

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**

TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SỸ
(Theo định hướng ứng dụng)

Hà Nội - 2022

Luận văn được hoàn thành tại:
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. BÙI TRUNG HIẾU

Phản biện 1: PGS.TS. Lê Nhật Thăng

Phản biện 2: TS. Dư Đình Viên

Luận văn này được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận văn thạc sĩ tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Vào lúc: 9h15 ngày 17 tháng 12 năm 2022

Có thể tìm hiểu luận văn này tại:
Thư viện của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

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 bước sóng 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.

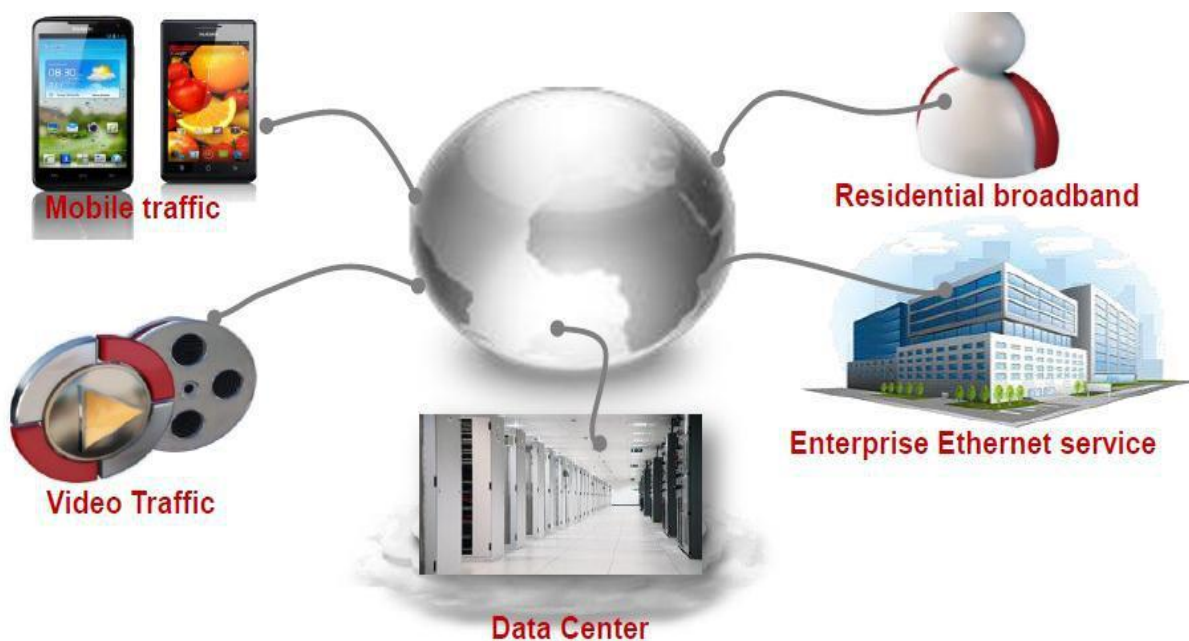
Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến PGS.TS Bùi Trung Hiếu, người đã tận tình chỉ bảo, hướng dẫn trong suốt thời gian qua. Đồng thời, tôi cũng xin chân thành cảm ơn các thầy cô trong Khoa Đào tạo sau Đại học, Học viện Công Nghệ Bưu chính Viễn thông đã trang bị kiến thức và giúp đỡ tôi hoàn thành đồ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

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.



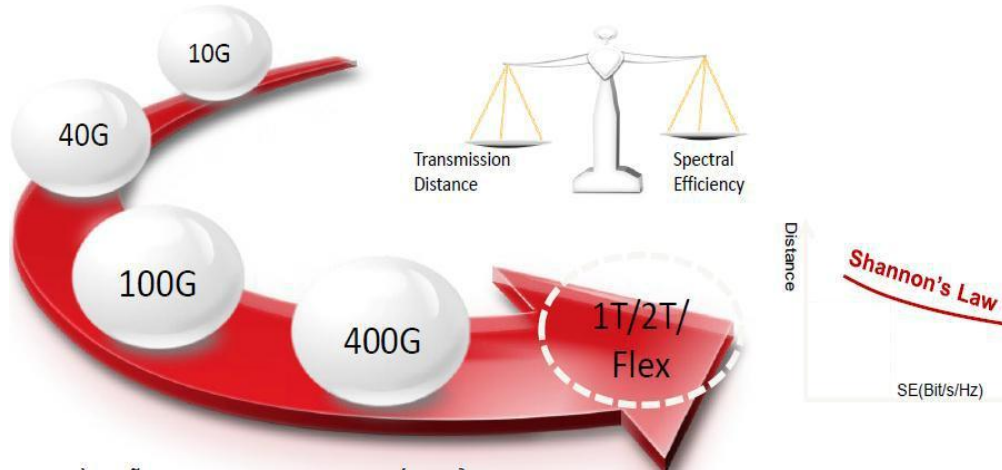
Hình 1.1. Các dịch vụ băng rộng

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

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

Các tiêu chuẩn của công nghệ 100Gbps 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 100Gbps. 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]

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

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 đề 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].

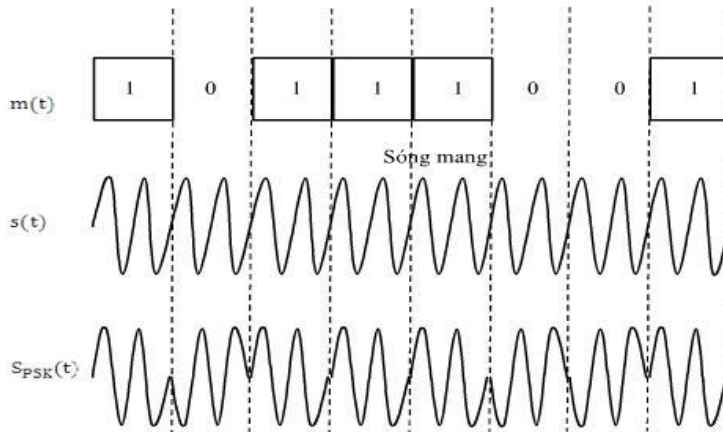
Modulation format	OOK	OOK-VSB	DQPSK	RZ-DPSK-3ASK	DP-DQPSK	OP-FDM-RZ-DQPSK	DP-QPSK	DP-OFDM-QPSK
coh. / noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	noncoh.	coh.	coh.
Bits/symbol	1	1	2	2.5	2x2	2x2	2x2	2x2x2
Symbol Rate (Gbd)	112	112	56	44	28	28	28	14
Constellation								
DWDM Grid (GHz)	200	100	100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

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

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]:

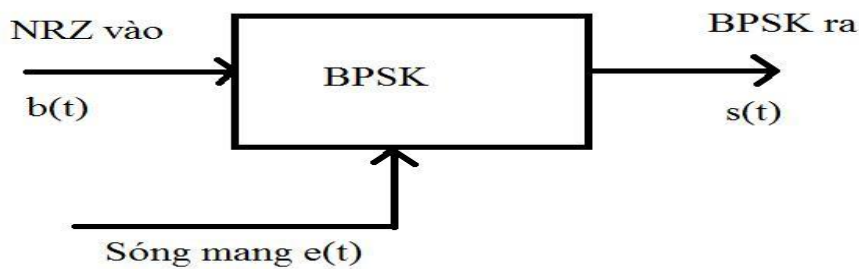
$$e_s(t) = E_m \cos[w_s t + b(t)\pi] \quad (2.1)$$



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.

