

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Dương Lâm

**NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ THÔNG TIN QUANG
CO-OFDM-WDM VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP ỨNG DỤNG CHO
MẠNG ĐƯỜNG TRỰC VNPT HẢI DƯƠNG**

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

HÀ NỘI - 2021

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Dương Lâm

**NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ THÔNG TIN QUANG
CO-OFDM-WDM VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP ỨNG DỤNG CHO
MẠNG ĐƯỜNG TRỰC VNPT HẢI DƯƠNG**

Chuyên Ngành : Kỹ thuật Viễn thông

Mã Số : 8.52.02.08

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: TS. VŨ TUẤN LÂM

HÀ NỘI – 2021

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, trích dẫn tài liệu tham khảo trên các tạp chí, các trang web tham khảo đảm bảo theo đúng quy định và chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tôi xin cam đoan rằng, mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện luận văn này đã được cảm ơn và các thông tin trích dẫn trong luận văn đều được chỉ rõ nguồn gốc.

Tác giả luận văn

Dương Lâm

LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên xin em trân trọng gửi lời cảm ơn sâu sắc đến quý thầy cô Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông trong thời gian qua 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 TS. Vũ Tuấn Lâm, người hướng dẫn khoa học của luận văn, đã hướng dẫn tận tình và giúp đỡ về mọi mặt để hoàn thành luận văn.

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.....	vi
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT	ix
LỜI MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ GHÉP KÊNH QUANG	2
1.1. CÔNG NGHỆ OFDM QUANG.....	2
1.1.1. Sơ đồ hệ thống truyền dẫn OFDM quang.....	2
1.1.2. Các khối chức năng của hệ thống truyền dẫn OFDM quang.....	2
1.1.3. Nguyên lý OFDM.....	8
1.1.4. Mô hình hệ thống OFDM.....	10
1.1.5. Dung lượng hệ thống OFDM	11
1.1.6. Phân loại OFDM quang.....	11
1.2. KẾT LUẬN CHƯƠNG 1	12
CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT GHÉP KÊNH QUANG CO-OFDM- WDM.....	14
2.1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ COHERENT OFDM QUANG	14
2.1.1. Các khái niệm cơ bản trong công nghệ Coherent.....	15
2.1.2. Mô hình cấu trúc cơ bản của hệ thống thông tin quang Coherent ...	19
2.1.3. Các thành phần cơ bản của hệ thống thông tin quang Coherent.....	21
2.1.4. Những ưu điểm của hệ thống thông tin quang coherent.....	25
2.2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG COHERENT OFDM QUANG	26
2.2.1. Các khối phát và thu RF OFDM	28
2.3. KỸ THUẬT GHÉP KÊNH PHÂN CHIA THEO BƯỚC SÓNG WDM.....	30

2.3.1. Tổng quan về WDM	30
2.3.2. Sơ đồ khối tổng quát hệ thống WDM.....	31
2.3.3. Phân loại hệ thống WDM.....	32
2.3.4. Các phần tử cơ bản trong WDM	32
2.4. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ CO-OFDM-WDM COHERENT DUNG LƯỢNG LỚN	35
2.5. NGUYÊN LÝ GHEP BĂNG TRỰC GIAO CỦA HỆ THỐNG OBM-OFDM.....	36
2.6. PHỔ QUANG CỦA OBM-OFDM.....	38
2.7. GIẢI PHÁP THỰC THI GHEP BĂNG TRỰC GIAO CỦA HỆ THỐNG OBM-OFDM	39
<i>Thực hiện OFDM trong miền điện</i>	39
<i>Thực hiện OBM-OFDM trong miền quang</i>	41
2.8. HỆ THỐNG OB-OFDM 100Gb/s	41
2.8.1. Mô hình hệ thống OBM-OFDM 100Gb/s	41
2.8.2. Các thành phần chức năng của hệ thống OB-OFDM 100Gb/s.....	42
BỘ THU OBM-OFDM	44
2.9. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ SỬ DỤNG PHỔ TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN DẪN CO-OFDM 100Gb/s.....	46
2.10. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2.....	46
CHƯƠNG 3	47
ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ THÔNG TIN QUANG CO-OFDM-WDM CHO MẠNG ĐƯỜNG TRỰC VNPT HẢI DƯƠNG.....	47
3.1 MẠNG TRUYỀN TẢI ĐƯỜNG TRỰC BACKBON BẮC-NAM CỦA VNPT	48
3.1.1 HỆ THỐNG DWDM ĐƯỜNG TRỰC BẮC-NAM 120G CỦA NORTEL.....	48
3.1.2. HỆ THỐNG DWDM ĐƯỜNG TRỰC BẮC-NAM 240G CỦA NORTEL.....	49
3.2. <i>Mạng truyền tải quang của các VNPT tỉnh/ thành phố</i>	50
3.2.1. <i>Mạng MAN-E</i>	51
3.2.2. <i>Mạng truy nhập quang G-PON</i>	52

<i>3.3. Giải pháp ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho các mạng đường trục MAN-E của VNPT Hải Dương.....</i>	<i>56</i>
<i>Mạng truy nhập MAN-E.....</i>	<i>59</i>
3.4.CÁC DỊCH VỤ MẠNG MAN-E HẢI DƯƠNG ĐANG TRIỂN KHAI	61
3.5.KẾT LUẬN CHƯƠNG III.....	71

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Kiến trúc hệ thống OFDM quang	3
Hình 1.2. Bộ khuếch đại EDFA	4
Hình 1.3. Sơ đồ khối kỹ thuật DCO - OFDM	6
Hình 1.4. Sơ đồ khối hệ thống sử dụng kỹ thuật ACO OFDM.	6
Hình 1.5. Sơ đồ khối hệ thống sử dụng kỹ thuật điều chế IQ	7
Hình 1.6. Tiết kiệm phổ tần của OFDM so với FDM: (a) FDM, (b) OFDM	9
Hình 1.7. Phổ của các sóng mang trực giao	9
Hình 1.8. Sơ đồ chung cho một hệ thống điều chế đa sóng mang	10
Hình 1.9. Sơ đồ (a) OFDM quang phía phát (b) OFDM	11
Hình 2.1. Các dạng điều chế ASK, PSK và FSK	18
Hình 2.2. Sơ đồ hệ thống thông tin quang coherent	19
Hình 2.3. Dạng sóng của các dạng điều chế và chuỗi bit nhị phân là 10110	20
Hình 2.4. Mô hình điều chế quang kết hợp sử dụng MZM	21
Hình 2.5. Cấu hình cơ bản bộ thu quang Heterodyne	22
Hình 2.6. Cấu hình bộ thu quang Homodyne	23
Hình 2.7. So sánh phổ của tín hiệu PSK ở ngõ ra của bộ tách sóng quang Homodyne và Heterodyne.	24
Hình 2.8. Mô hình bộ thu quang kết hợp	25
Hình 2.9. Sự phụ thuộc độ nhạy vào tốc độ bit truyền	25
Hình 2.10. Khoảng cách trạm lặp phụ thuộc vào tốc độ truyền ..	26

Hình 2.11. Mô hình hệ thống CO-OFDM quang điển hình	27
Hình 2.12 Tách sóng coherent sử dụng bộ ghép lai và tách sóng photo cân bằng	29
Hình 2.13: Sơ đồ chức năng hệ thống WDM [3].	31
Hình 2.14: Hệ thống ghép bước sóng đơn hướng và song hướng [4].	32
Hình 2.15: Sơ đồ khối bên thu [4].	34
Hình 2.16. Sơ đồ phân bố phổ của OBM-OFDM.	37
Hình 2.17. Minh họa tách sóng một băng và hai băng trong OBM-OFDM	38
Hình 2.18. Phổ quang: (a) Ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) N kênh CO-OFDM; (b) Tín hiệu OFDM thu nhỏ đối với một bước sóng; (c) OFDM kênh không có khoảng bảo vệ ...	39
Hình 2.19. Sơ đồ OBM-OFDM: a) Sơ đồ trộn tín hiệu cho bộ phát, b) Sơ đồ mạch trộn tín hiệu cho bộ thu, c) Sơ đồ mạch trộn tín hiệu cho bộ điều chế/giải điều chế IQ.	41
Hình 2.20. Hệ thống truyền dẫn OBM-OFDM 100Gb	42
Hình 2.21. Phổ điện trực tiếp tại đầu ra của AWG	43
Hình 2.22. Điện phổ sau khi qua bộ lọc 3 GHz	44
Hình 2.23. Quang phổ của tín hiệu 100 Gb/s sử dụng bộ thu coherent phân cực.	45
Hình 2.24. Phổ RF ở bộ thu sau 3.8 GHz lọc anti-alias.	45
Hình 3.1. Mô hình mạng truyền tải đường trục của VNPT	47
Hình 3.2. Cấu trúc mạng của tuyến trục Backbone 120G của VNPT	49

