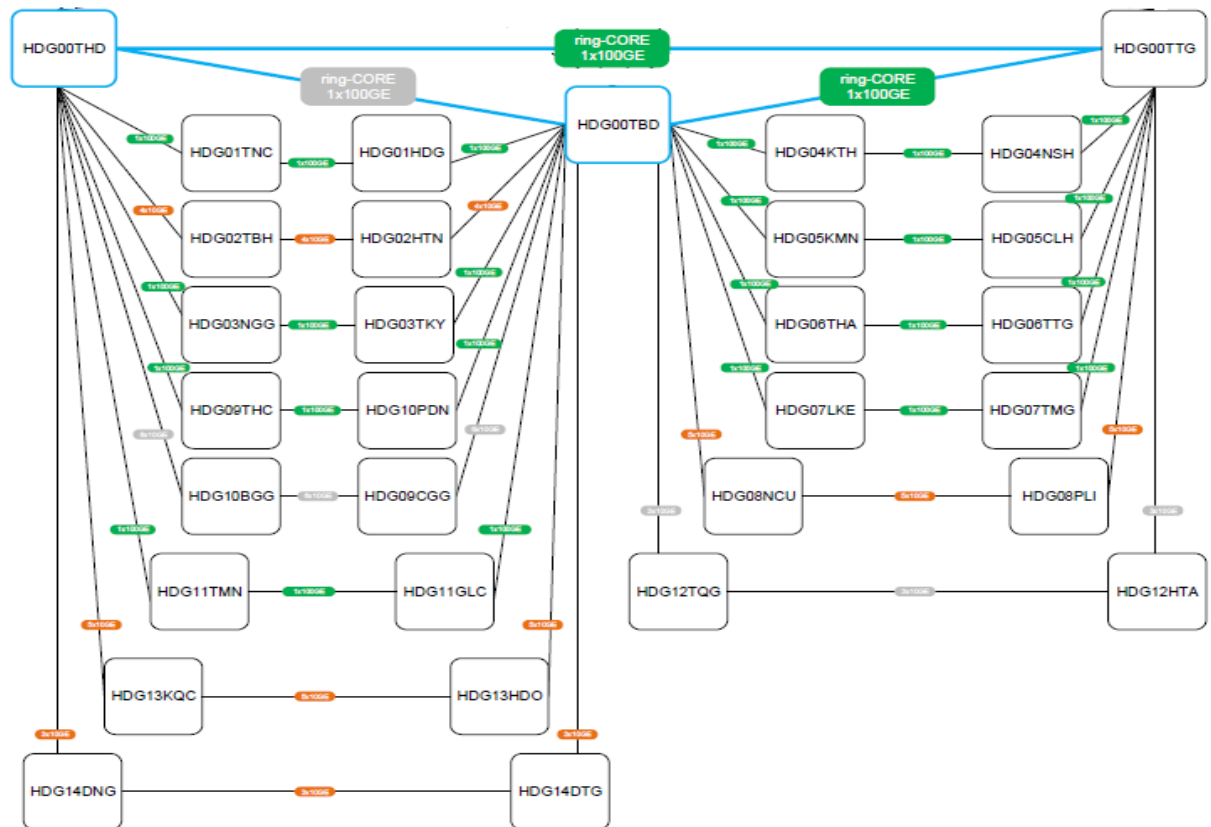
Để cung cấp được các dịch vụ, rất nhiều thiết bị viễn thông đã được lắp đặt, vận hành trong mạng của VNPT Hải Dương, trong đó có các thiết bị chủ chốt như:

- Thiết bị chuyên mạch, SDH: Gồm 6 trạm chính và 18 nút SDH, 2 tổng đài Vệ tinh E10. Các thiết bị này chủ yếu dùng để cung cấp kết nối cho hệ thống BTS (2G).
- Thiết bị IP: Gồm 3 bộ tập hợp AGG (Aggregation)-MX2020, 28 bộ định tuyến UPE-MX960, 28 Switch gom, 242 Switch access, 141 OLT, 32 MxU.

Các thiết bị này dùng để cung cấp các dịch vụ Internet, truyền hình MyTV, mạng riêng ảo (VPN).

- Thiết bị Vô tuyến: 3 BSC, 282 BTS, 391 NodeB, 389 eNodeB. Các thiết bị này dùng để cung cấp dịch vụ di động.

Ngoài ra, VNPT Hải Dương còn khai thác 03 BNG (BRAS), 02 PE đặt tại Công ty VTN, để cung cấp các dịch vụ Internet, VPN, Di động.



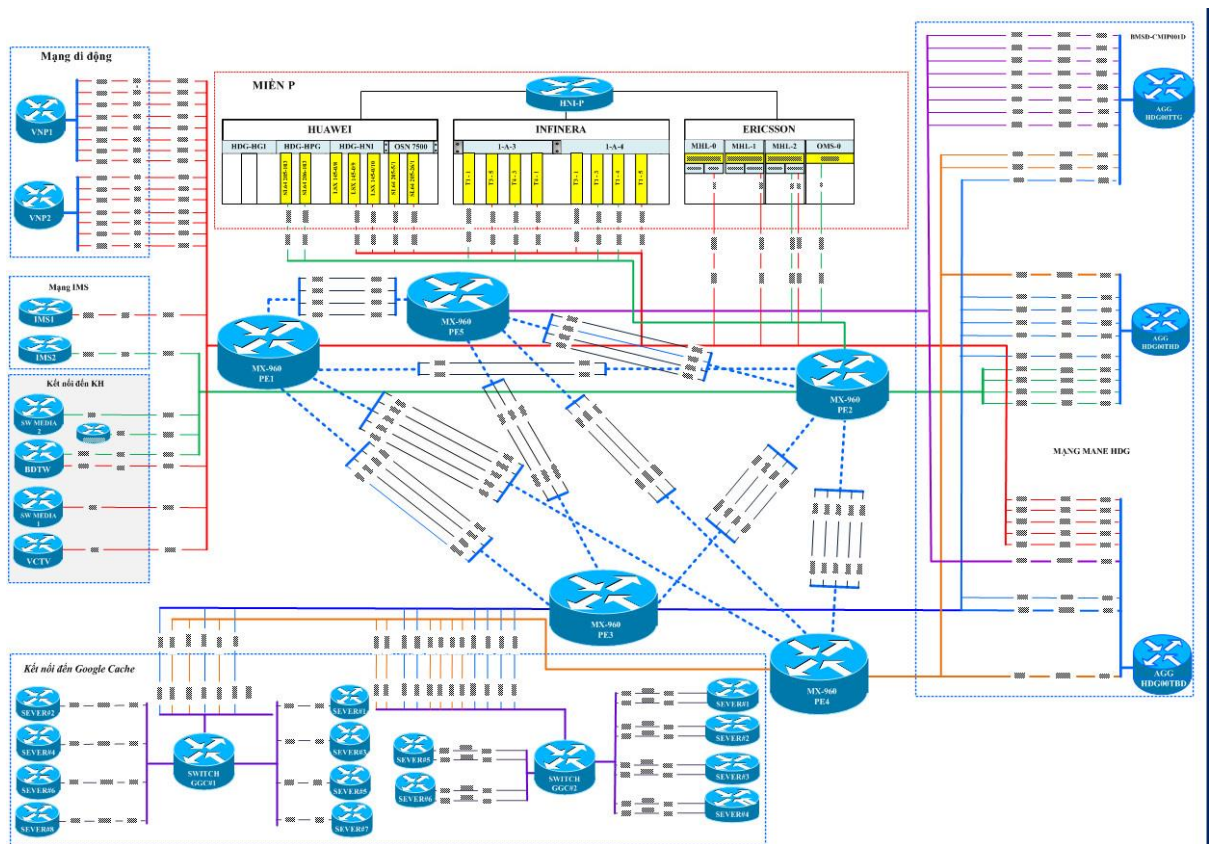
Hình 3.1. Sơ đồ kết nối AGG – UPE – UPE – AGG tại VNPT Hải Dương.

Mạng truyền tải của VNPT Hải Dương bao gồm 3 AGG và 28 UPE được tổ chức thành các RING trong đó gồm 1 RING CORE và 14 RING ACCESS.

Mạng truyền tải 100 Gbps của VNPT Hải Dương sử dụng các thiết bị của Juniper. Thiết bị mạng Core sử dụng MX2020, thiết bị mạng Access sử dụng MX960. Để bảo đảm dung lượng truyền tải, phạm vi phục vụ và độ an toàn kết nối trên toàn tỉnh các nút mạng được lắp đặt tại các địa bàn và thiết lập các ring core và ring access theo như sơ đồ hình 3.1.

3.2. Ứng dụng hệ thống truyền tải 100 Gbps tại VNPT Hải Dương.

Với yêu cầu cần có một mạng truyền tải đáp ứng được cho các dịch vụ băng thông rộng (3G, 4G, Internet, truyền hình...), VNPT đã và đang triển khai hệ thống truyền tải quang 100 Gbps. Tại VNPT Hải Dương các hệ thống truyền tải quang 100 Gbps được triển khai ở cả 2 lớp mạng, Lõi và Truy nhập (Core and Access). Các tuyến kết nối để truyền tải giữa các nút mạng ở mạng vòng lõi (Core Ring) và 14 mạng vòng Truy nhập (Access Ring), trải rộng khắp toàn tỉnh.



Hình 3.2. Sơ đồ kết nối các AGG tới các thiết bị PE, BNG tại miền VN2.

3.2.1 Thiết bị Juniper MX2020 và MX960 tại VNPT Hải Dương.

3.2.1.1. Thiết bị MX2020.

Bộ định tuyến MX2020 là bộ định tuyến dung lượng cao nhất trong họ MX của Juniper. Nó cung cấp 80 Tbps dung lượng hệ thống và hỗ trợ lên đến 800 giao

diện 100 GbE, 320 giao diện 200 GbE hoặc 160 giao diện 400 GbE trong một khung duy nhất khi được sử dụng dòng Modular Port Concentrator 11E (MPC11E).

Với khả năng định tuyến và chuyển mạch dung lượng lớn, dòng thiết bị MX 2020 thường được thiết kế đặt tại các nút quan trọng trong mạng truyền tải để thu gom lưu lượng các dịch vụ.

MX2020 cung cấp mức độ sẵn sàng mạng cao nhất và một tập hợp toàn diện các tính năng phục hồi bao gồm dự phòng vài $N + 1$, dự phòng mặt phẳng điều khiển, dự phòng nguồn cấp $N + N$ và dự phòng mô-đun nguồn cấp $N + 1$.



Hình 3.3. Thiết bị MX2020 của Juniper.

3.2.1.2. Thiết bị MX960.

MXC960 với khả năng định tuyến và chuyển mạch dung lượng lớn, MX 960 thường được thiết kế để thu gom lưu lượng từ mạng truy nhập trên một vùng và chuyển đến mạng lõi.

Khung MX960 cung cấp khả năng dự phòng và khả năng phục hồi. Hệ thống phần cứng đầy đủ dự phòng, bao gồm bộ nguồn, khay quạt, bộ tuyến và bảng điều khiển chuyển mạch.

Bộ định tuyến MX960 có thể được xếp chồng lên nhau trong một giá đỡ từ trần đến sàn để tăng mật độ cổng trên một đơn vị diện tích sàn. Bộ định tuyến cung cấp 14 khe cắm có thể chứa 11 hoặc 12 bộ tập trung cổng (DPC) hoặc bộ tập trung cổng mô-đun (MPC), sáu bộ tập trung PIC linh hoạt (FPC) và hai bảng điều khiển chuyển mạch (SCB) trong cấu hình không dự phòng.

Được trang bị đầy đủ các giao diện kết nối, bộ định tuyến MX960 cung cấp băng thông kết nối tổng hợp lên đến 10,56 Tbps, với các giao diện kết nối 10 GbE và 100 GbE.



Hình 3.4. Thiết bị MX960 của Juniper.