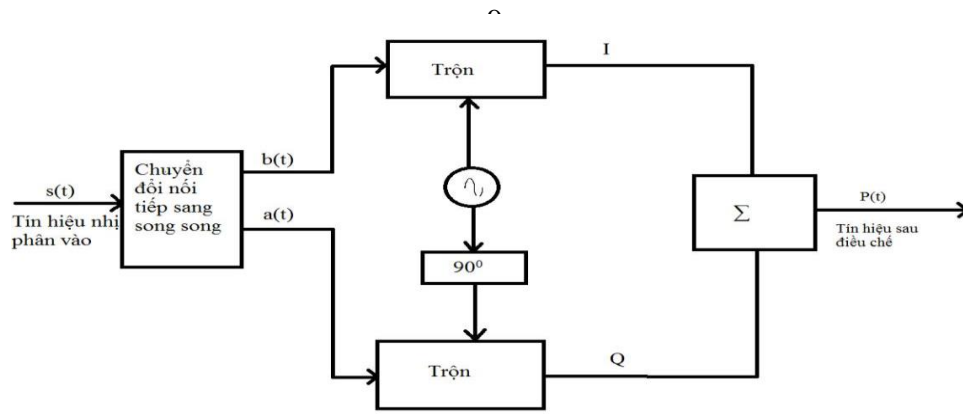


Hình 2.2. Sơ đồ nguyên lý điều chế BPSK.

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° .

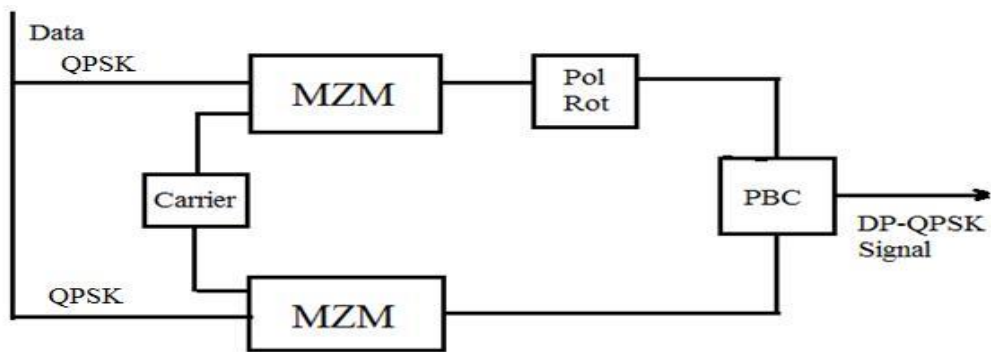
Tín hiệu được đưa vào bộ biến đổi nối tiếp thành song song, đầu ra được 2 luồng số liệu có tốc độ bit giảm đi một nửa, đồng thời biến đổi tín hiệu đơn cực thành tín hiệu ± 1 . Hai sóng mang tới hai bộ trộn làm lệch pha nhau 90° . tổng hợp tín hiệu đầu ra 2 bộ trộn ta được tín hiệu QPSK.



Hình 2.6. Sơ đồ nguyên lý điều chế QPSK

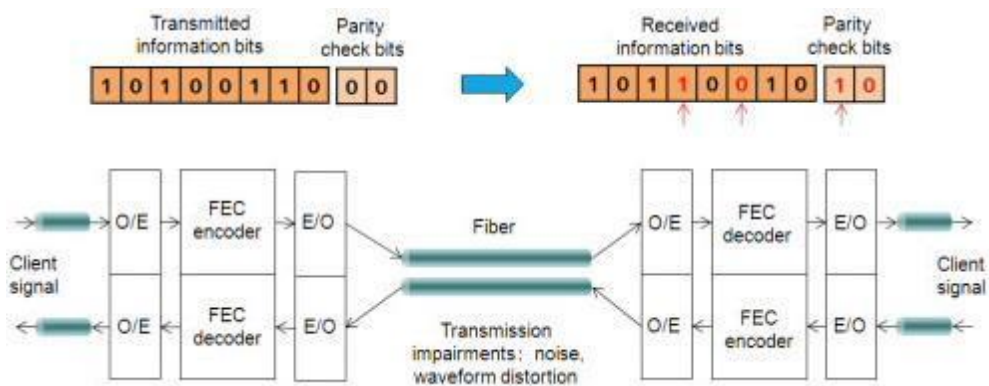
2.1.4 Điều chế pha kết hợp ghép phân cực DP-QPSK

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]

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



Hình 2.16. Thuật toán sửa lỗi FEC.

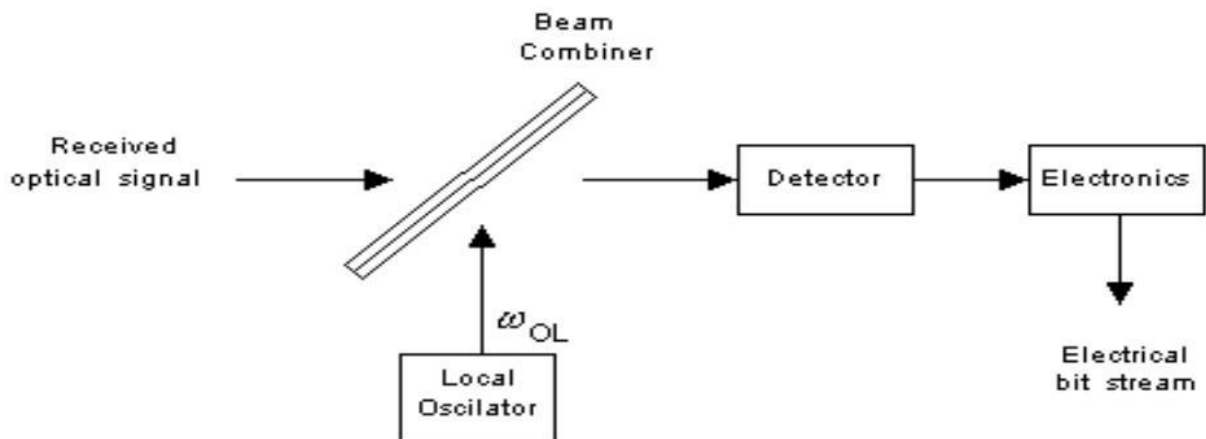
Có một số thuật toán FEC khác nhau, trong khi thể hệ đầu tiên FEC Reed-Solomon và thể hệ thứ hai EFEC được sử dụng cho bước sóng 10 Gbps, 40 Gbps, thì thuật toán FEC thể hệ thứ ba là cần thiết cho bước sóng 100 Gbps để đạt được hiệu suất tối ưu. Thể hệ FEC thứ ba dựa trên thuật toán mã hóa và giải mã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

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.

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).

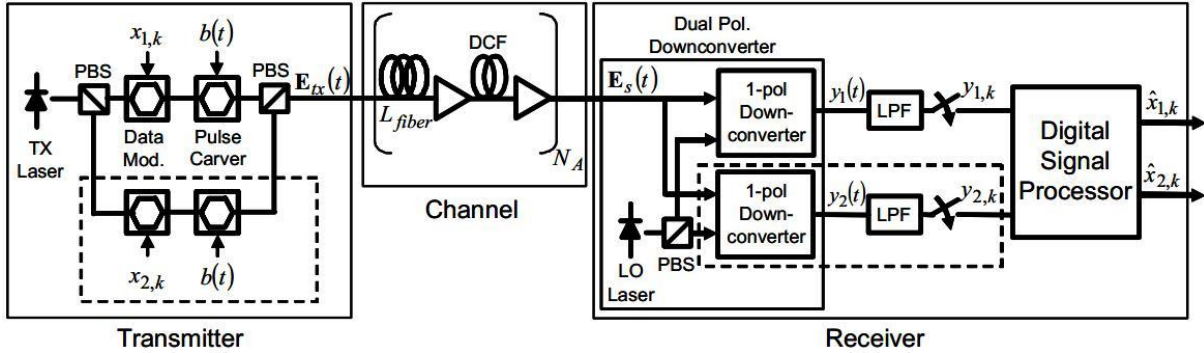


Hình 2.19. Sơ đồ khối cơ bản của bộ tách sóng quang coherent.[16]

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.