Hình 3.3. Sơ đồ tuyến trực tuyến trực Backbone Bắc-Nam 240Gbps	50
Hình 3.4. Mô hình mạng MAN-E cho một tỉnh/thành phố của VNPT	52
Hình 3.5. Mô hình OFDM-PON.	53
Hình 3.6. Mô hình CO-OFDM-WDM CHO PON	55
Hình 3. 7: Sơ đồ kết nối mạng MAN-E của VNPT Hải Dương ...	57
Hình 3.8 : Thiết bị Router Core Juniper MX2020	58
Hình 3.9 : Sơ đồ mạng CORE MAN-E của Hải Dương	59
Hình 3. 10: Thiết bị Router Juniper MX960	60
Hình 3. 11: Mô hình dịch vụ HSI PPPoE – GPON trên mạng MAN-E	63
Hình 3. 12: Mô hình dịch vụ HSI PPPoE – FTTX trên mạng MAN-E	64
Hình 3. 13: Mô hình dịch vụ MyTV tại Hải Dương	65
Hình 3. 14: Lan mở rộng sử dụng dịch vụ E-LAN	67
Hình 3. 15: Intranet/Extranet L2VPN	68

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Nghĩa tiếng anh	Nghĩa tiếng việt
ADC	Analog-to-digital converter)	Mạch chuyển đổi tương tự ra số
ASK	Amplitude shift keying	Điều chế số theo biên độ tín hiệu
DAB		Điều chế số theo biên độ tín hiệu
DAC	Digital-to-analog converter	mạch chuyển đổi số ra tương tự
DVB	Digital video broadcasting	Điều chế số theo tần số tín hiệu
DFT	Discrete fourier transform	Phep biến đổi fourier rời rạc
FSK	Frequency shift keying	
MCM	Multicarrier modulation	Phương pháp điều chế đa sóng mang
MIMO	Multiple input - multiple output	Nhiều đầu vào nhiều đầu ra
ISI	Inter symbol interference	Nhiều xuyên âm
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing	Ghép kênh phân chia theo tần số trực giao
PSK	Phase shift keying	Điều chế số theo pha tín hiệu
SNR	Signal to noise ratio	Tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu
QPSK	Quadrature phase shift keying	Điều chế pha cầu phương
RF	Radio frequency	Sóng điện từ tần số cao
VCO	Voltage controlled oscillator	Bộ dao động điều khiển bằng điện áp

LỜI MỞ ĐẦU

Ngày nay, nhu cầu truyền thông của xã hội ngày càng lớn với nhiều dịch vụ mới băng rộng đa phương tiện, vì vậy mạng truyền dẫn cần phải có khả năng truyền tải tốc độ và dung lượng lớn.

Mạng viễn thông VNPT Hải Dương với 363 trạm 3G; 361 trạm 4G; 109 OLT; 189 SWL2 cung cấp đa dịch vụ. Một mạng cung cấp dịch vụ như thế phải có một mạng truyền dẫn dung lượng lớn để đáp ứng nhu cầu phục vụ.

Mục tiêu nghiên cứu, tìm hiểu và nắm bắt công nghệ thông tin quang CO-OFDM-WDM nội dung luận văn tập trung nghiên cứu, khảo sát và đề xuất giải pháp ứng dụng cho mạng đường trục của VNPT Hải Dương.

Vì vậy, em đã chọn đề tài luận văn tốt nghiệp của mình là: **“Nghiên cứu công nghệ thông tin quang CO-OFDM-WDM và đề xuất giải pháp ứng dụng cho mạng đường trục của VNPT Hải Dương”**

Công nghệ CO-OFDM-WDM là công nghệ thông tin quang kết hợp ba công nghệ thông tin quang Coherent ghép kênh phân chia theo tần số trực giao kết hợp với ghép băng trực giao CO-OFDM-WDM là công nghệ tiên tiến tạo ra một giải pháp công nghệ truyền thông có khả năng truyền tải dung lượng lớn, tốc độ cao.

Để thực hiện mục tiêu trên, đề tài luận văn gồm các nội dung sau:

Chương 1: Tổng quan về kỹ thuật ghép kênh quang

Chương 2: Tổng quan về kỹ thuật ghép kênh quang CO-OFDM-WDM.

Chương 3: Đề xuất giải pháp ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng đường trục của VNPT Hải Dương và mô phỏng đánh giá hiệu năng.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ GHÉP KÊNH QUANG

1.1. Công nghệ OFDM quang

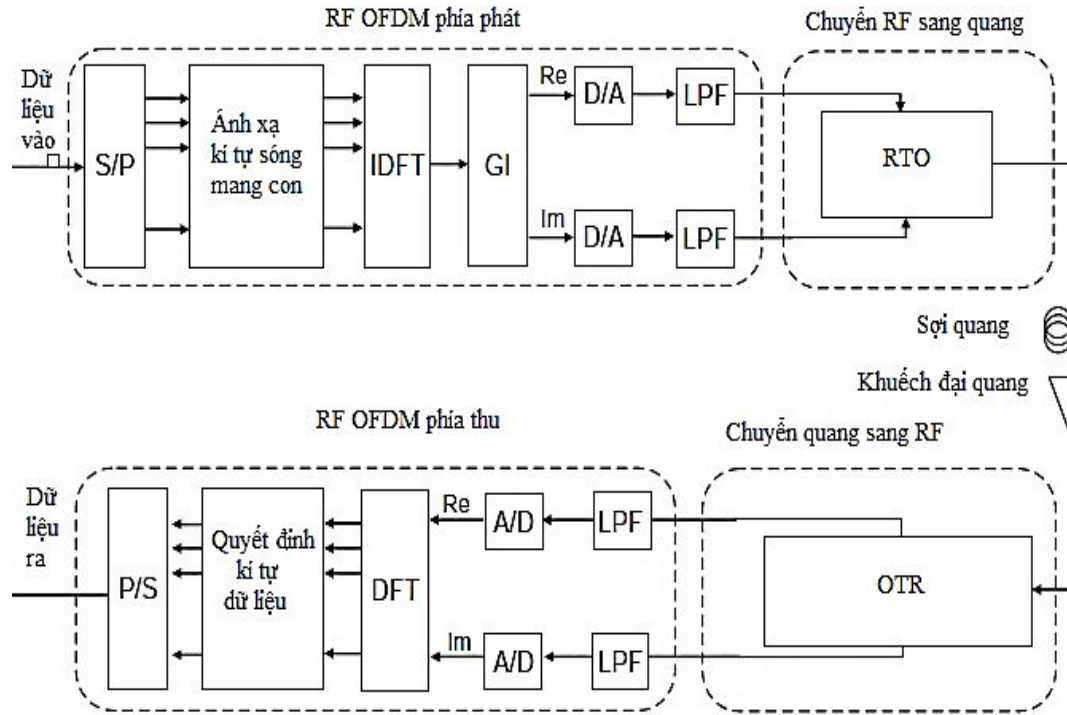
1.1.1. Sơ đồ hệ thống truyền dẫn OFDM quang

Mô hình của một hệ thống OFDM qua bao gồm năm khối chức năng cơ bản: Khối phát RF OFDM, chuyển đổi từ RF sang quang (RTO), đường truyền quang, chuyển đổi quang sang RF (OTR) và khối thu RF OFDM. Trong phần này, RF được sử dụng để thay thế cho nhau trong miền điện để biểu thị cho giao diện vật lý điều đó trái ngược trong miền quang. Độ tuyến tính kênh truyền dẫn là cơ sở giả định trong OFDM. Do đó, nghiên cứu tính phi tuyến trong mỗi khối chức năng có tầm quan trọng lớn. Khối phát và thu RF OFDM đã được nghiên cứu trong hệ thống RF và như vậy nó vẫn giữ vai trò quan trọng trong hệ thống OFDM.