Hình 3.5. Modul quang 100 Gbps loại CFP2-100G-ER4-D.

Part Number	740-059312
Speed	100 Gigabit Ethernet
Breakout Capable	No
Transceiver Type	CFP2
Product Type	Optical Transceiver
Connector	Duplex LC
Monitoring Available	Yes
Standards compliance (Ethernet/OTN Standard, for e.g. 100GBASE)	IEEE 802.3ba-2010
Transmitter wavelengths (range)	1294.53 nm through 1296.59 nm 1299.02 nm through 1301.09 nm 1303.54 nm through 1305.63 nm 1308.09 nm through 1310.19 nm
Transmitter output power, each lane (minimum)	-2.9 dBm
Transmitter output power, each lane (maximum)	2.9 dBm
Receiver input power, each lane (minimum)	-20.9 dBm
Receiver input power, each lane (maximum)	4.5 dBm
Cable type	SMF
Distance	40 km
Operating Temperature (range)	0° C to 70° C
Storage temperature	-40° C to 85° C

Bảng 3.1. Thông số Modul quang 100 Gbps loại CFP2-100G-ER4-D.

3.2.1.3. Cấu hình và hiển thị thông số MX2020.

Cấu hình port et-0/1/0 tốc độ 100 Gbps từ nút TBD đến nút THD.

Set up ae10

```
set interfaces ae10 description HDG00TBD_ae10:HDG00THD_ae10
set interfaces ae10 mtu 9192
set interfaces ae10 aggregated-ether-options link-speed 100g set interfaces ae10
aggregated-ether-options lacp active
set interfaces ae10 unit 0 description "*** Connect to HDG00THD-AE10"
set interfaces ae10 unit 0 family inet policer arp POLICER_ARP_30K_UPLINK
set interfaces ae10 unit 0 family inet address 10.34.0.2/30
set interfaces ae10 unit 0 family iso
set interfaces ae10 unit 0 family mpls maximum-labels 5.
```

Set up et-0/1/0 vào ae10:

```
set interfaces et-0/1/0 description HDG00TBD_et-0/1/0:HDG00THD_et-0/1/0
set interfaces et-0/1/0 hold-time up 60000
set interfaces et-0/1/0 hold-time down 0
set interfaces et-0/1/0 gigether-options no-auto-negotiation
set interfaces et-0/1/0 gigether-options 802.3ad ae10.
```

Hiển thị thông số vật lý Modul quang cổng et-0/1/0:

```
thuvq.hdg@MX2020-HDG00TBD_RE0> show interfaces diagnostics optics et-0/1/0
Physical interface: et-0/1/0.
Module temperature : 39 degrees C / 102 degrees F
Module voltage : 3.3120 V
Module temperature high alarm : Off
Module temperature low alarm : Off
Module temperature high warning : Off
Module temperature low warning : Off
Module voltage high alarm : Off
Module voltage low alarm : Off
Module voltage high warning : Off
Module voltage low warning : Off
Module not ready alarm : Off
Module low power alarm : Off
Module initialization incomplete alarm : Off
Module fault alarm : Off
PLD Flash initialization fault alarm : Off
```

Power supply fault alarm : Off
 Checksum fault alarm : Off
 Tx laser disabled alarm : Off
 Tx loss of signal functionality alarm : Off
 Tx CDR loss of lock alarm : Off
 Rx loss of signal alarm : Off
 Rx CDR loss of lock alarm : Off
 Module temperature high alarm threshold : 74 degrees C / 165 degrees F
 Module temperature low alarm threshold : -4 degrees C / 25 degrees F
 Module temperature high warning threshold : 70 degrees C / 158 degrees F
 Module temperature low warning threshold : 0 degrees C / 32 degrees F
 Module voltage high alarm threshold : 3.5490 V
 Module voltage low alarm threshold : 3.0490 V
 Module voltage high warning threshold : 3.4500 V
 Module voltage low warning threshold : 3.1500 V
 Laser bias current high alarm threshold : 325.000 mA
 Laser bias current low alarm threshold : 75.000 mA
 Laser bias current high warning threshold : 300.000 mA
 Laser bias current low warning threshold : 100.000 mA
 Laser output power high alarm threshold : 1.9490 mW / 2.90 dBm
 Laser output power low alarm threshold : 0.5620 mW / -2.50 dBm
 Laser output power high warning threshold : 1.7370 mW / 2.40 dBm
 Laser output power low warning threshold : 0.6300 mW / -2.01 dBm
 Laser rx power high alarm threshold : 3.5481 mW / 5.50 dBm
 Laser rx power low alarm threshold : 0.0041 mW / -23.87 dBm
 Laser rx power high warning threshold : 2.8184 mW / 4.50 dBm
 Laser rx power low warning threshold : 0.0081 mW / -20.92 dBm
 Laser temperature high alarm threshold : 70 degrees C / 158 degrees F
 Laser temperature low alarm threshold : 30 degrees C / 86 degrees F
 Laser temperature high warning threshold : 65 degrees C / 149 degrees F
 Laser temperature low warning threshold : 35 degrees C / 95 degrees F

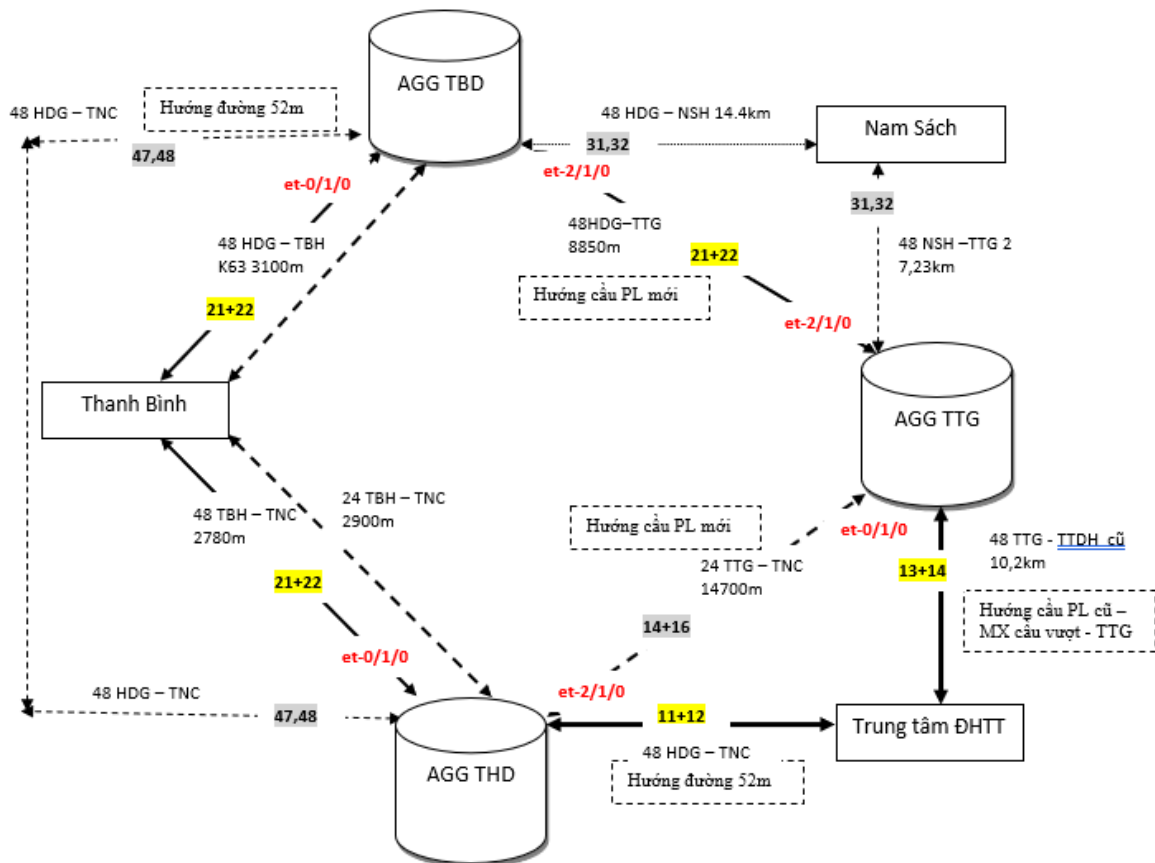
Lane 0

Laser bias current : 243.945 mA
 Laser output power : 1.277 mW / 1.06 dBm
 Laser temperature : 54 degrees C / 129 degrees F
 Laser receiver power : 0.310 mW / -5.08 dBm
 Laser bias current high alarm : Off
 Laser bias current low alarm : Off
 Laser bias current high warning : Off
 Laser bias current low warning : Off
 Laser output power high alarm : Off
 Laser output power low alarm : Off
 Laser output power high warning : Off
 Laser output power low warning : Off
 Laser temperature high alarm : Off
 Laser temperature low alarm : Off
 Laser temperature high warning : Off

Laser temperature low warning : Off
 Laser receiver power high alarm : Off
 Laser receiver power low alarm : Off
 Laser receiver power high warning : Off
 Laser receiver power low warning : Off
 Tx loss of signal functionality alarm : Off
 Tx CDR loss of lock alarm : Off
 Rx loss of signal alarm : Off
 Rx CDR loss of lock alarm : Off
 APD supply fault alarm : Off
 TEC fault alarm : Off
 Wavelength unlocked alarm : Off

3.2.2. Cấu trúc mạng truyền tải 100Gbps tại VNPT Hải Dương

3.2.2.1 Mạng vòng lõi (Core Ring):



Hình 3.6. Sơ đồ mạng Core Ring VNPT Hải Dương.

Core Ring MANE Hải Dương được tạo bởi 3 thiết bị đóng vai trò là AGG trên mạng, bao gồm: AGG TBD (Nút AGG đặt tại Trung tâm), AGG THD (Nút AGG đặt tại trạm Tây Nam Cường) và AGG TTG (Nút AGG đặt tại trạm Tiên

trung). Thiết bị sử dụng tại 3 AGG này là Juniper MX2020 chạy hệ điều hành Juniper phiên bản Junos 17.3R3-S7.2.

Các thiết bị MX2020 này được đặt tại 3 vị trí khác nhau trong tỉnh, để đảm bảo thuận lợi về mặt kết nối tới miền VN2 và phòng tránh thảm họa động đất.

+ Kết nối từ AGG TBD (Trung tâm) đi AGG THD (Tây Nam Cường):

- Giao diện vật lý sử dụng: et-0/1/0 tại AGG TBD kết nối tới et-0/1/0 tại AGG THD.
- Tốc độ truyền tải 100 Gbps
- Modul quang sử dụng loại : CFP2-100G-ER4-D
- Từ AGG TBD đến AGG THD sử dụng 02 tuyến quang độc lập nhằm mục đích dự phòng khi có sự cố về cáp :
 - Tuyến 1 : Tuyến trực tiếp từ AGG TBD đến AGG THD, chạy trên cáp 48 TBD-THD, tuyến này được sử dụng làm hướng chính.
 - Tuyến 2 : Tuyến từ AGG TBD đến trạm trung gian Thanh Bình (cáp 48 HDG-TBH) và từ trạm Thanh Bình về AGG THD theo cáp 24 TBD-TNC. Tuyến này được sử dụng dự phòng, khai thác khi có sự cố cáp hướng chính.