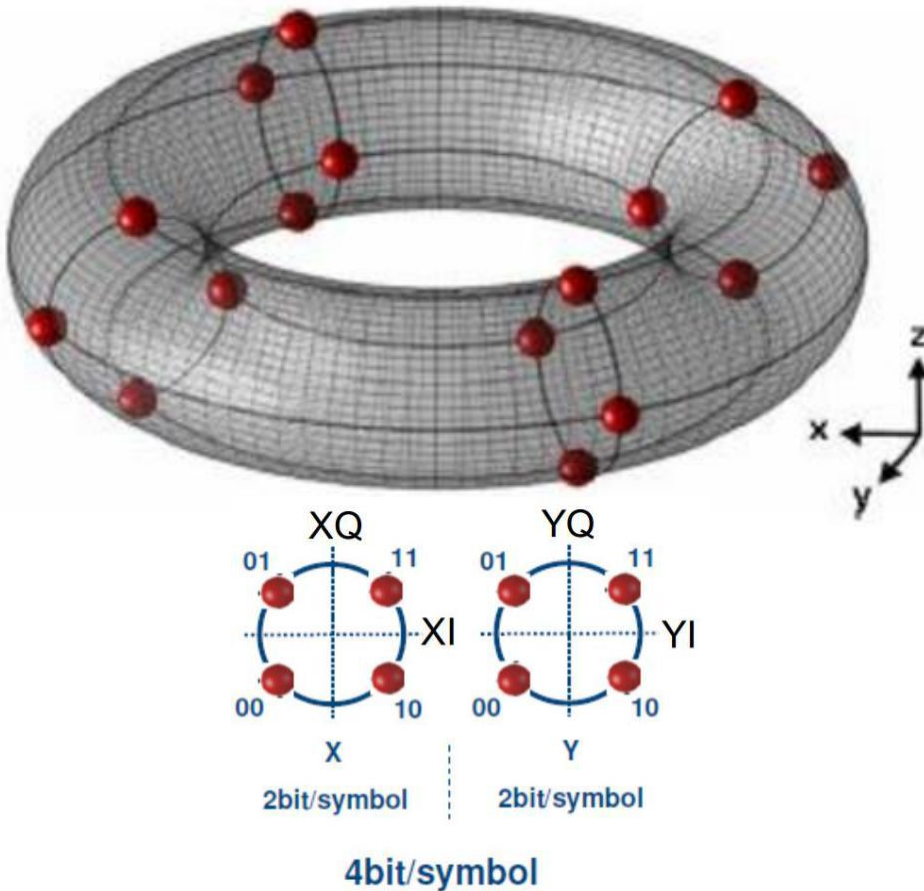
2.3.2 Hệ thống truyền dẫn quang với tách sóng coherent



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

2.3.3 Bộ phát và bộ thu DP-QPSK.

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 ($R > r$).



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

2.3.4 Truyền dẫn quang 100 Gbps DP-QPSK.

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 mào 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 ROADMs 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.

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.

b. Dung sai lệch 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 ROADMs.

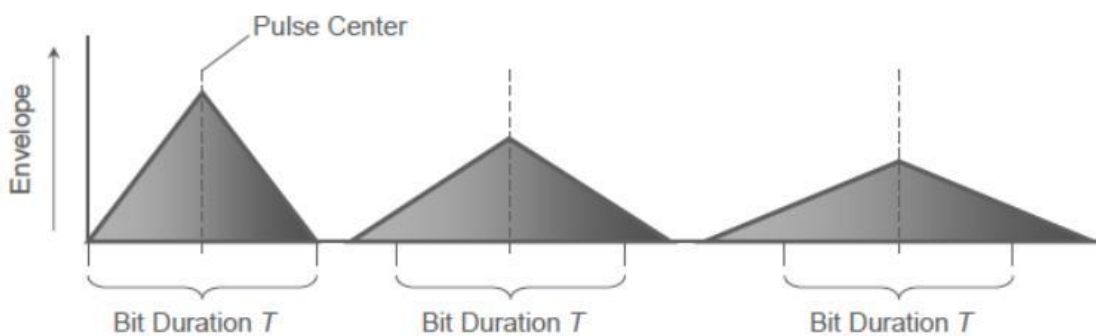
c. Dung sai tán sắc màu.

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.

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 liên 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.

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.

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 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.

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.

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

a. 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.

b. 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 phân 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 MX2020 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.

c. 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 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 ae10

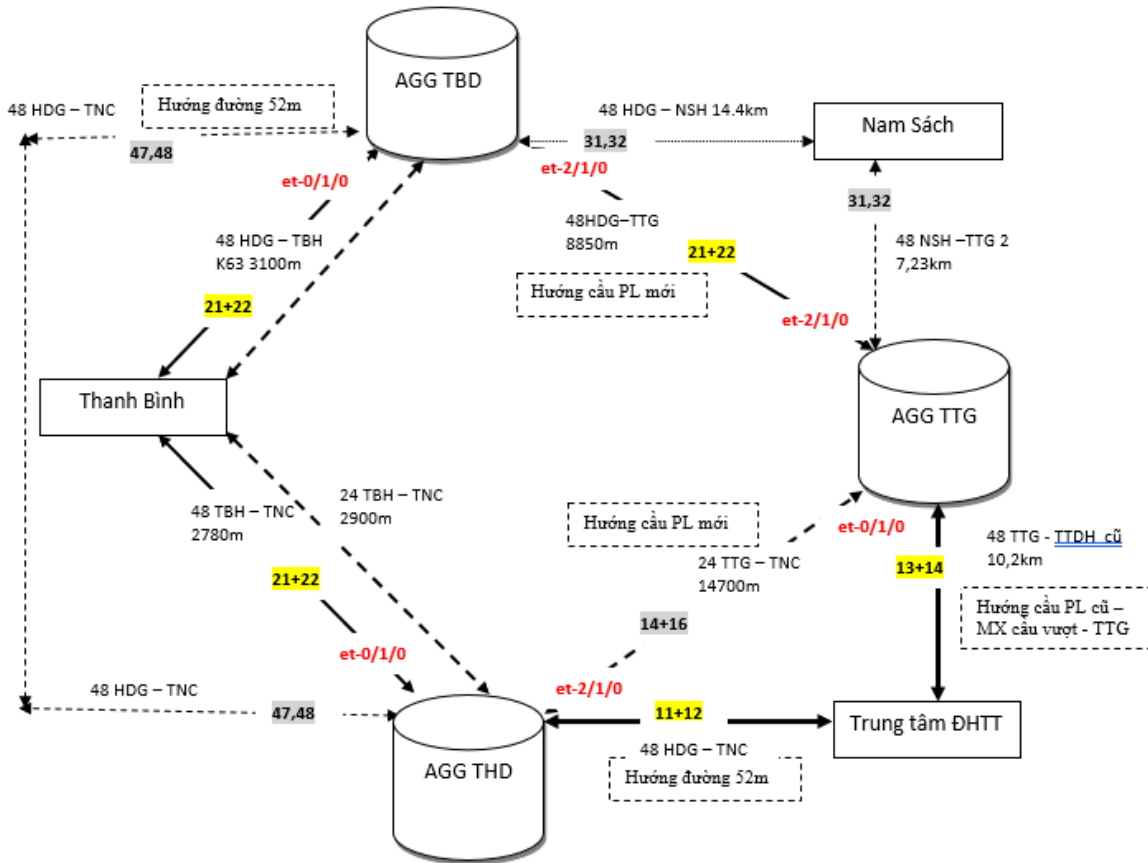
Set up et-0/1/0 vào ae10:

```

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.