1.1.2. Các khối chức năng của hệ thống truyền dẫn OFDM quang

1.1.1.1. Khối phát RF OFDM

Như đã trình bày trong nội dung về hệ thống OFDM, khối phát RF OFDM bao gồm bộ chuyển đổi nối tiếp-song song (S/P), bộ ánh xạ ký tự sóng mang con, bộ điều chế IDFT, bộ chèn khoảng bảo vệ GI và bộ biến đổi D/A.



Hình 1.1. Kiến trúc hệ thống OFDM quang

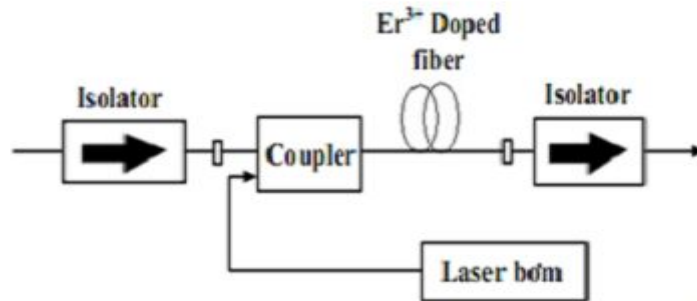
Dữ liệu đầu vào nối tiếp được đưa vào bộ S/P (chuyển đổi nối tiếp sang song song), tại đây dữ liệu sẽ được chuyển thành N_{sc} “kí tự thông tin” song song. Những kí tự này sẽ được đưa vào bộ mapper nhằm nâng cao dung lượng kênh truyền. Tín hiệu trong miền thời gian thu được sau khi qua bộ ánh xạ (mapper) sẽ được đưa đến bộ điều chế OFDM (IDFT). Khối IDFT này có nhiệm vụ rời rạc hóa tín hiệu OFDM trong miền thời gian, giả sử tín hiệu thu được sau khi biến đổi IDFT là c_{ki} và sau đó được chèn một khoảng bảo vệ nhờ bộ chèn GI để tránh phân tán kênh, chống nhiễu ISI (nhiều liên kí tự) và nhiễu ICI (nhiều kênh lân cận). Khoảng bảo vệ sẽ được thêm vào dạng sóng của tín hiệu OFDM.

1.1.1.2. Khối chuyển RF sang quang và khối chuyển quang sang RF

Sau khi thu được tín hiệu băng gốc thì phần thực và phần ảo của tín hiệu này được bộ RTO điều chế quang để chuyển thành tín hiệu quang và sau đó đưa lên

đường truyền quang. Trong kỹ thuật OFDM quang có 3 giải pháp điều chế, đó là: điều chế quang trực tiếp, điều chế quang gián tiếp và điều chế I-Q.

Trong các loại OFA, có bộ khuếch đại quang EDFA và bộ khuếch đại quang Raman. Hiện nay, bộ khuếch đại quang EDFA được sử dụng khá phổ biến. Dưới đây là hình vẽ minh họa cho một bộ khuếch đại EDFA:



Hình 1.2. Bộ khuếch đại EDFA

Ở phía thu, tín hiệu OFDM quang được chuyển đổi thành tín hiệu OFDM RF là quá trình ngược lại so với phía phát chuyển đổi tín hiệu OFDM RF thành tín hiệu quang.

1.1.1.3. Khối thu RF OFDM

Ở phía thu, tín hiệu OFDM hạ tần được lấy mẫu với một bộ ADC, sau đó tín hiệu này cần đưa qua ba mức đồng bộ phức tạp trước khi quyết định kí tự dữ liệu, ba mức đồng bộ:

1. Đồng bộ cửa sổ DFT trong đó các kí tự OFDM được mô tả đúng để tránh nhiễu liên kí tự. Đồng bộ ký tự nhằm xác định chính xác thời điểm bắt đầu một ký tự OFDM. Hiện nay, với kỹ thuật sử dụng tiền tố lặp (CP) thì đồng bộ ký tự đã được thực hiện một cách dễ dàng hơn.
2. Đồng bộ tần số, cụ thể là dịch tần được ước lượng, được bù trừ và hơn thế nữa là được hiệu chỉnh tới một giá trị nhỏ nhất khi bắt đầu. Người ta đưa ra hai phương pháp để khắc phục sự bất đồng bộ này. Phương pháp thứ nhất là

sử dụng bộ dao động điều khiển bằng điện áp (Voltage Controlled Oscillator-VCO). Phương pháp thứ hai được gọi là: Lấy mẫu không đồng bộ. Trong phương pháp này, các tần số lấy mẫu vẫn được giữ nguyên nhưng tín hiệu được xử lý số sau khi lấy mẫu để đảm bảo sự đồng bộ.

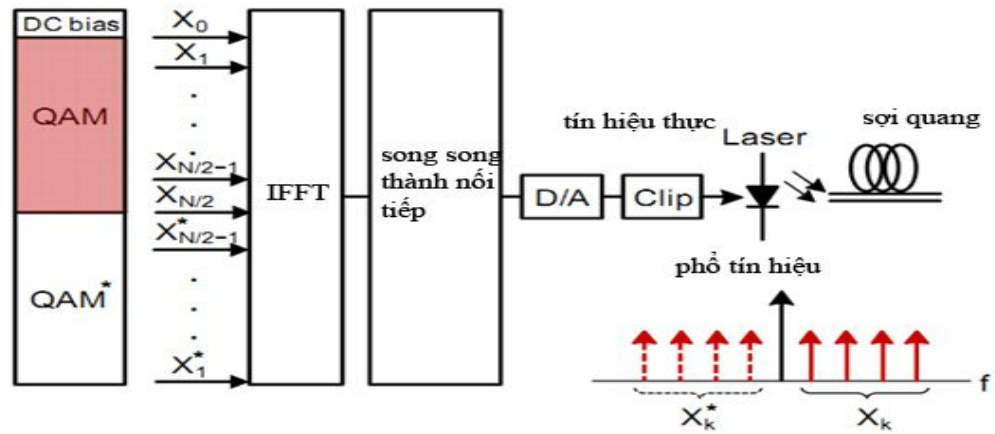
3. Khôi phục sóng mang con, mỗi kênh sóng mang con được ước lượng và bù trừ. Ước lượng kênh (Channel estimation) trong hệ thống OFDM là xác định hàm truyền đạt của các kênh con và thời gian để thực hiện giải điều chế bên thu khi bên phát sử dụng kiểu điều chế kết hợp (coherent modulation). Để ước lượng kênh, phương pháp phổ biến hiện nay là dùng tín hiệu dẫn đường (PSAM-Pilot signal assisted Modulation).

1.1.1.4. Phương pháp điều chế dùng cho O-OFDM

Để có thể chuyển đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang, tín hiệu điện phải là tín hiệu thực không âm. Trong khi kỹ thuật OFDM thông thường chỉ tạo ra tín hiệu phức, và lưỡng cực. Nên cần có một số phương pháp để kỹ thuật OFDM có thể tạo ra tín hiệu thực và không âm. Từ các dạng tín hiệu này mới có thể áp dụng các phương pháp điều chế cường độ như đã trình bày ở trên. Các kỹ thuật đó là DCO OFDM (DC-Biased Optical OFDM), ACO OFDM (Asymmetric Clip Optical - OFDM), Flip OFDM và kỹ thuật điều chế I-Q [2, 3].