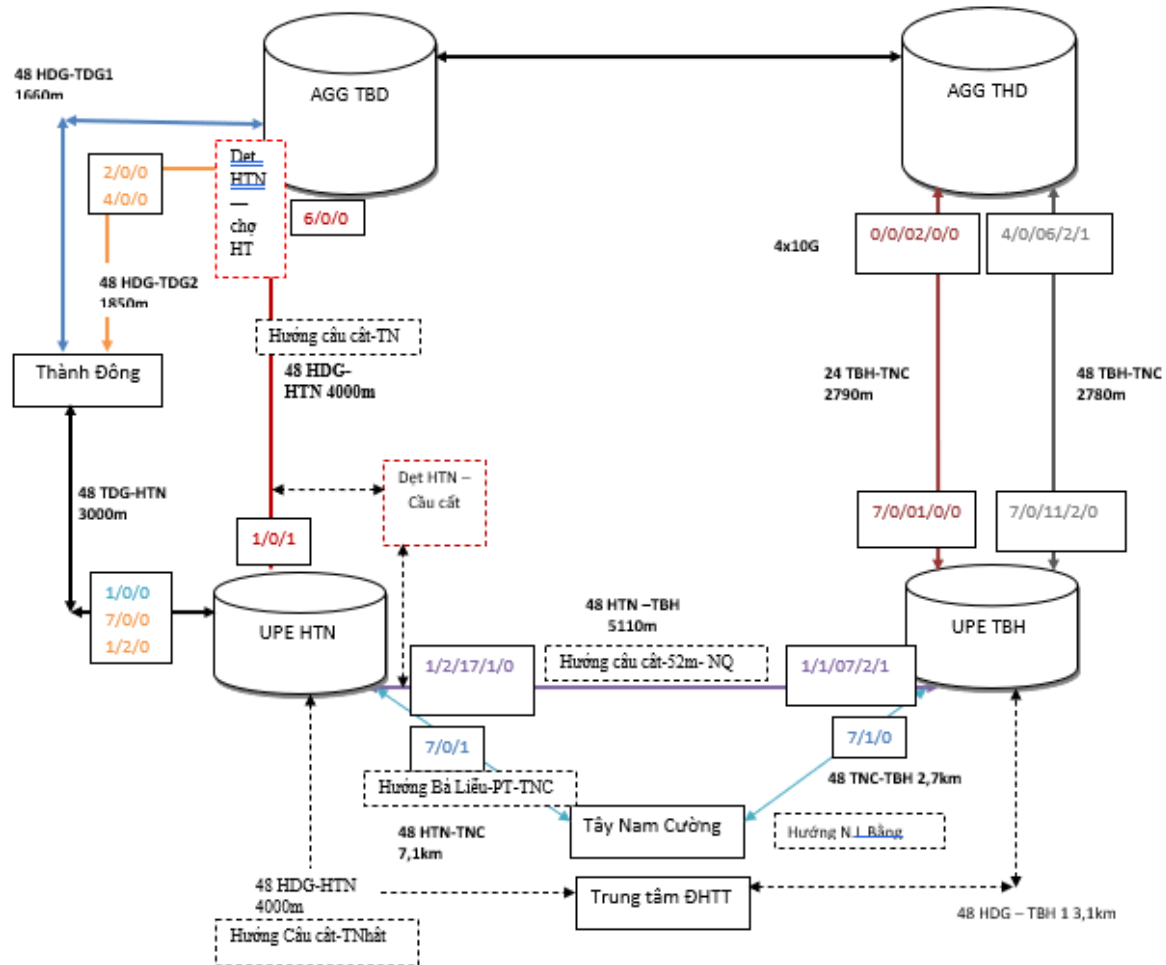
+ Kết nối từ AGG THD (Tây Nam Cường) đi AGG TTG (Tiền Trung) :

- Giao diện vật lý sử dụng : et-2/1/0 tại AGG THD kết nối tới et-0/1/0 tại AGG TTG.
- Tốc độ truyền tải 100 Gbps.
- Modul quang sử dụng loại : CFP2-100G-ER4-D
- Từ AGG THD đến AGG TTG sử dụng 02 tuyến quang độc lập nhằm mục đích dự phòng khi có sự cố về cáp :
 - Tuyến 1 : Tuyến trực tiếp từ AGG THD đến AGG TTG, chạy trên cáp 24 TNC-TTG, tuyến này được sử dụng làm hướng chính.
 - Tuyến 2 : Tuyến quang chạy từ AGG TTG đến trạm trung gian Trung tâm điều hành (Trên các cáp 48). Tuyến này được sử dụng làm hướng dự phòng, được sử dụng khi có sự cố cáp hướng chính.

+ Kết nối từ AGG TTG đi AGG TBD :

- Giao diện vật lý sử dụng : et-2/1/0 tại AGG TTG kết nối tới et-2/1/0 tại AGG TBD.
- Tốc độ truyền tải 100Gbps.
- Modul quang sử dụng loại : CFP2-100G-ER4-D
- Từ AGG TTG đến AGG TBD sử dụng 02 tuyến quang độc lập nhằm mục đích dự phòng khi có sự cố về cáp :
 - Tuyến 1 : Tuyến trực tiếp từ AGG TBD đến AGG TTG, chạy trên cáp 48 HDG-TTG, tuyến này được sử dụng làm hướng chính.
 - Tuyến 2 : Tuyến quang chạy từ AGG TTG đến trạm trung gian Nam Sách (Trên các cáp 48). Tuyến này được sử dụng làm hướng dự phòng, được sử dụng khi có sự cố cáp hướng chính.

3.2.2.2 Mạng vòng truy nhập (Access Ring)



Hình 3.7. Sơ đồ một Access Ring VNPT TP Hải Dương.

Access Ring được tạo bởi các thiết bị đóng vai trò là AGG và UPE trên mạng, bao gồm: AGG TBD (Trung tâm), AGG THD (Tây Nam Cường), UPE HTN (Hải Tân), và UPE TBH (Thanh bình). Thiết bị sử dụng tại 2 AGG TBD và AGG THD là Juniper MX2020 chạy hệ điều hành Juniper phiên bản Junos 17.3R3-S7.2. Thiết bị sử dụng tại 02 UPE HTN và UPE TBH là thiết bị Juniper MX960 chạy hệ điều hành Juniper phiên bản Junos 18.4R3-S3

+ Kết nối từ AGG TBD đi AGG THD:

- Giao diện vật lý sử dụng: et-0/1/0 tại AGG TBD kết nối tới et-0/1/0 tại AGG THD.
- Tốc độ truyền tải 100 Gbps.

- Modul quang sử dụng loại: CFP2-100G-ER4-D.
- Từ AGG TBD đến AGG THD sử dụng 02 tuyến quang độc lập nhằm mục đích dự phòng khi có sự cố về cáp:
 - Tuyến 1: Tuyến trực tiếp từ AGG TBD đến AGG THD, chạy trên cáp 48 TBD-THD, tuyến này được sử dụng làm hướng chính.
 - Tuyến 2: Tuyến quang chạy từ AGG TBD đến trạm trung gian Thanh Bình (Cáp 48 HDG-TBH) và từ trạm Thanh Bình về AGG THD theo cáp 24 TBD-TNC. Tuyến này được sử dụng làm hướng dự phòng, được sử dụng khi có sự cố cáp hướng chính.
- + Kết nối từ AGG TBD đi UPE HTN:
 - Tốc độ truyền tải 5x10Gbps.
 - Giao diện vật lý sử dụng tại AGG TBD gồm các giao diện 10 Gbps xe-2/0/0, xe-4/0/0, xe-6/0/0, xe-0/0/0, xe-12/0/0.
 - Giao diện vật lý sử dụng tại UPE HTN gồm các giao diện 10 Gbps xe-1/0/0, xe-1/0/1, xe-1/2/0, xe-7/0/0, xe-7/2/1.
 - Modul quang sử dụng loại: XFP-10G-LR.
 - Từ AGG TBD đến UPE HTN sử dụng các tuyến quang độc lập nhằm mục đích dự phòng khi có sự cố về cáp.
- + Kết nối từ UPE HTN đi UPE TBH :
 - Tốc độ truyền tải 5 x 10
 - Giao diện vật lý sử dụng tại UPE HTN gồm các giao diện Gbps. xe-1/2/1, xe-1/3/0, xe-7/0/1, xe-7/1/0, xe-7/2/0.
 - Giao diện vật lý sử dụng tại UPE TBH gồm các giao diện Gbps. xe-3/0/0, xe-1/1/0, xe-1/2/1, xe-7/1/0, xe-3/1/1.
 - Modul quang sử dụng loại : XFP-10G-LR.
 - Từ UPE HTN đến UPE TBH sử dụng các tuyến quang độc lập nhằm mục đích dự phòng khi có sự cố về cáp.
- + Kết nối từ UPE TBH đi AGG THD :
 - Tốc độ truyền tải 5 x 10 Gbps.

- Giao diện vật lý sử dụng tại UPE TBH gồm các giao diện 10G.
xe-1/0/0, xe-1/2/0, xe-7/0/0, xe-7/0/1, xe-3/2/0.
- Giao diện vật lý sử dụng tại AGG THD gồm các giao diện 10G.
xe-0/0/0, xe-2/0/0, xe-4/0/0, xe-6/2/1, xe-0/2/0.
- Modul quang sử dụng loại : XFP-10G-LR.
- Từ AGG THD đến UPE TBH sử dụng các tuyến quang độc lập nhằm mục đích dự phòng khi có sự cố về cáp.

Dung lượng truyền tải trên các mạng vòng tại VNPT Hải Dương hiện được thiết lập như sau :

- Core Ring: 03 PE-AGG với dung lượng 190 Gbps.

- 14 Access Ring với 28 UPE:

- Dung lượng ring 1 là 130 Gbps.
- Dung lượng ring 2 là 90 Gbps.
- Dung lượng ring 3 là 140 Gbps.
- Dung lượng ring 4 là 90 Gbps.
- Dung lượng ring 5 là 100 Gbps.
- Dung lượng ring 6 là 160 Gbps.
- Dung lượng ring 7 là 150 Gbps.
- Dung lượng ring 8 là 90 Gbps.
- Dung lượng ring 9 là 150 Gbps.
- Dung lượng ring 10 là 130 Gbps
- Dung lượng ring 11 là 80 Gbps.
- Dung lượng ring 12 là 60 Gbps.
- Dung lượng 13 là 110 Gbps.
- Dung lượng 14 là 80 Gbps.

(Sơ đồ các ring được thể hiện trên hình 3.1)

- Dung lượng cho dịch vụ Internet và IPTV kết nối lên BRAS/BNG: 1860 Gbps.
- Dung lượng kết nối PE: 140 Gbps.
- Dung lượng cho dịch vụ MyTV (kết nối lên VoD Server): 20 Gbps.
- Dung lượng kết nối dịch vụ di động 3G và 4G: 60 Gbps.

Với dung lượng kết nối giữa các nút trong mạng như hiện tại, mạng truyền tải của VNPT Hải Dương vận hành ổn định, đảm bảo tốt cho khai thác các dịch vụ viễn thông trên toàn tỉnh. Tuy nhiên, với xu hướng phát triển khách hàng cũng như yêu cầu mở rộng băng thông dịch vụ, dung lượng truyền tải trên từng tuyến của mạng đều có xu hướng tăng thêm.

3.3. Khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải 100 Gbps.

3.3.1. Khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải 100 Gbps qua phần mềm mô phỏng.

3.3.1.1. Phần mềm mô phỏng Optisystem 19.0

Phần mềm mô phỏng Optisystem 19.0 là một phần mềm thiết kế mạng thông tin quang tương đối toàn diện, được phát triển bởi OptiWave. Nó là một công cụ hữu ích để lập kế hoạch, mô phỏng, thiết kế dùng cho mạng thông tin quang. Optisystem có giao diện đồ họa thân thiện, khả năng hiển thị trực quan và hỗ trợ thư viện các phần tử. Đặc biệt, phần mềm có thể dễ dàng mở rộng do người sử dụng có thể đưa thêm các phần tử tự định nghĩa vào.

Optisystem cho phép thiết kế tự động hầu hết các loại tuyến thông tin quang ở lớp vật lý, từ hệ thống đường trục cho đến các mạng LAN, MAN quang. Các ứng dụng cụ thể bao gồm:

- Thiết kế hệ thống thông tin quang từ mức phần tử đến hệ thống ở lớp vật lý;
- Thiết kế mạng TDM/WDM và CATV;
- Thiết kế mạng FTTx dựa trên mạng quang thụ động (PON);
- Thiết kế hệ thống ROF (radio over fiber);
- Thiết kế bộ thu, bộ phát, bộ khuếch đại quang;
- Thiết kế sơ đồ tán sắc;
- Đánh giá BER và penalty của hệ thống với các mô hình bộ thu khác nhau
- Tính toán BER và quỹ công suất tuyến của các hệ thống có sử dụng khuếch đại quang...