```

3.2.1.1 Mạng vòng lõi (Core Ring):



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

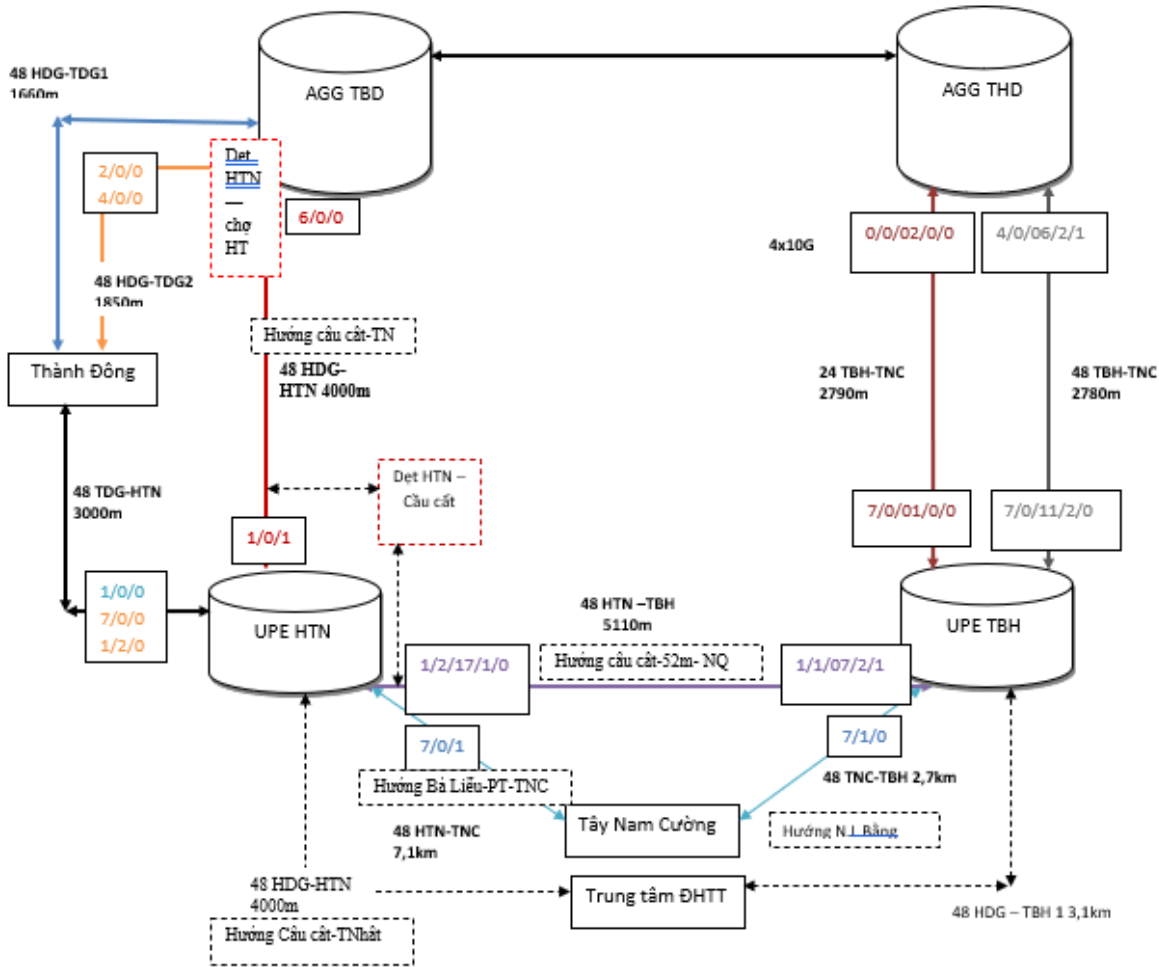
Core Ring MANE Hải Dương được tạo bởi 3 thiết bị đóng vai trò là AGG trên mạng, bao gồm: AGG TBD (Nút AGG đặt tại Trung tâm), AGG THD (Nút AGG đặt tại trạm Tây Nam Cường) và AGG TTG (Nút AGG đặt tại trạm Tiên trung). Thiết bị sử dụng tại 3 AGG này là Juniper MX2020 chạy hệ điều hành Juniper phiên bản 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

3.2.1.2 Mạng vòng truy nhập (Access Ring)



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

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

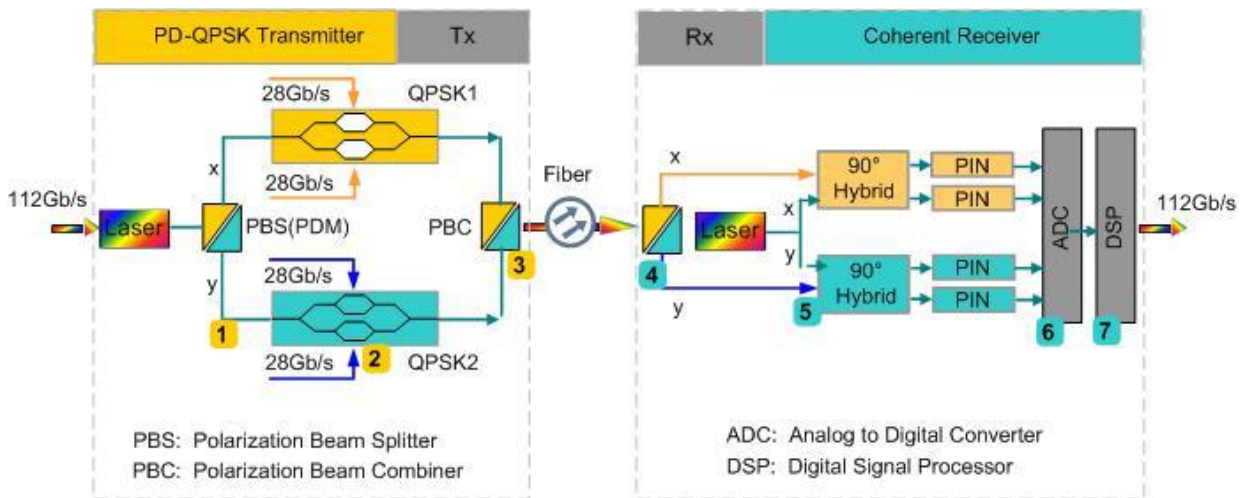
3.3.1. Khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền đến hiệu năng hệ thống truyền tải 100 Gbps qua phần mềm mô phỏng.

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.

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.