Kỹ thuật DCO OFDM

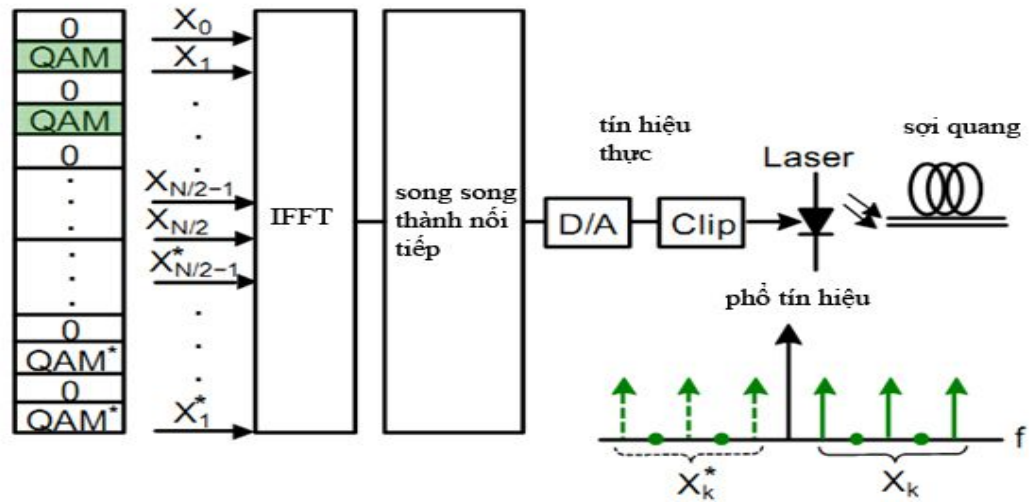
Sơ đồ khối kỹ thuật DCO – OFDM được mô tả ở hình vẽ. Trong hệ thống sử dụng kỹ thuật DCO – OFDM, các thông tin dữ liệu được phân bổ với các sóng mang con như sau: $X_0 \div X_{N/2-1}$ và $X_{N/2}^* \div X_N^*$. Trong đó, N là số sóng mang con khả dụng.



Hình 1.3. Sơ đồ khối kỹ thuật DCO - OFDM

Kỹ thuật ACO OFDM

Sơ đồ khối kỹ thuật ACO – OFDM được mô tả ở hình 1.4.



Hình 1.4. Sơ đồ khối hệ thống sử dụng kỹ thuật ACO OFDM.

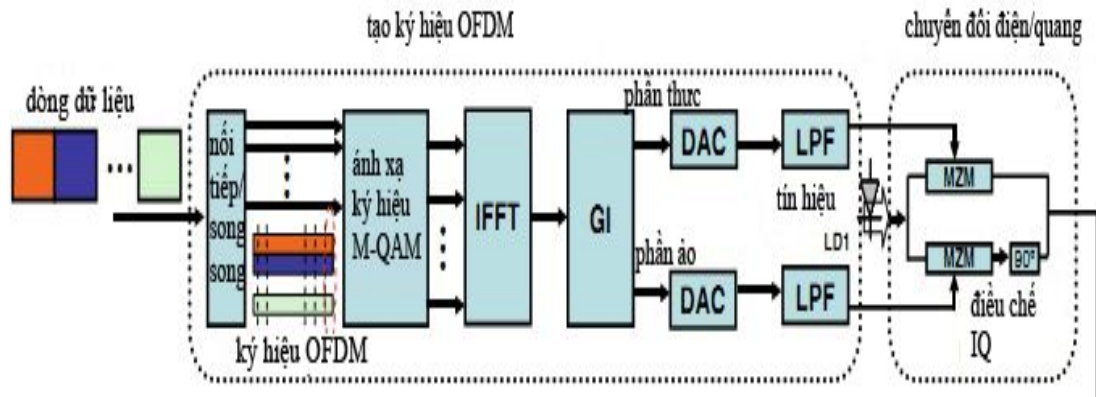
Hệ thống sử dụng kỹ thuật ACO OFDM có một số ưu điểm sau:

- Tránh việc sử dụng điện áp dịch DC. Điện áp dịch DC này không mang thông tin hữu ích nên sẽ làm giảm hiệu suất sử dụng nguồn.

- Các giá trị biên độ lớn của tín hiệu vẫn được điều chế với dải hoạt động lớn của LED hoặc Lazer.

Kỹ thuật điều chế I/Q

Sơ đồ khối kỹ thuật I/Q OFDM được mô tả ở hình 1.5



Hình 1.5. Sơ đồ khối hệ thống sử dụng kỹ thuật điều chế IQ

Từ sơ đồ khối ta có thể thấy tín hiệu sau bộ IFFT vẫn là tín hiệu ảo. Tín hiệu ảo này có thể được biểu diễn thành 2 thành phần là thành phần tín hiệu thực và thành phần tín hiệu ảo, và khi biểu diễn như vậy, phần thực và phần ảo của tín hiệu đều là các tín hiệu thực.

Tiếp theo nó sẽ xử lý từng phần như đối với hệ thống sử dụng kỹ thuật DCO OFDM bằng cách cộng thiên áp DC với cả thành phần thực và thành phần ảo. Sau đó cả thành phần thực và thành phần ảo được điều chế gián tiếp sử dụng bộ điều chế ngoài Mach Zehnder MZM. Riêng đối với thành phần tín hiệu ảo, nó bị làm trễ 90° tức là thành phần tín hiệu ảo sẽ truyền ngay sau thành phần tín hiệu thực.

1.1.1.5. Tách sóng quang trong O-OFDM

Tách sóng là quá trình tìm lại tín hiệu điều chế. Tín hiệu tách sóng phải có dạng giống nhất với tín hiệu gốc ban đầu. Trong thông tin sợi quang, có 2 phương pháp tách sóng là tách sóng trực tiếp và tách sóng coherent.

❖ *Tách sóng trực tiếp*

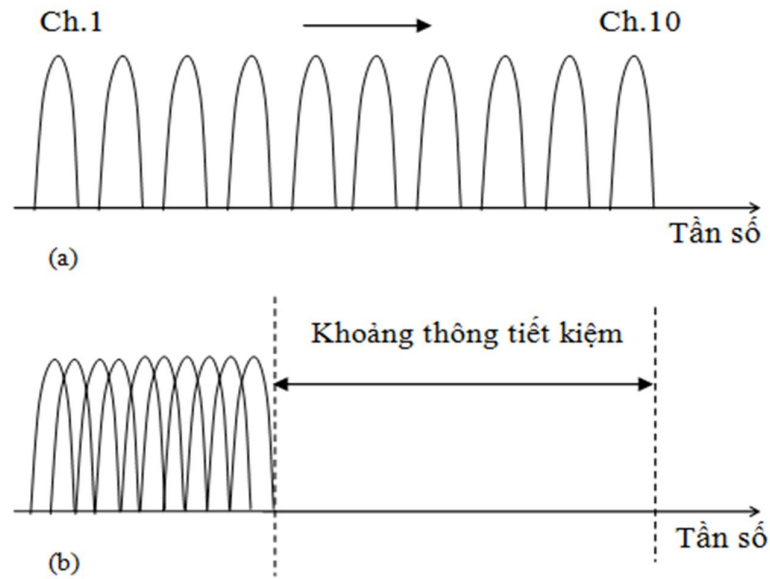
Phương pháp tách sóng trực tiếp là phương pháp tìm lại tín hiệu quang đã điều chế cường độ bằng cách đếm số lượng hạt photon đến bộ thu nhờ các thiết bị PIN, APD hay còn gọi là các bộ thu quang. Quá trình này bỏ qua pha và sự phân cực cả sóng mang được tạo ra từ các linh kiện quang. Phương pháp này có nhược điểm là nhiễu tạo ra từ bộ tách sóng quang và bộ tiền khuếch đại cao.

❖ *Tách sóng coherent*

Có hai kỹ thuật tách sóng Coherent: Tách sóng heterodyne và tách sóng homodyne. Trong kỹ thuật tách sóng heterodyne, tín hiệu OFDM băng gốc trước tiên được đưa lên tần số trung tần ở miền điện, sau đó tín hiệu OFDM trung tần được điều chế trên sóng mang quang nhờ một bộ điều chế MZM. Ở phía thu tín hiệu quang OFDM trước tiên được chuyển về tín hiệu điện OFDM ở trung tần. Sau đó được tách sóng I/Q được thực hiện ở miền điện. Trong tách sóng homodyne, sóng mang quang sử dụng một bộ điều chế điện – quang bao gồm hai bộ điều chế MZM riêng biệt được sử dụng để điều chế hai thành phần I/Q của tín hiệu OFDM. Ở phía thu, tín hiệu quang OFDM được tách làm hai phần I/Q ngay trong miền quang nhờ sử dụng hai bộ thu cân bằng (gồm 4 photo-detector ghép thành 2 bộ) và một bộ ghép lai 90° . Bộ thu RF OFDM xử lý tín hiệu OFDM ở băng gốc để khôi phục lại dữ liệu ban đầu.