Optisystem có một thư viện các phần tử phong phú với hàng trăm phần tử được mô hình hóa có thể đáp ứng như các thiết bị trong thực tế. Cụ thể bao gồm:

- Thư viện nguồn quang;
- Thư viện các bộ thu quang;
- Thư viện sợi quang;
- Thư viện các bộ khuếch đại (quang, điện);

- Thư viện các bộ MUX, DEMUX;
- Thư viện các bộ lọc (quang, điện);
- Thư viện các phần tử FSO;
- Thư viện các phần tử truy nhập;
- Thư viện các phần tử thụ động (quang, điện);
- Thư viện các phần tử xử lý tín hiệu (quang, điện);
- Thư viện các phần tử mạng quang;
- Thư viện các thiết bị đo quang, đo điện;

Ngoài các phần tử đã được định nghĩa sẵn, Optisystem còn có:

- Các thành phần đo (Measured components). Với các thành phần này, Optisystem cho phép nhập các tham số được đo từ các thiết bị thực của các nhà cung cấp khác nhau;
- Các phần tử do người dùng tự định nghĩa (User-defined Components);
- Optisystem có đầy đủ các thiết bị đo quang, đo điện, cho phép hiển thị tham số, dạng, chất lượng tín hiệu tại mọi điểm trên hệ thống.

Thiết bị đo quang:

- Phân tích phổ (Spectrum Analyzer);
- Thiết bị đo công suất (Optical Power Meter);
- Thiết bị đo miền thời gian quang (Optical Time Domain Visualizer);
- Thiết bị phân tích WDM (WDM Analyzer);
- Thiết bị phân tích phân cực (Polarization Analyzer);
- Thiết bị đo phân cực (Polarization Meter)...

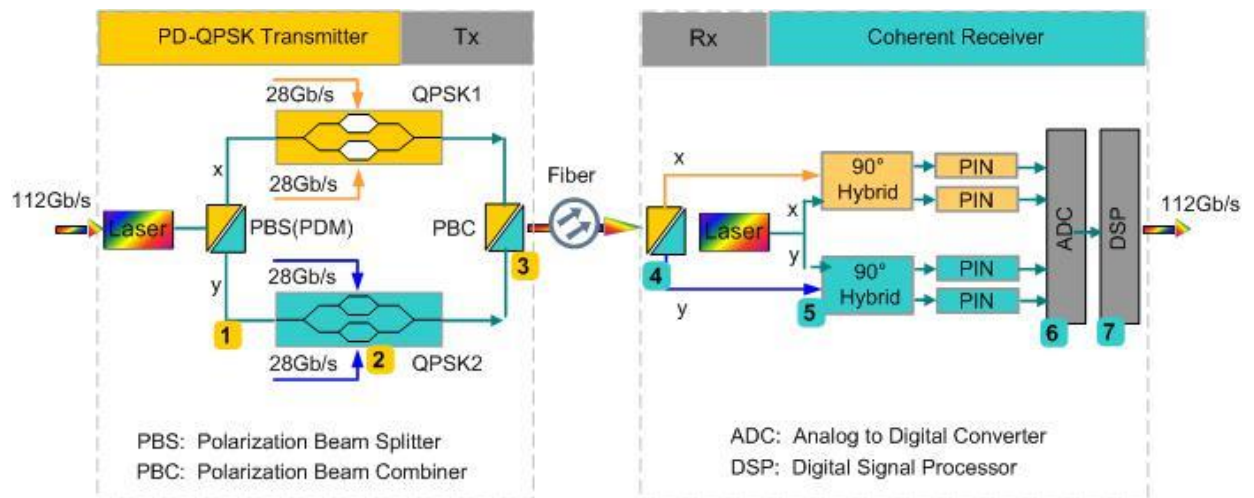
Thiết bị đo điện:

- Oscilloscope;
- Thiết bị phân tích phổ RF (RF Spectrum Analyzer);
- Thiết bị phân tích biểu đồ hình mắt (Eye Diagram Analyzer);
- Thiết bị phân tích lỗi bit (BER Analyzer);
- Thiết bị đo công suất (Electrical Power Meter);
- Thiết bị phân tích sóng mang điện (Electrical Carrier Analyzer)...

Ngoài ra, Optisystem còn hỗ trợ nhiều các tính năng khác như: Mô phỏng phân cấp với các hệ thống con (subsystem), ngôn ngữ Script, Thiết kế nhiều lớp (multiple layout), trang báo cáo (report page), Quét tham số và tối ưu hóa (parameter sweeps and optimizations)...

Mô hình hệ thống mô phỏng

Trong phần mô phỏng này, học viên áp dụng mô hình hệ thống truyền tải quang 100 Gbps có cấu trúc như trong hình 3.8.

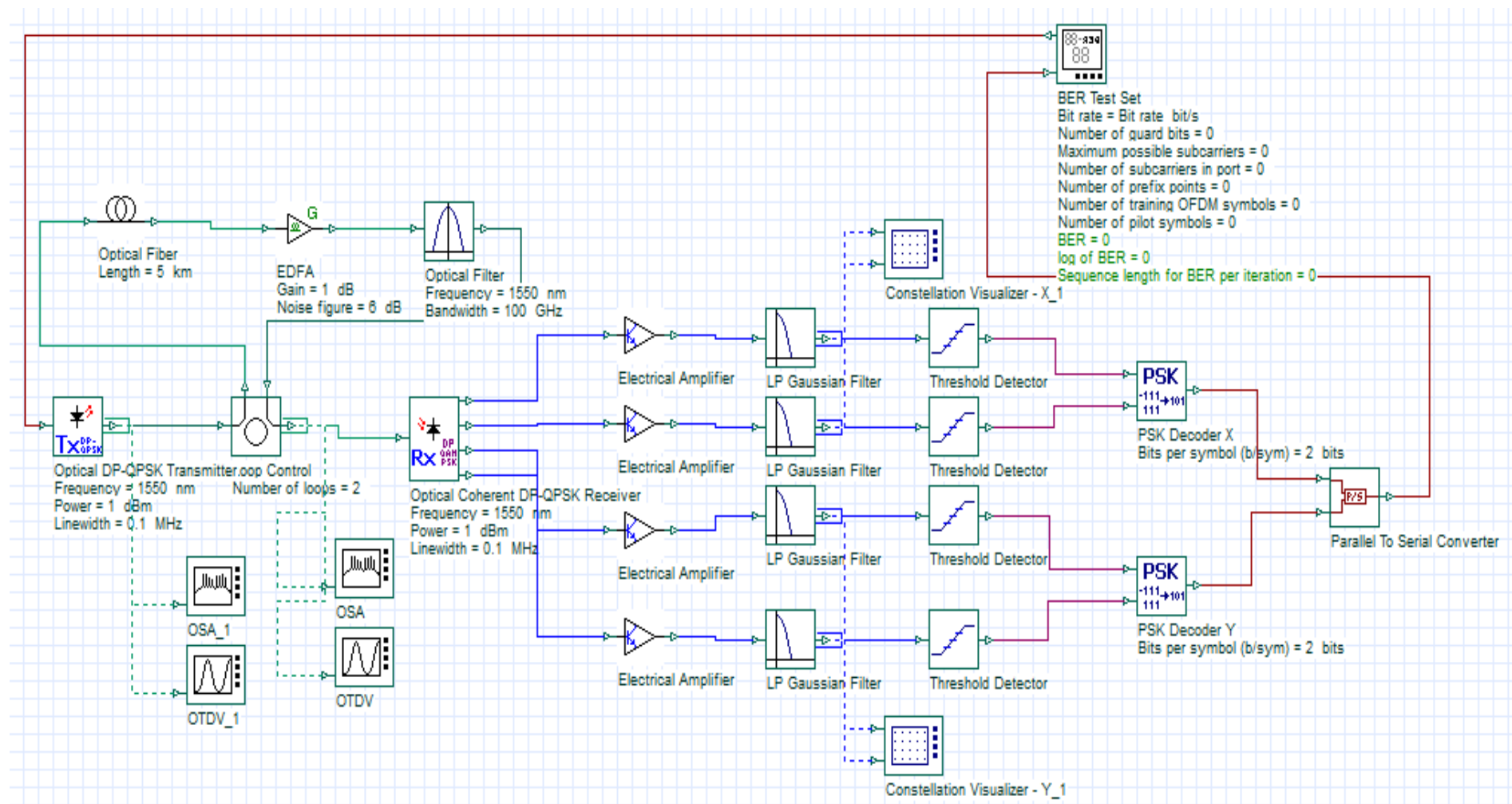


Hình 3.8. Mô hình hệ thống truyền tải quang 100 Gbps.

Để các hệ thống truyền dẫn băng rộng để có thể làm việc ổn định với các dịch vụ viễn thông, yêu cầu đặt ra là chất lượng đường truyền phải đảm bảo và tỷ lệ lỗi bit luôn dưới mức cho phép. Điều này dẫn tới các mã 'sửa sai hướng đi' có hiệu năng xử lý lỗi mạnh mẽ phải được sử dụng.

3.3.1.2. Mô phỏng hệ thống truyền tải quang 100 Gbps DP-QPSK không có DSP.

Sơ đồ hệ thống truyền tải quang 100 Gbps DP-QPSK không sử dụng DSP dùng trong mô phỏng được mô tả cụ thể trên hình 3.9.



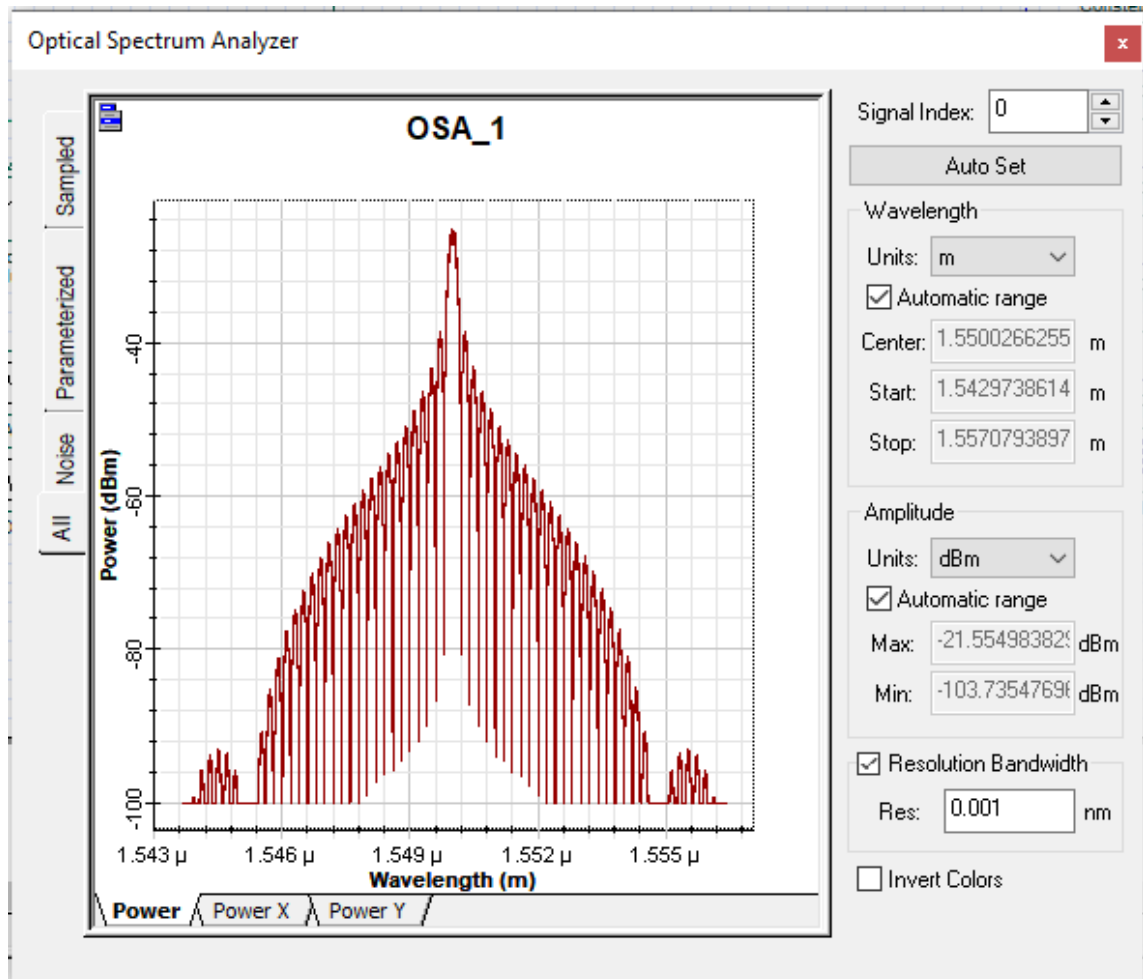
Hình 3.9. Sơ đồ hệ thống 100 Gbps DP-QPSK không có DSP