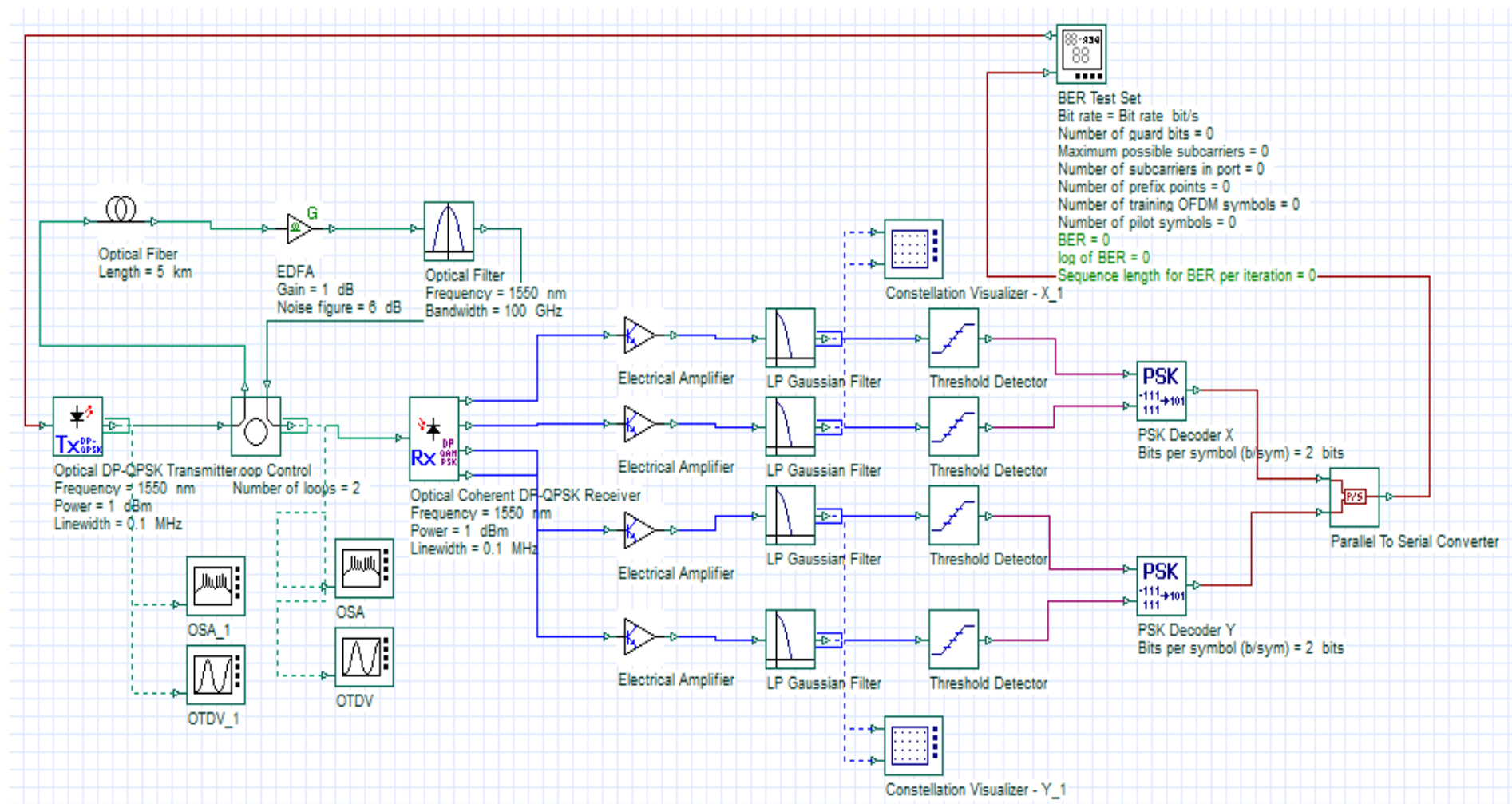


Hình 3.8. Mô hình hệ thống truyền tải quang 100 Gbps.

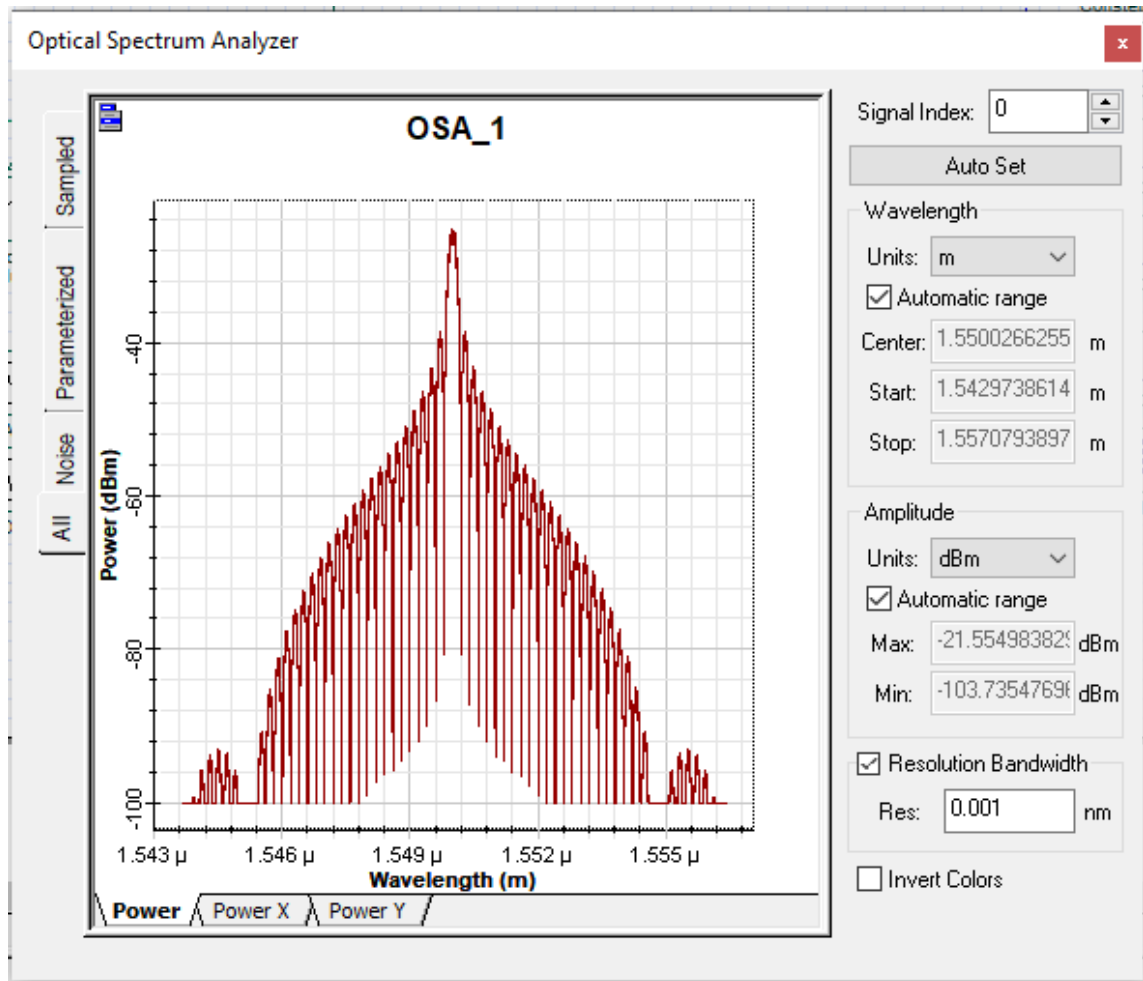
Để các hệ thống truyền dẫn băng rộng để có thể làm việc ổn định với các dịch vụ viễn thông, yêu cầu đặt ra là chất lượng đường truyền phải đảm bảo và tỷ lệ lỗi bit luôn dưới mức cho phép. Điều này dẫn tới các mã ‘sửa sai hướng đi’ có hiệu năng xử lý lỗi mạnh mẽ phải được sử dụng.