1.1.3. Nguyên lý OFDM

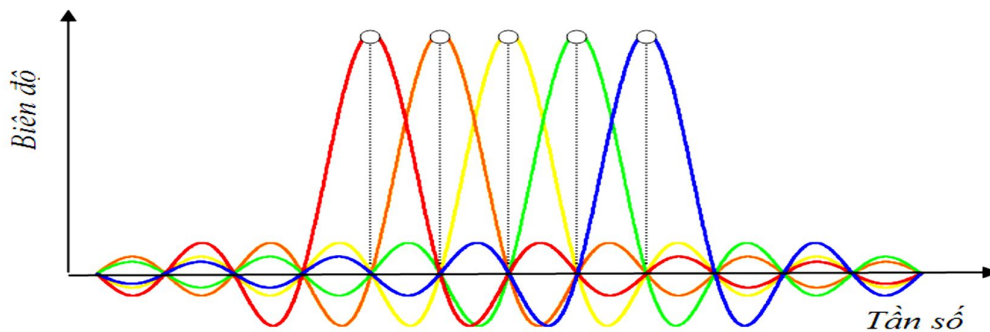
Nguyên lý cơ bản của OFDM là chia nhỏ một luồng dữ liệu tốc độ cao trước khi phát thành nhiều luồng dữ liệu tốc độ thấp hơn và phát mỗi luồng dữ liệu đó trên một sóng mang con khác nhau. Các sóng mang này là trực giao với nhau, điều này được thực hiện bằng cách chọn độ giãn tần số một cách hợp lý.



Hình 1.6. Tiết kiệm phổ tần của OFDM so với FDM: (a) FDM, (b) OFDM

1.1.3.1 Tính trực giao trong OFDM

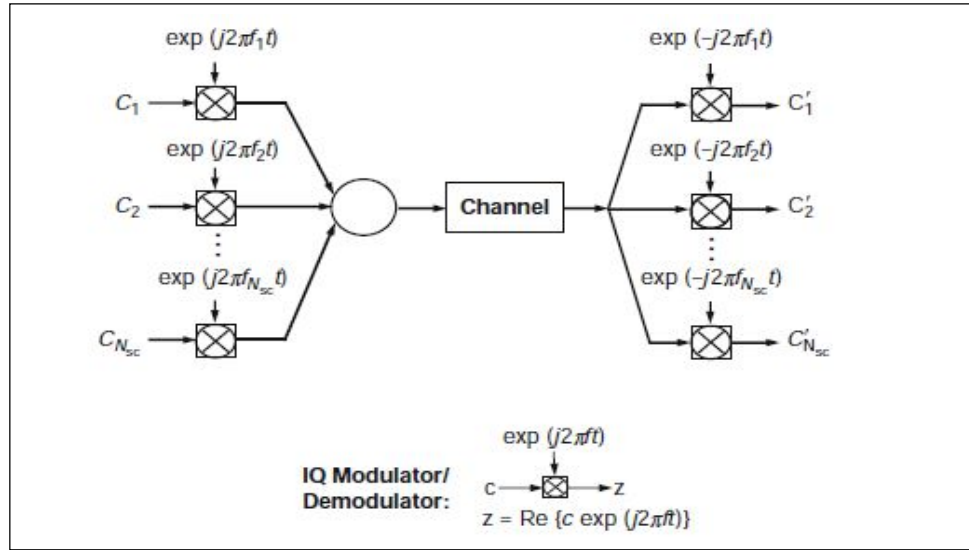
Các tín hiệu là trực giao nhau nếu chúng độc lập với nhau. Tính trực giao là một tính chất cho phép nhiều tín hiệu thông tin được truyền và thu tốt trên một kênh truyền chung và không có xuyên nhiễu giữa các tín hiệu này. Mất đi tính trực giao sẽ làm cho các tín hiệu thông tin này bị xuyên nhiễu lẫn nhau và đầu thu khó khôi phục lại được hoàn toàn thông tin ban đầu.



Hình 1.7. Phổ của các sóng mang trực giao

1.1.3.2. Mô tả toán học tín hiệu OFDM

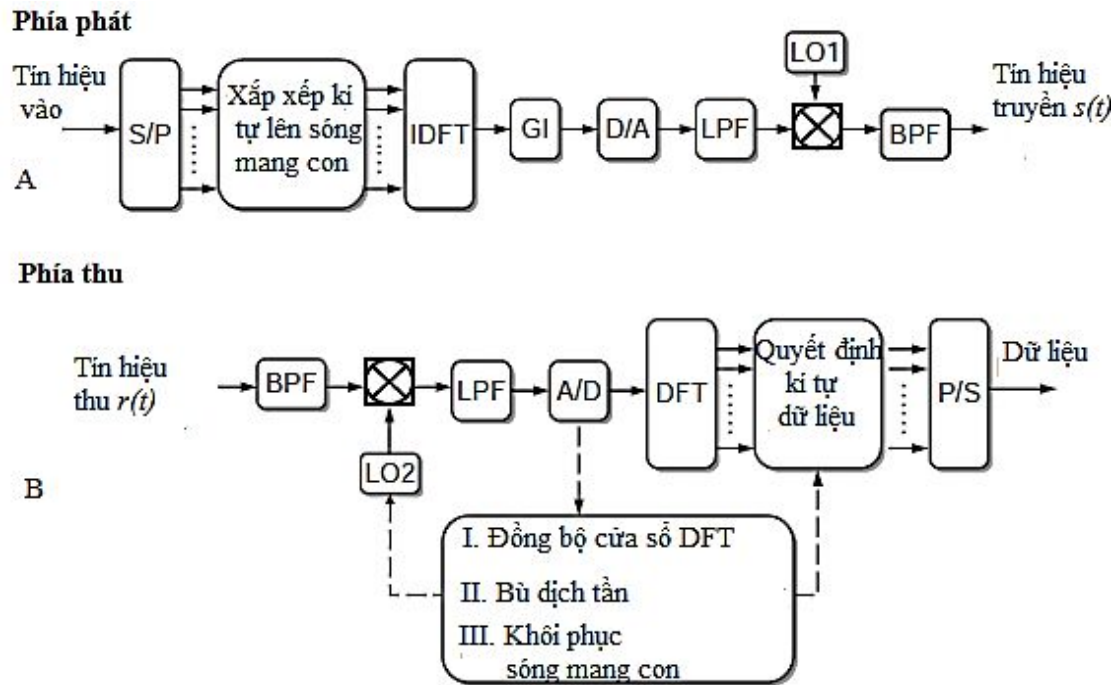
Cấu trúc của một bộ nhân phức tạp (điều chế IQ/ giải điều chế IQ), nó thường được sử dụng trong hệ thống MCM, cũng được thể hiện trong hình. Tín hiệu truyền MCM $s(t)$ được biểu diễn [1]:



Hình 1.8. Sơ đồ chung cho một hệ thống điều chế đa sóng mang

1.1.4. Mô hình hệ thống OFDM

Mô hình hệ thống OFDM được chỉ ra ở hình 1.9 [1]. Tại phía phát, bit dữ liệu đầu vào nối tiếp đầu tiên được chuyển đổi thành nhiều luồng dữ liệu song song, ánh xạ lên mỗi kí hiệu thông tin tương ứng cho mỗi sóng mang con với một kí hiệu OFDM và tín hiệu số trong miền thời gian thu được bằng việc biến đổi IDFT, sau đó được đưa vào một khoảng bảo vệ và chuyển đổi thành dạng sóng thời gian thực thông qua DAC. Khoảng bảo vệ được đưa vào để ngăn cản nhiễu giao thoa kí tự (ISI) do kênh phân tán. Tín hiệu băng gốc có thể được chuyển đổi nâng tần thành RF thích hợp với một bộ điều chế. Tại phía thu, tín hiệu OFDM được chuyển đổi hạ tần thành tín hiệu băng gốc với bộ giải điều chế, lấy mẫu với ADC, và sau đó giải điều chế bởi thực hiện DFT và tín hiệu băng gốc được xử lí để phục hồi dữ liệu.