Tham số sử dụng trong mô phỏng được chọn như sau:

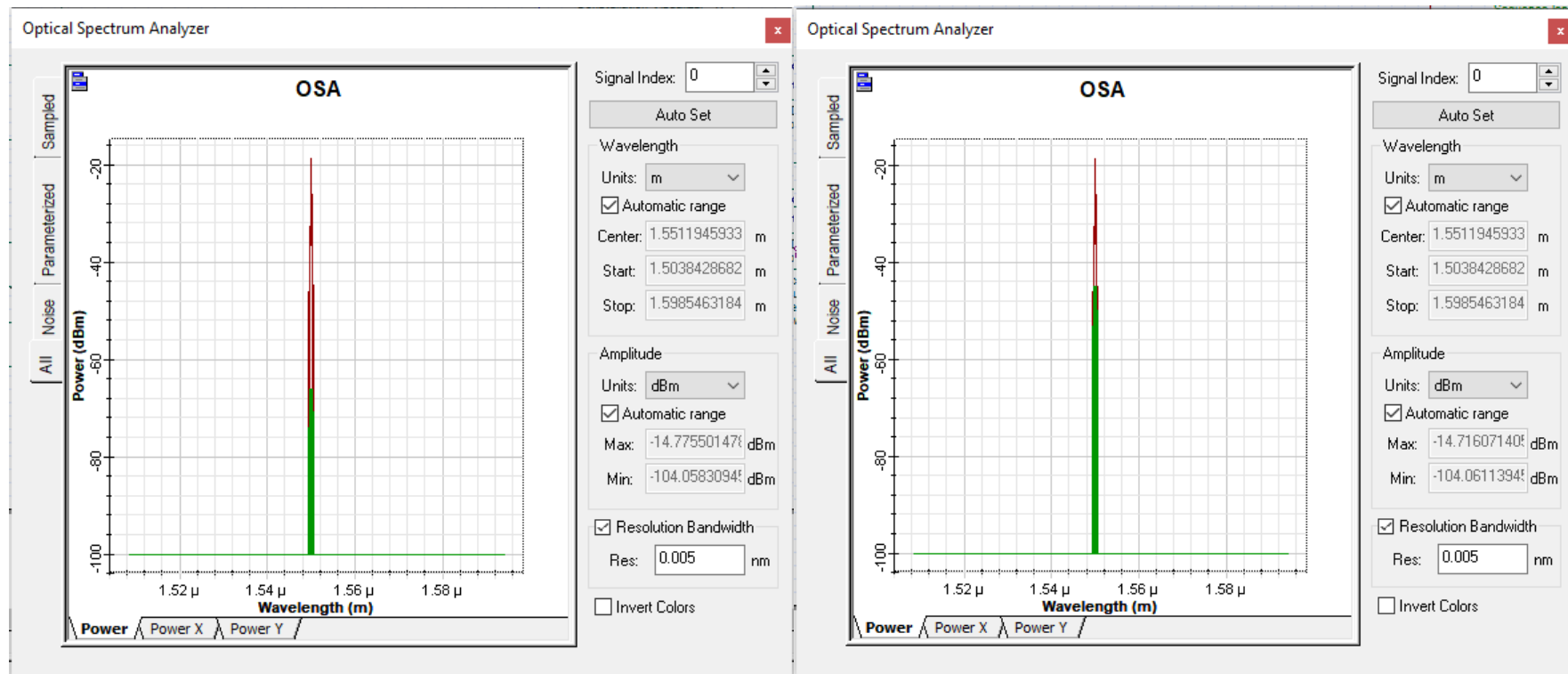
- Máy phát DP-QPSK: Bước sóng 1550 nm, công suất 1 dBm.
- Máy thu DP-QPSK: Bước sóng 1550 nm, công suất 1 dBm, photodetector PIN với $R = 1 \text{ A/W}$.
- Sợi quang : hệ số suy hao: 0,2 dB/km, hệ số tán sắc 16,75 ps/(nm.km), độ dúc tán sắc: 0,075 ps/nm²/km. (cùng với Loop Control có thể thay đổi được).
- Khuếch đại quang phẳng EDFA: Gain = 20 dB, nhiễu 6 dB.
- Bồn bộ khuếch đại điện: Gain = 20 dB.
- Máy kiểm tra BER: BER Test Set
- Ngoài ra: có 2 máy phân tích phổ quang (OSA Input và OSA Output), 2 máy quan sát tín hiệu quang trên miền thời gian (OTDV Input và OTDV Output), 2 máy quan sát chòm sao tín hiệu điện trên hai phân cực X và Y (Electrical Constellation Visualizer X và Electrical Constellation Visualizer Y) và một số thành phần khác.

Chúng ta sẽ thay đổi đổi chiều dài cáp quang và loop control với các thông số khác nhau. Từ đó thấy được ảnh hưởng của đường truyền lên các công nghệ truyền dẫn bước sóng có tốc độ khác nhau.

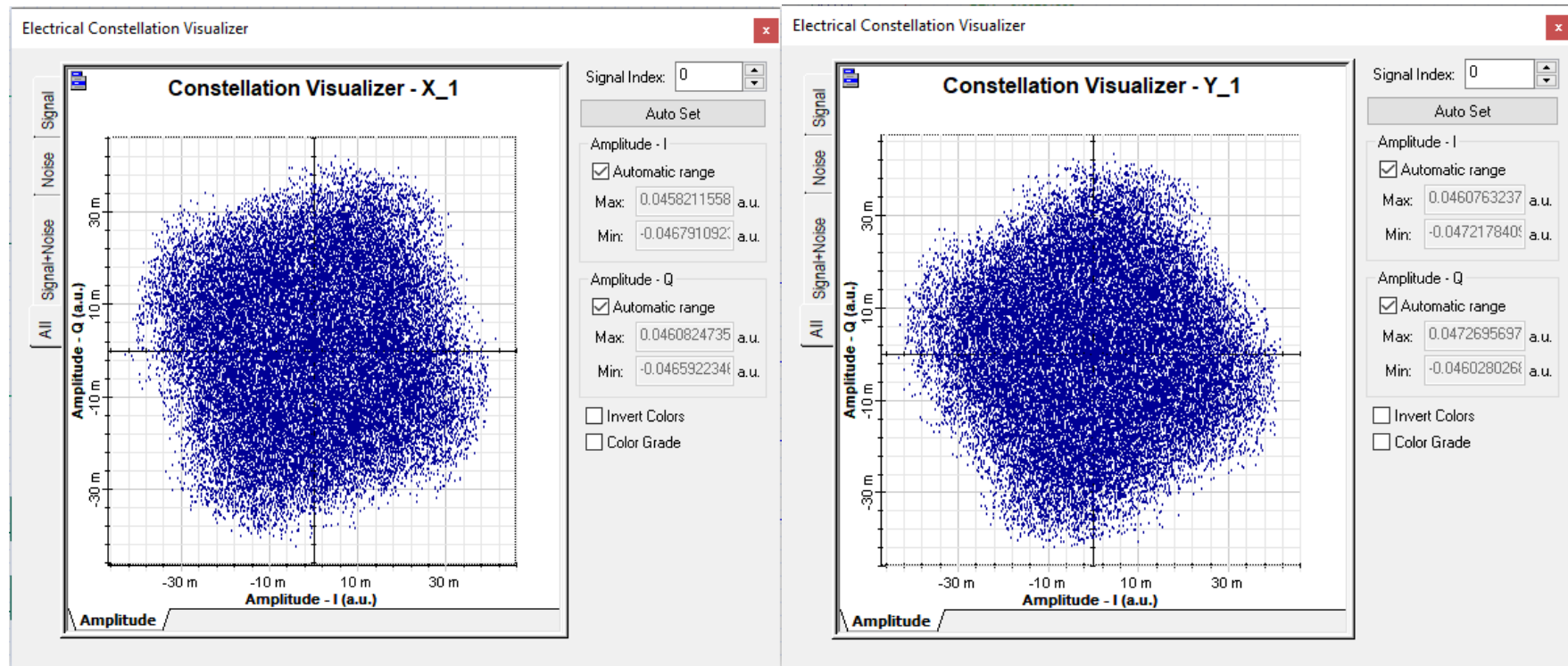
Đặt tốc độ ở máy phát DP-QPSK là 100 Gbps, với khoảng cách sợi quang lần lượt là 5 Km và 50 Km, loop control là 2, gain của EDFA thay đổi theo khoảng cách cáp quang. Các kết quả mô phỏng nhận được như dưới đây.



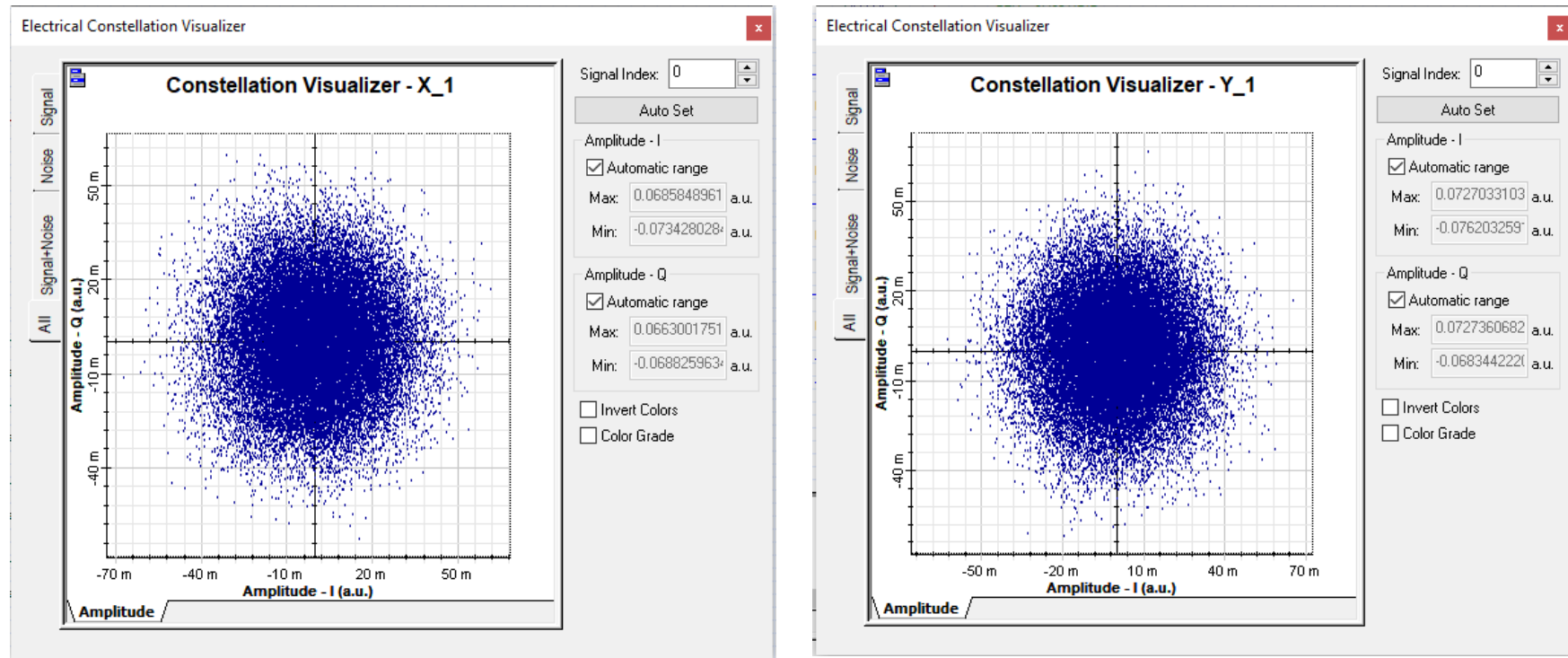
Hình 3.10. Phổ của tín hiệu 100 Gbps sau máy phát trên hệ thống không có DSP



Hình 3.11. Phổ của tín hiệu trước máy thu 100 Gbps trên hệ thống không có DSP với khoảng cách khác nhau



Hình 3.12. Biểu đồ chòm sao tín hiệu 100 Gbps điện (phân cực X) trên hệ thống không có DSP với khoảng cách $L=10\text{km}$.