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

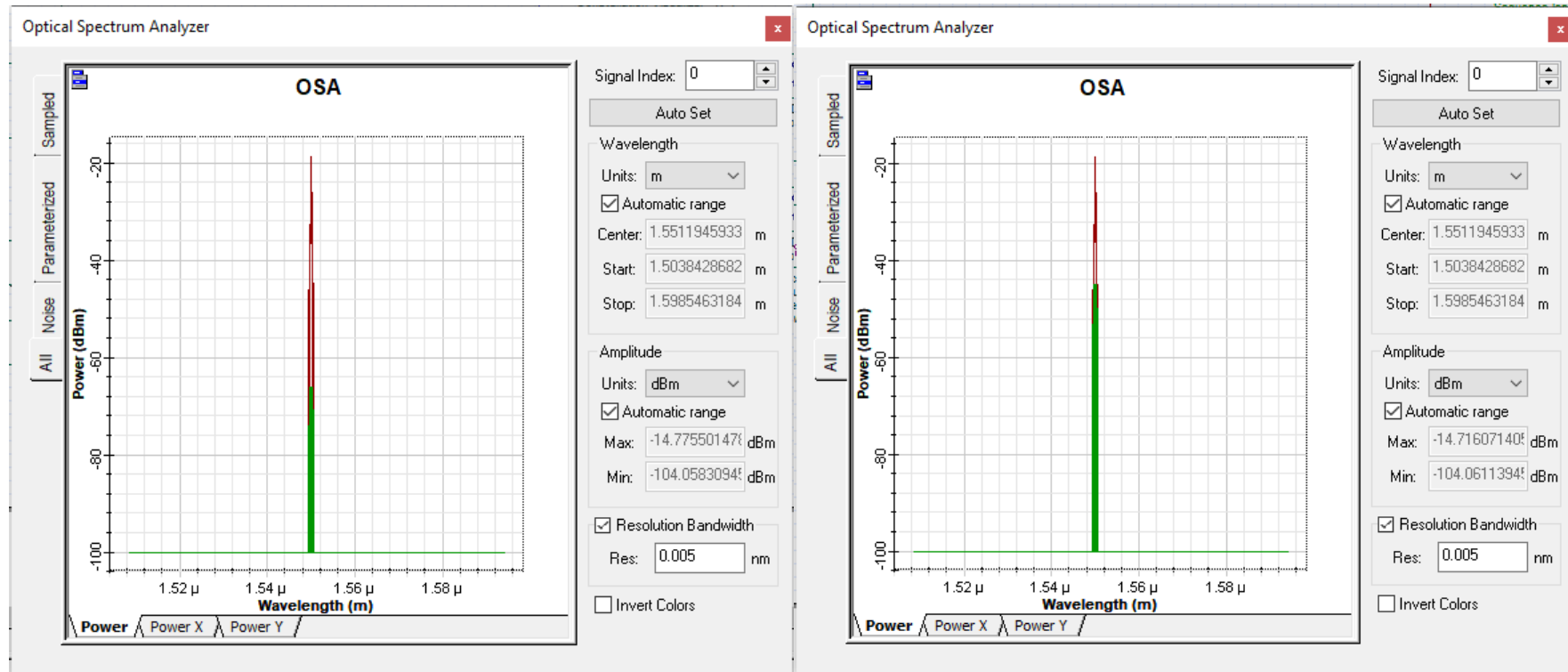
Sơ đồ hệ thống truyền tải quang 100 Gbps DP-QPSK không sử dụng DSP dùng trong mô phỏng được mô tả cụ thể trên hình 3.9.



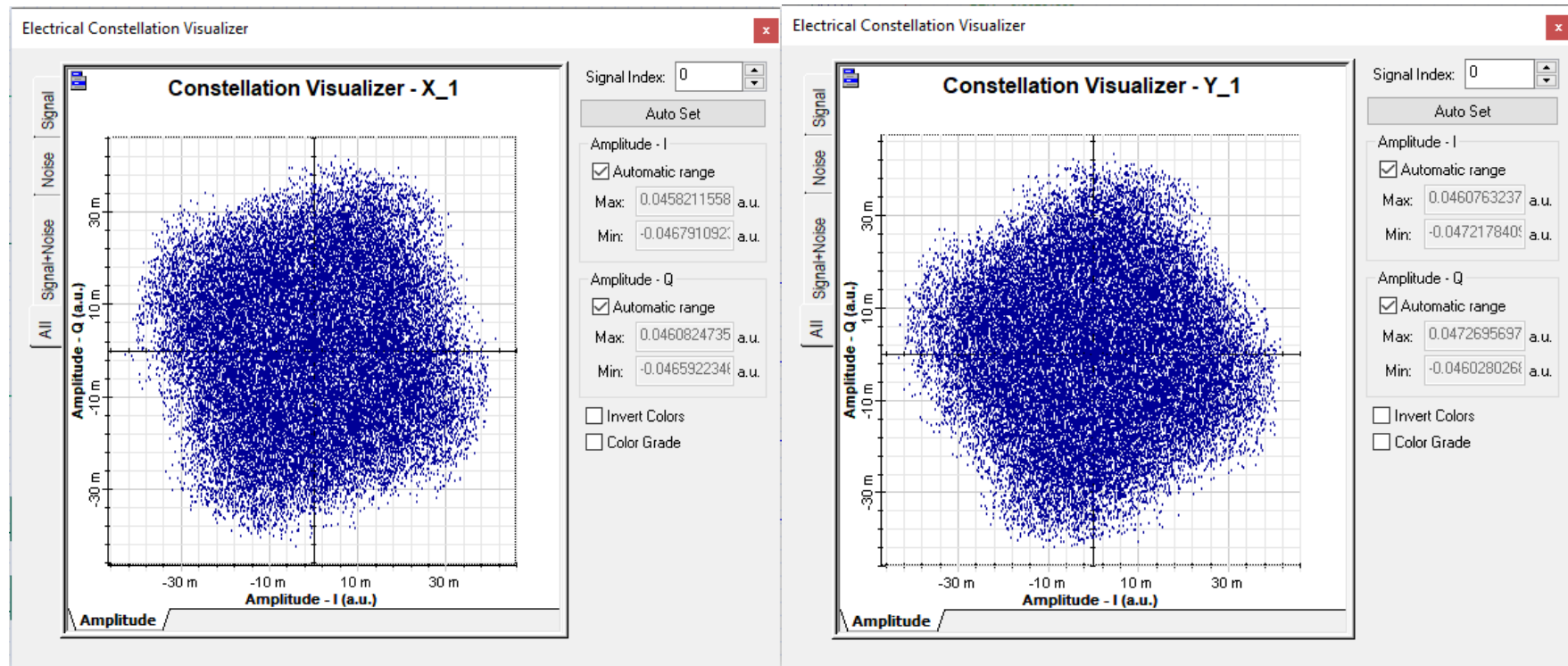
Hình 3.9. Sơ đồ hệ thống 100 Gbps DP-QPSK không có DSP