Hình 1.9. Sơ đồ (a) OFDM quang phía phát (b) OFDM phía thu

1.1.5. Dung lượng hệ thống OFDM

Xét cho trường hợp đơn giản với giả thiết là cấu hình các sóng mang con giống nhau, nghĩa là tất cả các sóng mang con đều có chung một cấu hình (điều chế, mã hóa, băng thông, công suất...).

Trong một hệ thống OFDM ta có thể thay đổi các thông số này để đạt được tốc độ bit tốt nhất nhưng vẫn đảm bảo QoS cho hoàn cảnh cụ thể của kênh tại thời điểm xét.

1.1.6. Phân loại OFDM quang

Trong kỹ thuật OFDM quang, có 2 vấn đề quan trọng quyết định: đó là quá trình điều chế quang để tạo tín hiệu quang đưa lên đường quang và tách sóng quang tìm lại tín hiệu điều chế.

Trong điều chế quang, người ta có thể sử dụng 2 giải pháp điều chế, đó là điều chế quang trực tiếp (điều chế cường độ ánh sáng) và điều chế quang gián tiếp (điều chế ngoại).

Điều chế trực tiếp là điều chế được thực hiện bằng cách sử dụng tín hiệu cần truyền dẫn trên đường truyền làm thay đổi dòng điện kích thích chạy qua Lazer. Độ phát sáng của lazer phụ thuộc vào tín hiệu cần truyền dẫn.

Khác với điều chế trực tiếp, việc điều chế tín hiệu không được thực hiện bên trong lazer mà được thực hiện bởi một linh kiện quang bên ngoài gọi là bộ điều chế ngoài (external modulator). Ánh sáng do lazer phát ra dưới dạng sóng liên tục CW (continuous wave). Có hai loại bộ điều chế ngoài được sử dụng hiện nay: Mach-Zehnder Modulator (MZM) và Electroabsorption Modulator (EA).

Trong tách sóng quang, người ta cũng có 2 giải pháp tách sóng quang, đó là tách sóng trực tiếp và tách sóng coherent.

Phương pháp tách sóng trực tiếp là phương pháp tìm lại tín hiệu quang đã điều chế cường độ bằng cách đếm số lượng hạt photon đến bộ thu nhờ các thiết bị PIN, APD hay còn gọi là các bộ thu quang. Quá trình này bỏ qua pha và sự phân cực của sóng mang được tạo ra từ các linh kiện quang. Phương pháp này có nhược điểm là nhiễu tạo ra từ bộ tách sóng quang và bộ tiền khuếch đại cao.

Khác với hệ thống tách sóng trực tiếp chỉ sử dụng các bộ tách quang là PIN hoặc APD thì trong hệ thống sử dụng tách sóng coherent còn có thêm một phần tử tạo dao động nội bởi một lazer diode ở phía thu để trộn với tín hiệu ánh sáng tới.

Từ sự phân tích ở trên, ta có thể thấy sự khác nhau của các hệ thống OFDM quang chính là việc sử dụng các bộ tách sóng quang khác nhau. Như vậy có 2 loại hệ thống OFDM quang. Đó đó là: Hệ thống OFDM quang sử dụng kỹ thuật tách sóng trực tiếp (DDO-OFDM) và hệ thống OFDM quang sử dụng kỹ thuật tách sóng Coherent (CO-OFDM).

1.2. Kết luận chương 1

Chương 1 đã trình bày nguyên lý chung của công nghệ OFDM và trên cơ sở đó trình bày nguyên lý của công nghệ OFDM quang. OFDM là một hệ thống đa sóng mang trong đó luồng số liệu cần truyền được chia nhỏ và được truyền trên các sóng mang con trực giao với nhau.

Đồng thời, chương 1 cũng trình bày các phần tử cơ bản của máy thu, máy phát OFDM quang, các phương pháp điều chế và các phương pháp tách sóng trong OFDM quang; và phân loại các hệ thống OFDM quang. Trong kỹ thuật OFDM quang, có 2 loại hệ thống OFDM quang. Đó đó là hệ thống OFDM quang sử dụng kỹ thuật tách sóng trực tiếp, ký hiệu là DDO-OFDM và hệ thống OFDM quang sử dụng kỹ thuật tách sóng Coherent, ký hiệu là CO-OFDM.

CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT GHÉP KÊNH QUANG CO-OFDM-WDM

2.1. Tổng quan về công nghệ Coherent OFDM quang

Công nghệ Coherent OFDM quang (CO-OFDM) là sự tích hợp của 2 công nghệ: công nghệ OFDM quang và công nghệ quang Coherent. Chính vì vậy, công nghệ CO-OFDM sẽ kế thừa được các ưu việt của cả 2 công nghệ Coherent và OFDM quang. Đó là nâng cao độ nhạy máy thu, hiệu suất quang phổ cao và giảm sự ảnh hưởng của tán sắc.

Việc tích hợp 2 công nghệ quang Coherent và OFDM quang còn có tác động hỗ trợ phát huy ưu việt của cả 2 công nghệ:

- Công nghệ OFDM mang đến cho hệ thống coherent hiệu quả tính toán, dễ dàng ước lượng kênh và pha;
- Công nghệ Coherent đem lại cho OFDM đạt tính tuyến tính cần thiết trong chuyển đổi đường lên từ miền RF sang miền quang (RTO) và trong chuyển đổi đường xuống từ miền quang sang miền RF (OTR). Mà truyền dẫn tuyến tính là mục tiêu quan trọng cho việc thực hiện OFDM.
- Tách sóng trực tiếp tín hiệu quang đã điều chế cường độ là quá trình đã bỏ qua đặc tính pha và sự phân cực của sóng mang quang được tạo ra từ linh kiện quang.
- Nhiều của bộ thu tách sóng trực tiếp và bộ tiền khuếch đại cao. Do đó độ nhạy của hệ thống tách sóng thấp,...

Để khắc phục các hạn chế của hệ thống IM-DD, người ta đã phát triển công nghệ thông tin quang coherent. Trong hệ thống thông tin quang coherent người ta thường sử dụng kỹ thuật điều biến quang gián tiếp ở phía phát và giải điều biến quang gián tiếp ở phía thu. Tức là:

- Ở phía phát, có một nguồn quang phát ra ánh sáng dao động nội với bước sóng λ_1 (thường là laser bán dẫn có độ rộng phổ hẹp phát ra ánh sáng liên tục). Tín hiệu truyền dẫn được đưa vào điều biến với tín hiệu ánh sáng dao động nội tạo

thành tín hiệu ánh sáng truyền dẫn và được ghép vào sợi quang. Bộ điều biến quang ngoài thường được sử dụng là các mạch quang tổ hợp, ví dụ như LiNbO₃ - Mach-Zehnde Modulator.

- Ở phía thu, cũng có một nguồn quang (thường là laser bán dẫn có độ rộng phổ hẹp phát ra ánh sáng liên tục) phát ra ánh sáng dao động nội với bước sóng λ_2 . Tín hiệu ánh sáng thu được đưa vào trộn với tín hiệu ánh sáng dao động nội phía thu.

Khi tần số của tín hiệu ánh sáng tới và tín hiệu từ bộ dao động nội phía thu giống nhau thì bộ thu hoạt động ở chế độ Homodyne, và tín hiệu điện tái tạo được là tín hiệu dải nền. Còn khi tần số của tín hiệu ánh sáng tới và tín hiệu từ bộ dao động nội phía thu lệch nhau thì bộ thu hoạt động ở chế độ Heterodyne, và phổ của tín hiệu điện ở ngõ ra của khối DEC là tín hiệu trung tần IF (intermediate frequency). IF là tín hiệu có chứa tín hiệu thông tin cần truyền (tức tín hiệu dải nền) và tín hiệu thông tin cần truyền này có thể thu được bằng cách sử dụng kỹ thuật giải điều chế điện.