Hình 3.13. Biểu đồ chòm sao tín hiệu 100 Gbps điện (phân cực X) trên hệ thống không có DSP với khoảng cách $L=100\text{km}$.

Từ biểu đồ chòm sao có thể thấy, với khoảng cách truyền dẫn lớn (100km), các điểm của chòm sao chụm lại gần tâm, độ phân giải suy giảm mạnh. Như vậy, khi khoảng cách truyền dẫn tăng lên, tín hiệu dữ liệu khó khôi phục chính xác hay BER tăng lên, đồng nghĩa với chất lượng hệ thống suy giảm.

3.3.1.3. Mô phỏng hệ thống truyền tải quang 100 Gbps DP-QPSK có DSP

Chức năng của bộ xử lý số tốc độ cao DSP:

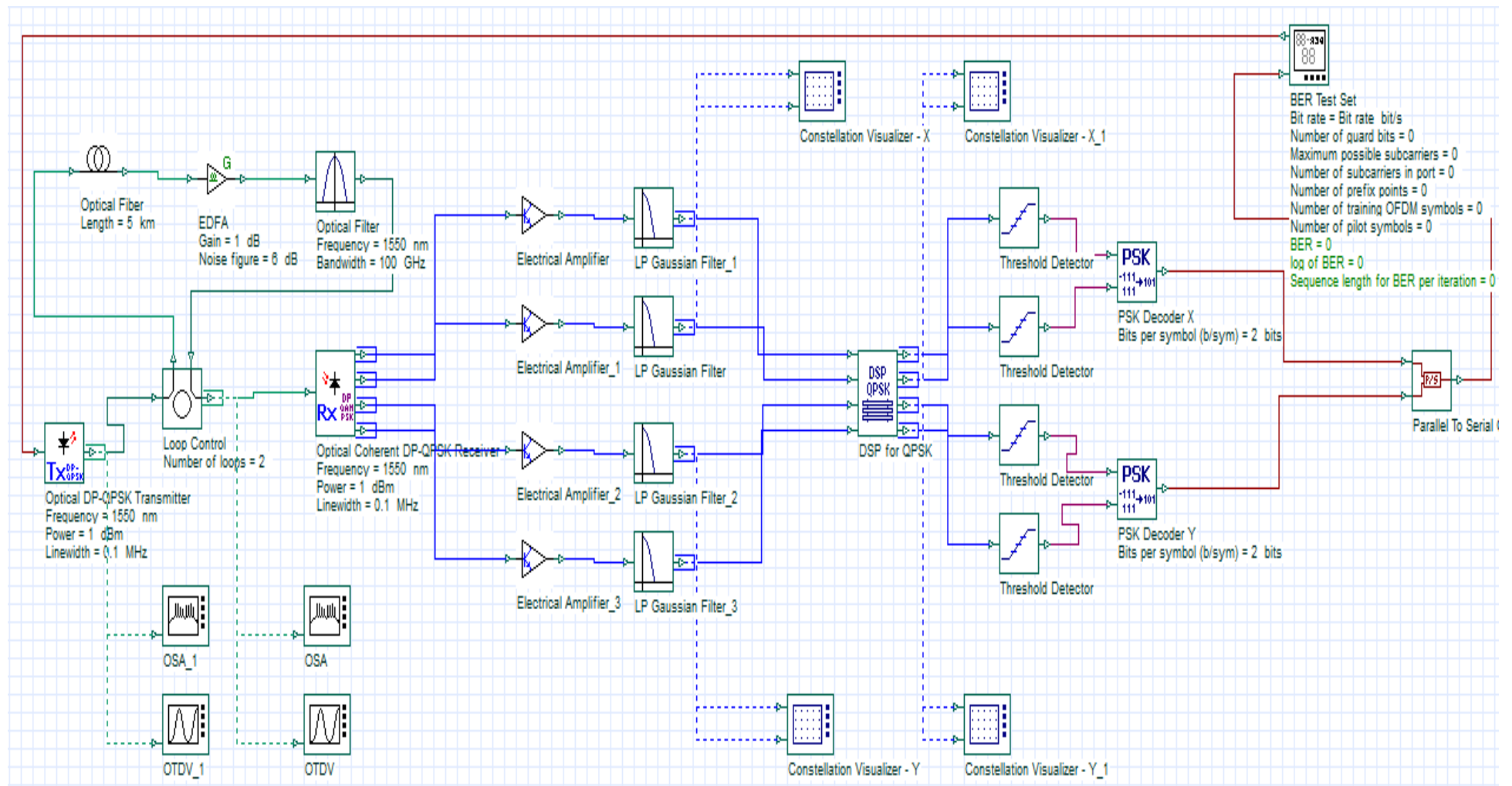
Trong các hệ thống quang kết hợp tốc độ cao, với kỹ thuật điều chế phức tạp thì bộ xử lý tín hiệu số DSP rất quan trọng. DSP có các chức năng sau:

- + Bù tán sắc CD;
- + Khôi phục đồng bộ;
- + Giải ghép phân cực;
- + Khôi phục pha và tần số;
- + Cân bằng tín hiệu;
- + Đo BER;
- + Tích hợp FEC.

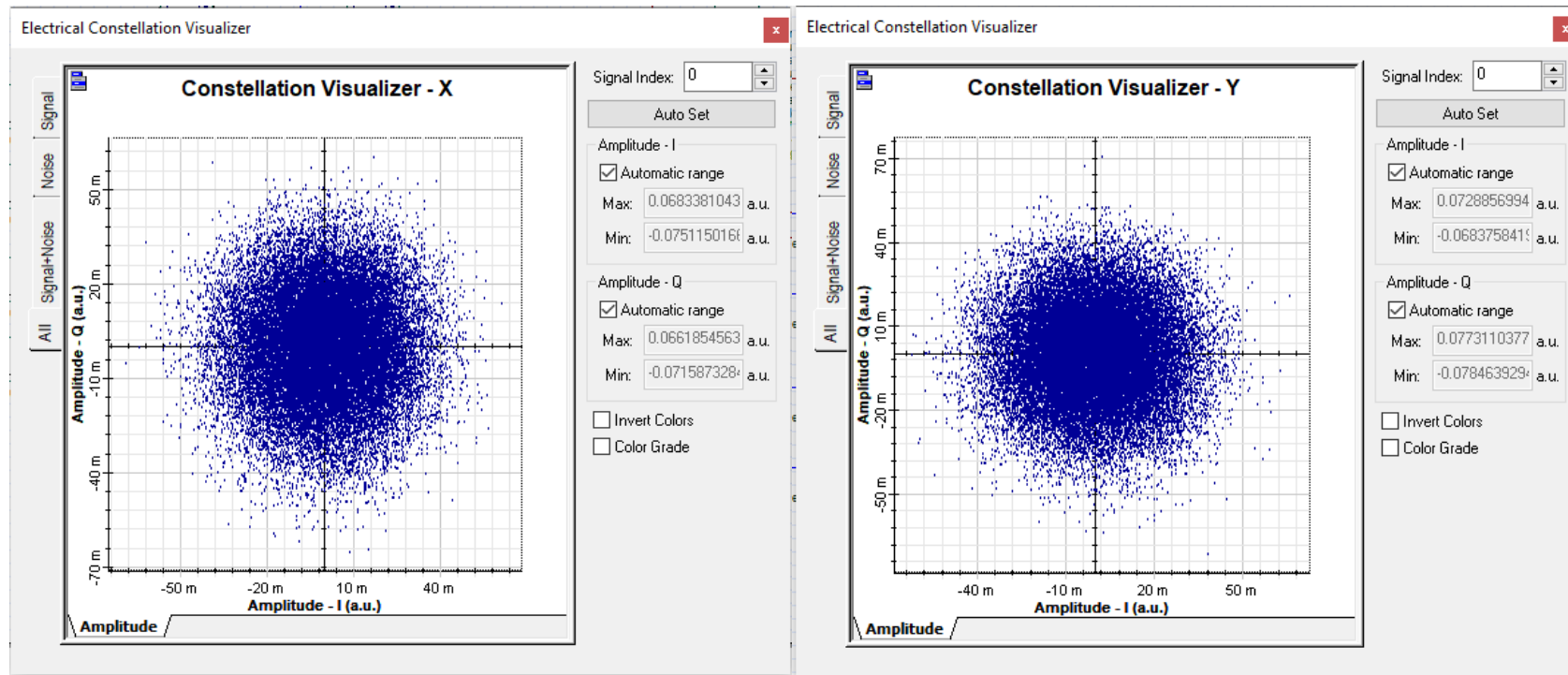
Sơ đồ hệ thống truyền tải quang 100 Gbps DP-QPSK có sử dụng DSP được mô tả cụ thể trên hình 3.14.