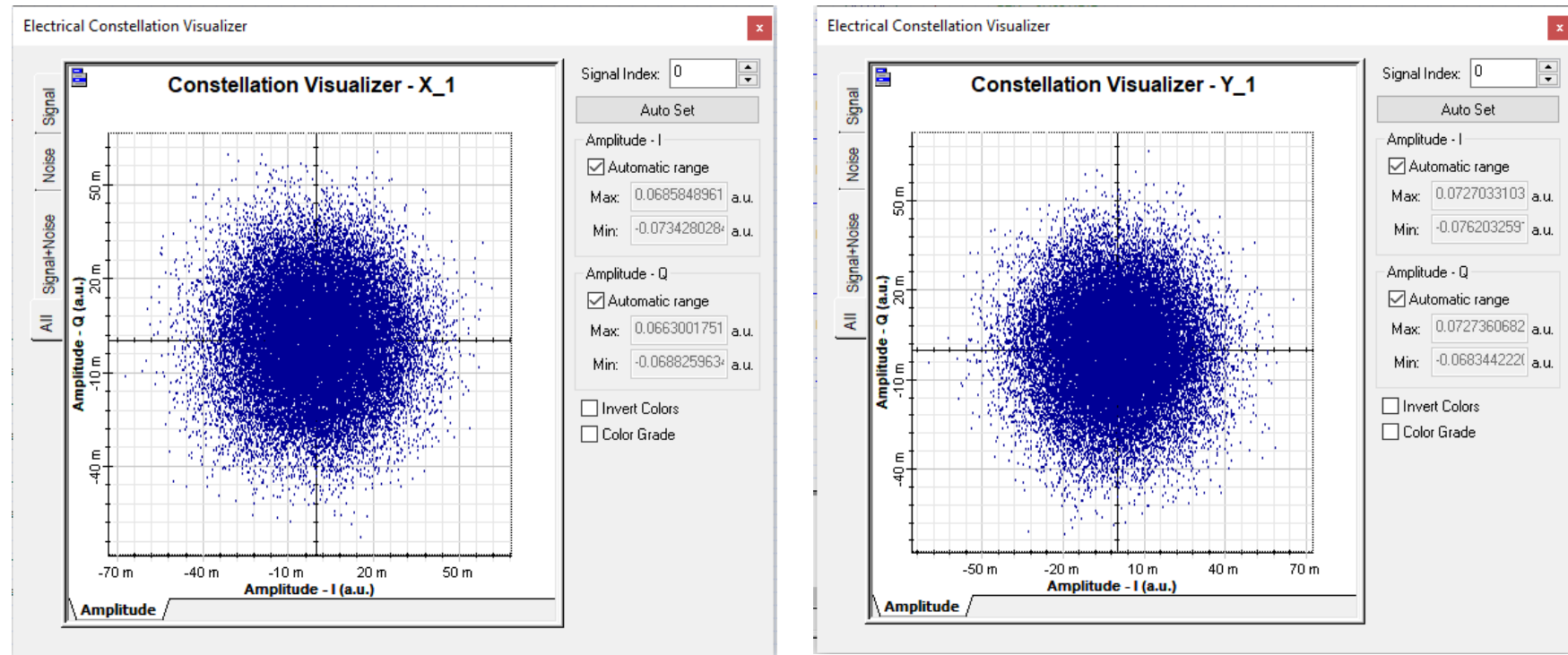
**Hình 3.10. Phổ của tín hiệu 100 Gbps sau máy phát
trên hệ thống không có DSP**



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 các 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 các 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.

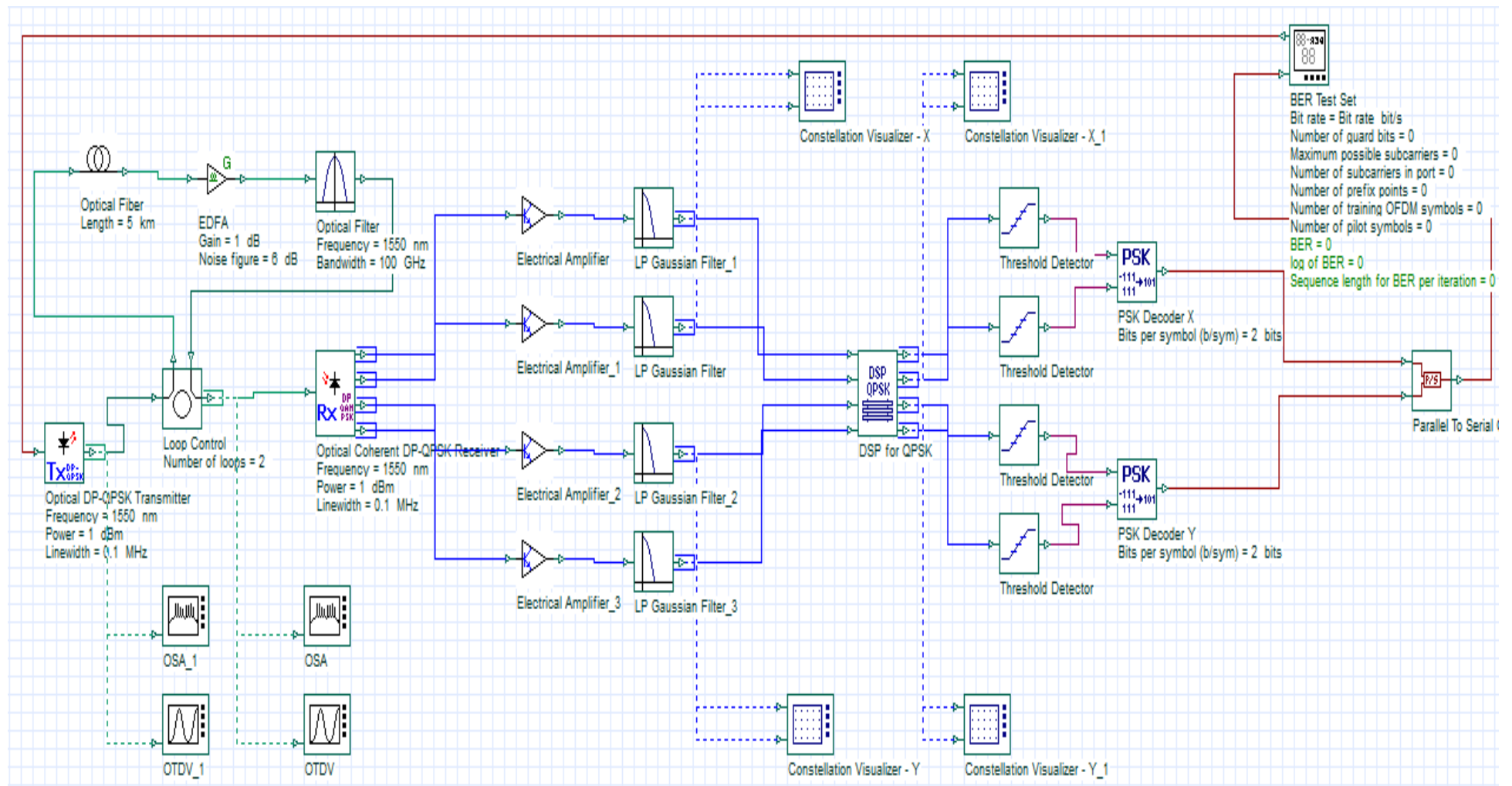
Sơ đồ hệ thống truyền tải quang 100 Gbps DP-QPSK có sử dụng DSP được mô tả cụ thể trên hình 3.14.