2.1.1. Các khái niệm cơ bản trong công nghệ Coherent

2.1.1.1. Bộ tạo dao động nội

Ý tưởng cơ bản đằng sau sự tách sóng nhất quán bao gồm sự kết hợp các tín hiệu quang học kết hợp với môi trường sóng quang liên tục (CW) trước khi nó rơi vào những bộ tách sóng quang. Các trường CW được phát sinh cục bộ ở người nhận bằng cách sử dụng một laser băng thông hẹp được gọi là bộ tạo dao động tại chỗ (LO), một thuật ngữ được mượn từ vô tuyến và sóng micro..

Trong thực tế có hai phương pháp tách sóng nhất quán để lựa chọn, phụ thuộc vào việc có hay không $\omega_{IF} = 0$. Chúng được biết tới như bộ dao động đồng tần và kỹ thuật chuyển đổi phách tần.

2.1.1.2. Bộ dao động đồng tần

Trong kỹ thuật sự tách sóng nhất quán, tần số nội dao động được chọn để trùng với tần số ω_0 để $\omega_{IF} = 0$.

Bộ tạo dao động đồng tần cũng là kết quả từ độ nhạy về pha. Từ số hạng cuối cùng trong bao gồm pha của bộ tạo dao động ϕ_{LO} , rõ ràng ϕ_{LO} nên được kiểm soát. Lý tưởng nhất ϕ_s và ϕ_{LO} nên liên tục ngoại trừ điều chế của ϕ_s . Trong thực tế cả ϕ_s và ϕ_{LO} biến động theo thời gian một cách ngẫu nhiên. Tuy nhiên $\phi_s - \phi_{LO}$ có thể buộc phải gần nhau thông qua vòng khóa pha. Việc thực hiện của vòng lặp như vậy là không đơn giản và làm cho thiết kế của máy thu bộ dao động đồng tần phức tạp. Ngoài ra, kết hợp máy phát và tần số máy tạo dao động đưa ra yêu cầu khắt khe cho hai nguồn quang. Những vấn đề này có thể được khắc phục bằng việc sử dụng bộ chuyển đổi tần, là vấn đề thảo luận tiếp theo.

2.1.1.3. Bộ chuyển đổi tần

Trong trường hợp bộ chuyển đổi tần tạo dao động nội tần số ω_{LO} được lựa chọn dạng khác thành các tín hiệu sóng mang tần số ω_0 cũng như tần số trung gian ω_{IF} trong vùng sóng ngắn ($\nu_{IF} \approx 1\text{GHz}$). Sử dụng phương trình (2.3) cùng với $I = RP$, dòng quang điện bây giờ được đưa ra bởi:

$$I(t) = R(P_s + P_{LO}) + 2R\sqrt{P_s P_{LO}} \cos(\omega_{IF}t + \phi_s - \phi_{LO}) \quad (2.1)$$

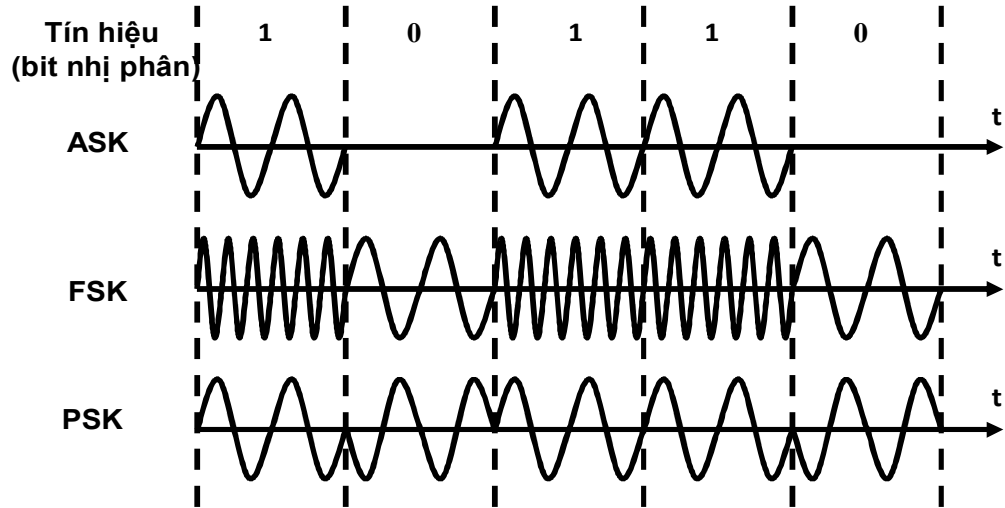
Khi $P_{LO} \geq P_s$, trong thực tế dòng điện một chiều (dc) gần như liên tục và có thể được loại bỏ dễ dàng bằng cách sử dụng bộ lọc lấy giải. Tín hiệu của bộ chuyển đổi tần được đưa ra bởi dòng xoay chiều (ac) trong phương trình (2.7) hoặc bởi:

$$I_{ac}(t) = 2R\sqrt{P_s P_{LO}} \cos(\omega_{IF}t + \phi_s - \phi_{LO}) \quad (2.2)$$

Tương tự bộ dao động đồng tần, thông tin có thể được truyền qua biên độ, pha, hay tần số điều chế của sóng mang quang. Quan trọng hơn, bộ tự tạo dao động vẫn khuếch đại các tín hiệu nhận bởi một yếu tố lớn, qua đó cải thiện SRN. Tuy nhiên việc cải thiện thấp hơn 2 hoặc 3 dB so với trường hợp của dao động đồng tần. Mức giảm này có liên quan tới bộ chuyển tần. Nguồn gốc của 3 dB có thể được thấy bằng cách xem xét công suất tín hiệu (tỉ lệ bình phương của dòng điện). Bởi vì bản chất dòng xoay chiều ac (I_{ac}) công suất tín hiệu trung bình bị giảm hệ số 2 khi I_{ac}^2 là trung bình trên một chu kỳ đầy đủ ở tần số trung gian.

2.1.1.4. Các dạng điều chế

Như đã thảo luận trong phần 2.1, một ưu điểm quan trọng khi sử dụng kỹ thuật tách sóng nhất quán ở cả biên độ và pha của tín hiệu quang phía thu có thể được phát hiện và đo. Tính năng này mở ra khả năng gửi thông tin bằng cách điều chế cả biên độ, pha hay tần số của sóng mang quang. Trong trường hợp hệ thống truyền thông kỹ thuật số, có ba khả năng làm phát sinh ba dạng điều chế được gọi là điều chế dịch biên độ (ASK), điều chế dịch pha, điều chế dịch tần. Hình 2.1 chỉ ra biểu đồ ba dạng điều chế cho một bit mẫu cụ thể. Trong các phần phụ sau đây chúng ta xem xét từng định dạng riêng biệt và thảo luận về việc thực hiện của nó trong hệ thống của sóng ánh sáng.



Hình 2.1. Các dạng điều chế ASK, PSK và FSK

❖ Điều chế ASK

Trong điều chế ASK, người ta có thể thực hiện điều chế trực tiếp hay gián tiếp. Trong điều chế ASK, người ta thực hiện điều chế biên độ P của sóng mang quang $p(t)$ là sóng ánh sáng phát xạ của LD (LD là phần tử phát quang khi điều chế trực tiếp, hay LD là phần tử tạo sóng ánh sáng dao động nội khi điều chế ngoài) với tín hiệu cần truyền dẫn $i(t)$. Còn tần số ω và pha Φ của sóng mang quang $p(t)$ không thay đổi.

❖ Điều chế FSK

Trong điều chế FSK, người ta có thể thực hiện điều chế gián tiếp (điều chế ngoài). Trong điều chế FSK, người ta thực hiện điều chế tần số f của sóng mang quang $p(t)$ là sóng ánh sáng phát xạ của LD (LD là phần tử phát quang khi điều chế trực tiếp, hay LD là phần tử tạo sóng ánh sáng dao động nội khi điều chế ngoài) với tín hiệu cần truyền dẫn $i(t)$. Còn biên độ P và pha Φ của sóng mang quang $p(t)$ không thay đổi.