Trong mô phỏng này, các tham số được lựa chọn như sau:

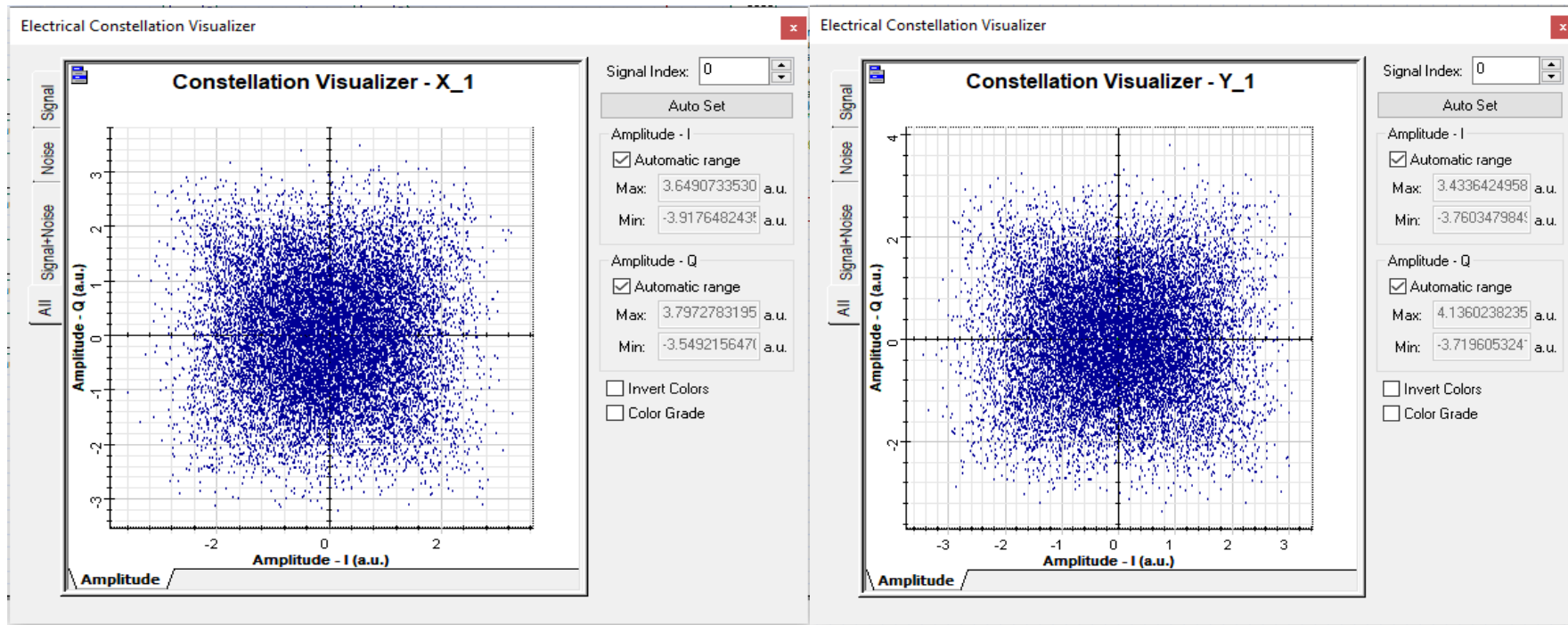
- Máy phát DP-QPSK: Bước sóng 1550 nm, công suất 1 dBm, tốc độ 100Gbps.
- Máy thu DP-QPSK: Bước sóng 1550 nm, công suất 1 dBm, photodetector PIN với $R = 1 \text{ A/W}$, Tốc độ 100 Gbps.
- Sợi quang : Chiều dài 5 và 50 Km, hệ số suy hao: 0,2 dB/km, hệ số tán sắc 16,75 ps/(nm.km), độ dốc tán sắc: 0,075 ps/nm²/km, Loop Control = 2.
- Khuếch đại quang: 1 bộ khuếch đại quang với gain phụ thuộc vào khoảng cách.
- Bộ xử lý số tốc độ cao DSP QPSK.
- Bộ kiểm tra BER.
- Ngoài ra: có 2 máy phân tích phổ quang (OSA Input và OSA Output), 2 máy quan sát tín hiệu quang trên miền thời gian (OTDV Input và OTDV Output), 2 máy quan sát chòm sao tín hiệu điện trên hai phân cực X và Y (Electrical Constellation Visualizer X và Electrical Constellation Visualizer Y) và một số thành phần khác.



Hình 3.14. Sơ đồ hệ thống truyền tải quang 100 Gbps DP-QPSK có DSP



Hình 3.15. Biểu đồ chòm sao trước khi xử lý số trên hệ thống 100 Gbps với khoảng cách $L = 100\text{Km}$.



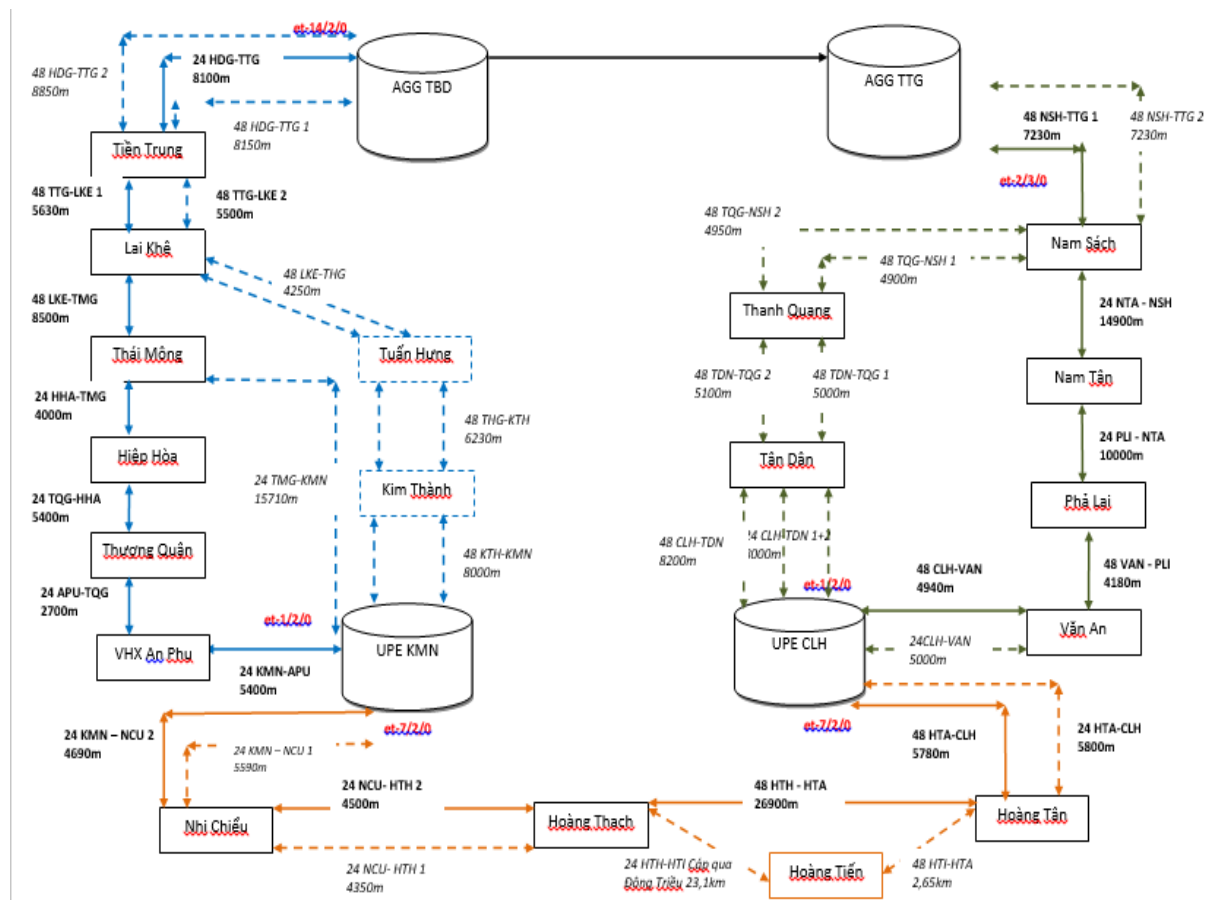
Hình 3.16. Biểu đồ chòm sao sau khi xử lý số trên hệ thống 100 Gbps có DSP với khoảng cách $L = 100\text{Km}$.

Các biểu đồ chòm sao trên các phân cực X và Y cho thấy, với khoảng cách truyền dẫn nhỏ ($L=10\text{ km}$), bộ xử lý số tốc độ cao (DSP) cải thiện không rõ ràng chất lượng truyền tải. Ở khoảng cách truyền dẫn lớn ($L=100\text{km}$), khi có DSP, mức độ co cụm hướng tâm của chòm sao không đáng kể, độ phân giải vẫn tốt, khả năng khôi phục đúng dữ liệu được cải thiện rõ ràng. Như vậy, DSP rất thích hợp cho khoảng cách truyền dẫn lớn, nó cho phép kéo dài cự ly lặp/khuếch đại và cải thiện chất lượng truyền tải, đảm bảo BER cho phép ở các tuyến truyền tải quang trong mạng.

3.3.2. Khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải quang 100 Gbps qua đo kiểm thực tế

Để khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải quang 100 Gbps qua đo kiểm thực tế, học viên đã lựa chọn kết nối trên Access Ring tại VNPT Hải Dương để thực hiện, đó là kết nối từ AGG TBD (Trung tâm) đến UPE KMN (Kinh Môn) đến UPE CLH (Chí Linh) và khép lại tại AGG TTG (Tiền Trung).

Kết nối giữa các nút bằng liên kết 100Gbps.



Hình 3.17. Sơ đồ kết nối tuyến 100 Gbps từ Trạm Trung tâm đến Trạm Kinh Môn.

Trên kết nối, tuyến truyền dẫn từ AGG TBD (Trung tâm) đến UPE KMN (Kinh Môn), để thực hiện khảo sát. Tuyến truyền dẫn từ AGG TBD đến UPE KMN được triển khai trên hai hướng cáp khác nhau:

+ Hướng cáp 1:

- Từ AGG TBD - Cáp 24 HDG-TTG (ODF Tiền trung) khoảng cách: 8110m

- ODF Tiền Trung - Cáp 48 TTG– LKE2 (ODF Lai Khê) khoảng cách: 5500m
- ODF Lai Khê – Cáp 48 LKE – THG (ODF Tuấn Hưng) khoảng cách: 4250m
- ODF Tuấn Hưng–Cáp 48 THG-KTH (ODF Kim Thành) khoảng cách: 6230m
- ODF Kim Thành – UPE KMN trên cáp 48 KTH-KMN (ODF Kinh Môn) khoảng cách: 8000m

Tổng chiều dài hướng cáp 1 khoảng 32,090m.

+ Hướng cáp 2:

- Từ AGG TBD - Cáp 48 HDG-TTG2 (ODF Tiền trung) khoảng cách: 8850m
- ODF Tiền Trung– Cáp 48 TTG – LKE1 (ODF Lai Khê) khoảng cách: 5630m
- ODF Lai Kh –Cáp 48 LKE–TMG (ODF Thái Mông) khoảng cách: 8500m
- ODF Thái Mông–Cáp 24 HHA-TMG (ODF Hiệp Hòa) khoảng cách: 4000m
- ODF Hiệp Hòa–Cáp 24 HHA-TQG khoảng cách: 5400m
- ODF Thượng Quận áp 24 TQG – APU (ODF An Phụ) khoảng cách: 2700m
- ODF An Phụ - UPE KMN trên cáp 24 APU-KMN: khoảng cách 5400m

Tổng chiều dài hướng cáp 2 khoảng 40,480m.

Tại nút UPE KMN sử dụng thiết bị Juniper MX960 với hệ điều hành Junos 18.4R3-S3, mặt trước thiết bị như trong hình 3.4.

- Trên thiết bị Juniper MX 960 sử dụng cổng et-1/2/0 có tốc độ 100 Gbps để kết nối với AGG TBD (Trung tâm)

Tại nút AGG TBD sử dụng thiết bị Juniper MX2020 với hệ điều hành Junos 17.3R3-S7.2, mặt trước thiết bị như trong hình 3.3.

Trên thiết bị Juniper MX 2020 sử dụng cổng et-14/2/0 có tốc độ 100 Gbps để kết nối với AGG TBD (Trung Tâm)

Thực hiện cấu hình trên mỗi thiết bị để thiết bị UPE KMN kết nối với thiết bị AGG TBD qua cổng 100 Gbps.

Kết quả đo thực hiện trên các tuyến cáp khác nhau như dưới đây.