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

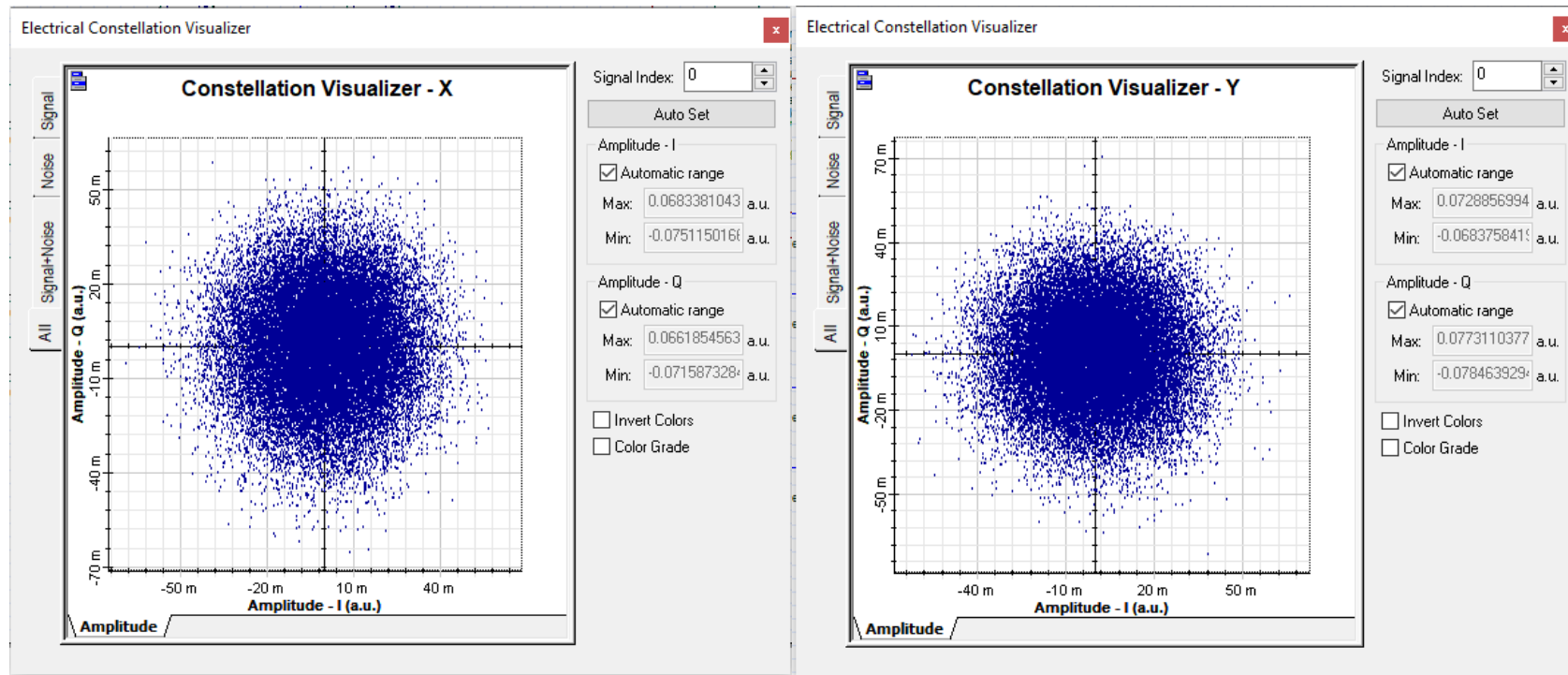
Máy phát DP-QPSK: Bước sóng 1550 nm, công suất 1 dBm, tốc độ 100Gbps.

Máy thu DP-QPSK: Bước sóng 1550 nm, công suất 1 dBm, photodetector PIN với $R = 1 \text{ A/W}$, Tốc độ 100 Gbps.

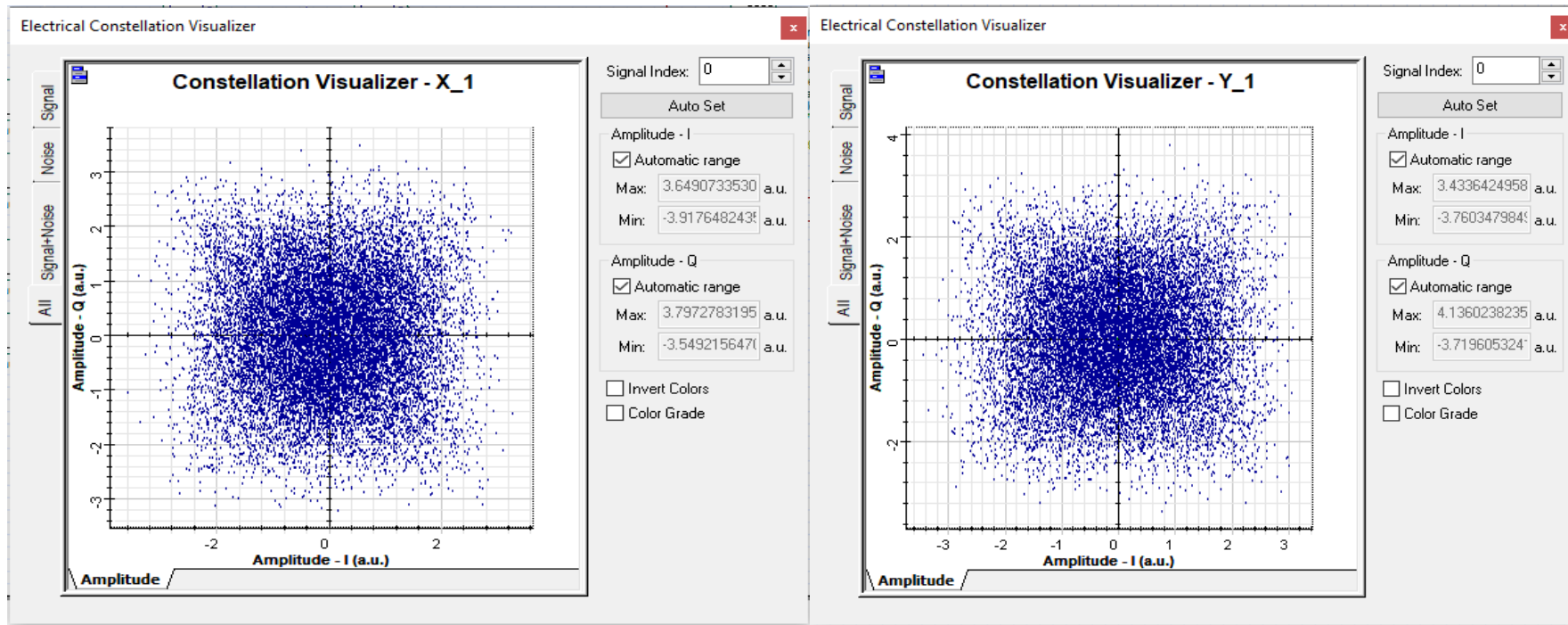
- Sợi quang : Chiều dài 5 và 50 Km, hệ số suy hao: 0,2 dB/km, hệ số tán sắc 16,75 ps/(nm.km), độ dốc tán sắc: 0,075 ps/nm²/km, Loop Control = 2.
- Khuếch đại quang: 1 bộ khuếch đại quang với gain phụ thuộc vào khoảng cách.
- Bộ xử lý số tốc độ cao DSP QPSK.
- Bộ kiểm tra BER.
- Ngoài ra: có 2 máy phân 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

**Hnh 3.17. Sơ đồ kết nối tuyến 100 Gbps từ Trạm Trung tâm đến Trạm Kinh Môn.
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
    Bit errors           0
    Errored blocks       0
  Ethernet FEC statistics
    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
  Bit errors : 0
  Errored blocks : 0
Ethernet FEC statistics
  FEC Corrected Errors : 57
  FEC Uncorrected Errors : 15
  FEC Corrected Errors Rate : 0
  FEC Uncorrected Errors Rate : 0
Link Degrade :
  Link Monitoring : Disable
Interface transmit statistics: Disabled

```

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.

KẾT LUẬN

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.

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.