Trường hợp 1: Sử dụng hướng cáp 1 với khoảng cách 32,090m:

Trên UPE tại Kinh Môn:

+ *Trạng thái giao diện (interface)*

```
sontv.hdg@MX960-HDG05KMN_RE0> show interfaces et-1/2/0
Physical interface: et-1/2/0, Enabled, Physical link is Up
Interface index: 181, SNMP ifIndex: 546
Description: 100G-HDG05KMN-1/2/0:HDG00TBD-14/2/0:AE2
Link-level type: Ethernet, MTU: 9192, MRU: 9200, Speed: 100Gbps, BPDU Error: None, Loop Detect PDU Error: None, Loopback: Disabled, Source filtering: Disabled,
Flow control: Disabled
Pad to minimum frame size: Disabled
Device flags : Present Running
Interface flags: SNMP-Traps Internal: 0x4000
Link flags : None
CoS queues : 8 supported, 8 maximum usable queues
Schedulers : 0
Current address: 94:bf:94:f3:b7:e1, Hardware address: 94:bf:94:f3:b1:17
Last flapped : 2022-09-05 15:23:07 ICT (4d 18:07 ago)
Input rate : 9761326912 bps (958570 pps)
Output rate : 835711040 bps (426173 pps)
Active alarms : None
Active defects : None
PCS statistics          Seconds
  Bit errors            0
  Errored blocks        0
Ethernet FEC statistics  Errors
  FEC Corrected Errors  0
  FEC Uncorrected Errors 0
  FEC Corrected Errors Rate 0
  FEC Uncorrected Errors Rate 0
Link Degradate :
  Link Monitoring      : Disable
Interface transmit statistics: Disabled
```

+ *Trạng thái Module quang*

```
sontv.hdg@MX960-HDG05KMN_RE0> show interfaces diagnostics optics et-1/2/0
Physical interface: et-1/2/0
Lane 0
  Laser output power      : 3.163 mW / 5.00 dBm
  Laser temperature       : 36 degrees C / 96 degrees F
  Laser receiver power    : 0.067 mW / -11.73 dBm
```

Trường hợp 2: Sử dụng hướng cáp 2 với khoảng cách 40,480m:

Trên UPE tại Kinh Môn.

+ *Trạng thái giao diện:*

```
sontv.hdg@MX960-HDG05KMN_RE0> show interfaces et-1/2/0
Physical interface: et-1/2/0, Enabled, Physical link is Up
Interface index: 181, SNMP ifIndex: 546
Description: 100G-HDG05KMN-1/2/0:HDG00TBD-14/2/0:AE2
Link-level type: Ethernet, MTU: 9192, MRU: 9200, Speed: 100Gbps, BPDU Error: None, Loop Detect PDU Error: None, Loopback: Disabled, Source filtering: Disabled,
Flow control: Disabled
Pad to minimum frame size: Disabled
Device flags : Present Running
Interface flags: SNMP-Traps Internal: 0x4000
Link flags : None
CoS queues : 8 supported, 8 maximum usable queues
Schedulers : 0
Current address: 94:bf:94:f3:b7:e1, Hardware address: 94:bf:94:f3:b1:17
Last flapped : 2022-09-05 15:23:07 ICT (4d 18:07 ago)
Input rate : 87613262912 bps
Output rate : 735711040 bps
Active alarms : None
Active defects : None
PCS statistics          Seconds
  Bit errors            0
  Errored blocks        0
Ethernet FEC statistics  Errors
  FEC Corrected Errors  57
  FEC Uncorrected Errors 15
  FEC Corrected Errors Rate 0
  FEC Uncorrected Errors Rate 0
Link Degradate :
  Link Monitoring      : Disable
Interface transmit statistics: Disabled
```

+ *Trạng thái module quang:*

```
sontv.hdg@MX960-HDG05KMN_RE0> show interfaces diagnostics optics et-1/2/0
Physical interface: et-1/2/0
Lane 0
  Laser output power          : 3.163 mW / 5.00 dBm
  Laser temperature           : 43 degrees C / 110 degrees F
  Laser receiver power        : 0.026 mW / -15.73 dBm
```

Các kết quả khảo sát thực tế ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải 100 Gbps tại VNPT Hải Dương cho thấy:

+ Công suất quang tại đầu vào máy thu suy giảm khá mạnh: Với cùng công suất phát, tuyến 32,09km cho công suất thu 0,067 mW, trên tuyến 40,49km công suất giảm còn 0.026 mW;

+ Xuất hiện lỗi bit được xử lý nhờ mã sửa lỗi trước (FEC): Ở khoảng cách 32,09 km không có lỗi theo thống kê tại FEC, nhưng ở khoảng cách 40,49 km đã xuất hiện các bit lỗi, trong đó FEC đã sửa 57 bit và 15 bit chưa sửa.

+ Nhiệt độ trên Modul quang tăng khi khoảng cách đường truyền tăng: Tại tuyến có chiều 32,09km nhiệt độ modul quang là 36⁰ C, trên tuyến có chiều dài 40,49km nhiệt độ modul quang là 43⁰ C.

3.4 Tổng kết chương:

Khảo sát bằng mô phỏng chỉ ra, chất lượng truyền tải của các hệ thống quang 100 Gbps phụ thuộc vào khoảng cách, suy giảm khá nhiều ở khoảng cách lớn. Tuy nhiên, chất lượng có thể được cải thiện tốt bằng cách sử dụng bộ xử lý số tốc độ cao DSP và phương thức sửa lỗi tiên tiến. Khảo sát các tuyến truyền dẫn thực tế cho thấy, khi khoảng cách truyền dẫn tăng, trên các hệ thống truyền tải quang 100Gbps xuất hiện những vấn đề cần được xem xét, xử lý. Tuy nhiên, trong phạm vi mạng của một tỉnh không quá rộng như Hải Dương, các tuyến truyền dẫn quang không quá dài, hoàn toàn có thể triển khai các hệ thống truyền tải quang 100Gbps, hiện tại cũng như trong tương lai.

KẾT LUẬN

Công nghệ truyền tải quang 100 Gbps ra đời và được đưa vào ứng dụng trong thực tiễn là xu hướng tất yếu nhằm đáp ứng nhu cầu sử dụng băng thông rộng ngày càng tăng cao. Công nghệ truyền tải quang 100 Gbps không những giải quyết được bài toán về nhu cầu băng thông, hiệu suất sử dụng tần số mà còn giải quyết được bài toán về suy giảm chất lượng truyền dẫn, cũng như làm giảm giá thành dịch vụ.

Việc phát triển từ công nghệ 10/40 Gbps lên công nghệ 100 Gbps chịu sự ảnh hưởng lớn của đường truyền. Để giải quyết các vấn đề này, một số kỹ thuật mới đã được nghiên cứu và triển khai như: Kỹ thuật điều chế, kỹ thuật sửa lỗi, kỹ thuật tách sóng Coherent... Trong luận văn này chúng ta đã nghiên cứu kỹ thuật tách sóng Coherent, điều chế QP-QPSK, sửa lỗi SD-FEC đây là những kỹ thuật chủ chốt trong công nghệ truyền tải quang 100 Gbps. Các kỹ thuật này đã giải quyết được các vấn đề về suy hao, tán sắc và đặc biệt là OSNR trong truyền tải quang 100 Gbps.

Để phân tích rõ các ảnh hưởng của khoảng đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải 100 Gbps, học viên đã sử dụng phần mềm mô phỏng để khảo sát chất lượng hệ thống truyền tải quang 100 Gbps với các khoảng cách khác nhau. Kết quả cho thấy với đường truyền khoảng cách lớn công suất đầu thu giảm, lỗi bit có thể xuất hiện. Với hệ thống có bộ xử lý số tốc độ cao, tín hiệu dữ liệu đầu thu được cải thiện rõ rệt. Vì vậy trên các hệ thống truyền tải quang 100 Gbps không thể thiếu các bộ xử lý số tốc độ cao (DSP) và kỹ thuật sửa lỗi SD-FEC, nhất là với các tuyến có khoảng cách đường truyền lớn.

Tại VNPT Hải Dương, để phục vụ cho hàng nghìn doanh nghiệp, hàng trăm nghìn khách hàng cá nhân với nhiều dịch vụ yêu cầu băng thông rộng như VPN, Metro, Internet cáp quang, truyền hình IPTV và các dịch vụ 3G, 4G... yêu cầu phải có một mạng truyền tải dung lượng đủ lớn mới đáp ứng được yêu cầu. Mạng MAN-E của VNPT sử dụng thiết bị của Juniper đã được triển khai. Với mô hình mạng thiết kế Core Ring kết nối với các mạng Access Ring gồm có các nút lắp đặt tại nhiều vị trí trên toàn tỉnh nhằm bảo đảm dung lượng, khoảng cách, và an toàn hệ thống. Qua thực hiện vận

hành, khai thác và đo kiểm hệ thống cho thấy khi tăng chiều dài tuyến các tham số xuất hiện như lỗi bit tăng, công suất thu giảm, nhiệt độ Modul quang tăng. Do vậy khi triển khai phát triển nút mới, chiều dài tuyến là một tham số quan trọng để đưa vào thiết kế.

Những kết quả nghiên cứu đạt được trong Luận văn là những kết quả quan trọng ban đầu trong quá trình học tập nghiên cứu khoa học của học viên. Trong thời gian tới, học viên sẽ tiếp tục nghiên cứu về truyền tải quang 100Gbps, tập trung cho nghiên cứu sâu xử lý số tốc độ cao (DSP) và mã sửa lỗi trước. Đồng thời, học viên cũng sẽ tiếp tục tìm hiểu các xu hướng công nghệ truyền tải quang mới, các hệ thống quang có tốc độ truyền tải cao hơn, nắm bắt và sẵn sàng tiếp nhận đưa vào xây lắp, vận hành khai thác tại địa bàn công tác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- [1]. Lê Quốc Cường, ThS. Đỗ Văn Việt Em, ThS. Phạm Quốc Hợp, ThS. Nguyễn Huỳnh Minh Tâm (2009): Kỹ thuật thông tin quang – Tập 1 và 2.
- [2]. Trần Đại Dũng (2011): 100 Gbit/s – Tầm cao mới của truyền dẫn đường trực.
- [3]. Trần Đại Dũng (2012): Mạng truyền tải quang OTN.
- [4]. TS. Trần Đại Dũng (2010): Điều chế quang trong các hệ thống truyền dẫn đường dài.
- [5]. <http://xahoithongtin.com.vn/>: Mạng đường trực 100G

Tiếng Anh

- [6]. Andrew M. Odlyzko (2003), Internet traffic growth: Sources and implications.
- [7]. Alcatel Lucent: Understanding OTN, Optical Transport Network (G.709)
- [8]. Ciena (2010): Solving the 100 Gb/s transmission challenge.
- [9]. Eugen Lach, Wilfried Idler (2011): Modulation formats for 100G and beyond.
- [10]. Fujitsu (2012), Soft-Decision FEC Benefits for 100G
- [11]. Fujitsu (2011): The Path to 100G.
- [12]. <http://www.huawei.com/>: Soft-Decision FEC: Key to High-Performance 100G Transmission.
- [13]. <http://www.dtc.umn.edu/mints/>: Minnesota Internet Traffic Studies (MINTS).
- [14]. <http://www.laserfocusworld.com/:Multilevel-modulation-formats-push-capacities-beyond-100-gbit-s.html>
- [15]. IEEE (2009), IEEE P802.3ba: Architecture Overview.

- [16]. Infinera (2016): Coherent WDM Technologies.
- [17]. Infinera (2012) : Super-Channels: DWDM Transmission at 100Gb/s and Beyond
- [18]. ITU-T (2012), G6941, Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid
- [19]. Nakazawa (2010): High Spectral Density Optical Communication Technologies.
- [20]. OIF: 100G Ultra Long Haul DWDM Framework Document.
- [21]. Paul R Morkel, Sorin Tibuleac (2009): 40Gbit/s & 100Gbit/s Implementation Tradeoffs.
- [22]. Santiago Pacheco Munoz (2013): OSNR sensitivity analysis on a 100 Gb/s PM-QPSK system.
- [23]. Xu_Zhang (2012), Digital Signal Processing for Optical Coherent Communication Systems.
- [24]. Yongpeng ZHAO (2008): 100G: Opprtunities and chanllenges, and enabling technologies.
- [25]. IEEE (2019): Industry Trends for 400 Gb/s and Beyond Applications.
- [26]. IRFAN (2020): DSP-Assisted Nonlinear Impairments Tolerant 100 Gbps Optical Backhaul Network for Long-Haul Transmission