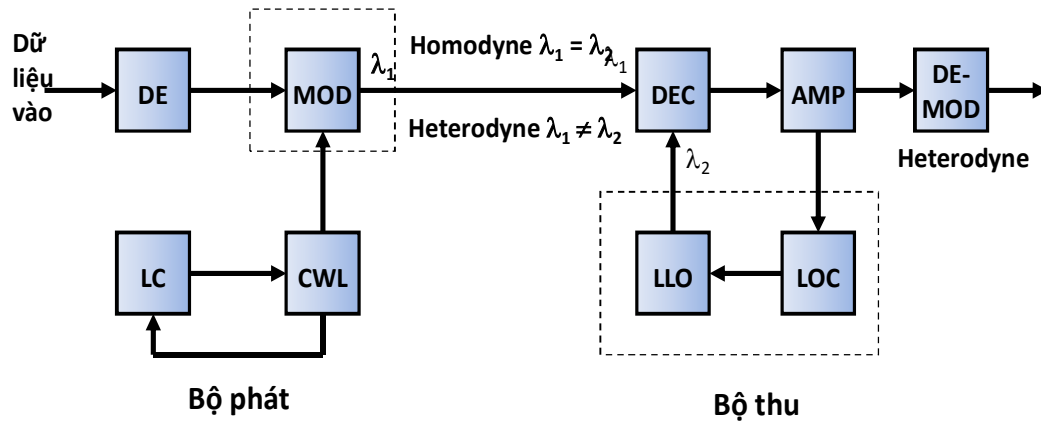
Định dạng PSK

Trong điều chế PSK, người ta có thể thực hiện điều chế gián tiếp (điều chế ngoài).

Trong điều chế PSK, người ta thực hiện điều chế pha Φ của sóng mang quang $p(t)$ là sóng ánh sáng phát xạ của LD (LD là phần tử phát quang khi điều chế trực tiếp, hay LD là phần tử tạo sóng ánh sáng dao động nội khi điều chế ngoài) với tín hiệu cần truyền dẫn $i(t)$. Còn biên độ P và tần số ω của sóng mang quang $p(t)$ không thay đổi.

2.1.2. Mô hình cấu trúc cơ bản của hệ thống thông tin quang Coherent

Cấu trúc cơ bản của một hệ thống thông tin quang Coherent được mô tả như trong hình 2.2.

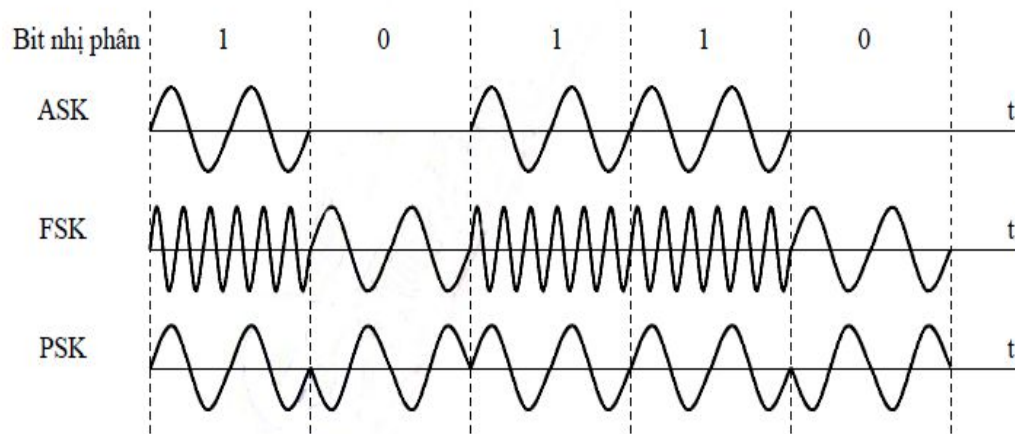


Hình 2.2. Sơ đồ hệ thống thông tin quang coherent

Các khối trong sơ đồ hệ thống:

- DE (Driver electronic): thực hiện khuếch đại tín hiệu ngõ vào nhằm tạo tín hiệu có mức phù hợp với các khối sau.
- CWL (Continuous Wave Laser): bộ dao động quang sử dụng laser bán dẫn có độ rộng phổ hẹp phát ra ánh sáng liên tục có bước sóng λ_1 .
- LC (Laser Control): nhằm ổn định bước sóng phát ra của dao động quang.

- MOD (Modulator): khối điều chế quang, sử dụng kỹ thuật điều chế ngoài để tạo ra tín hiệu điều chế dạng ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying) hay PolSK (Polarization Shift Keying).
- LLO (Laser Local Oscillator): bộ tạo dao động nội tại bộ thu sử dụng laser bán dẫn tạo ra tín hiệu quang có bước sóng λ_2 .
- DEC (Detector): thực hiện hai chức năng, đầu tiên sử dụng bộ coupler FBT cộng tín hiệu thu được (λ_1) và tín hiệu tại chỗ (λ_2). Sau đó đưa tín hiệu tổng tới photodiode để thực hiện tách sóng trực tiếp theo quy luật bình phương. Để thực hiện đúng với nghĩa tách sóng coherent thì coupler quang phải tổ hợp các tín hiệu quang có phân cực giống nhau.
- Dạng sóng của tín hiệu ASK, FSK, và PSK được minh họa ở hình 2.3.



Hình 2.3. Dạng sóng của các dạng điều chế và chuỗi bit nhị phân là 10110

Khi tần số của tín hiệu tới và tín hiệu từ bộ dao động nội giống nhau thì bộ thu hoạt động ở chế độ Homodyne, và tín hiệu điện tái tạo được là tín hiệu giải nền. Còn khi tần số của tín hiệu tới và tín hiệu từ bộ dao động nội lệch nhau thì bộ thu hoạt động ở chế độ Heterodyne, và phổ của tín hiệu điện ở ngõ ra của khối DEC là dạng trung tần IF (Intermediate frequency). IF này là dạng tín hiệu khác có chứa tín hiệu thông tin mà chúng ta muốn truyền đi (tức tín hiệu dải nền), và tín hiệu thông tin này chúng ta có thể thu được bằng cách sử dụng kỹ thuật giải điều chế điện.

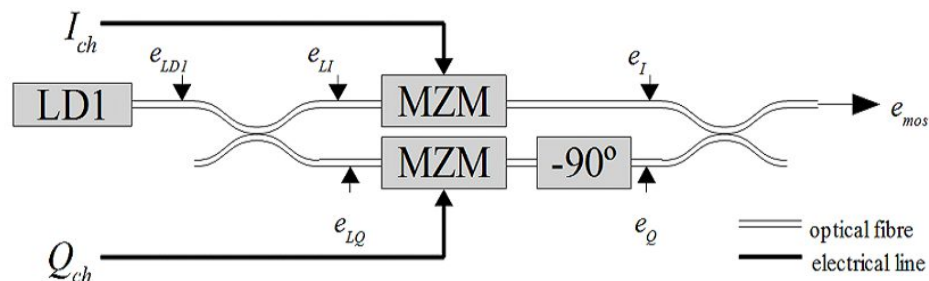
- LOC (Local Oscillator Control): nhằm điều khiển pha và tần số của tín hiệu dao động nội ổn định.
- AMP (Amplifier): khuếch đại tín hiệu điện sau khi tách sóng quang.
- DEMOD (Demodulator): khối này chỉ cần thiết khi bộ thu hoạt động ở chế độ Heterodyne.

2.1.3. Các thành phần cơ bản của hệ thống thông tin quang Coherent

2.1.3.1. Bộ phát quang

Sơ đồ bộ phát quang trong hệ thống quang coherent được mô tả như hình 2.4. Thành phần thực và ảo (I/Q) từ hai ngõ ra của bộ điều chế tín hiệu OFDM được chuyển đổi từ miền điện sang miền quang nhờ hai bộ điều chế ngoài MZM như mô tả trên hình 2.4. Sau đó, tín hiệu quang tại đầu ra của hai bộ MZM được điều chế cầu phương (vuông góc) cộng lại và đưa vào sợi quang để truyền đi. Quá trình được thực hiện như sau :

1. Tín hiệu quang do một Lazer Diot LD1 sinh ra được đưa đến hai bộ MZM
2. Tín hiệu quang trên mỗi MZM tương ứng là e_{LI} và e_{LQ} đóng vai trò là sóng mang quang, các sóng mang này được điều chế pha để mang tín hiệu I/Q tương ứng, ngõ ra mỗi bộ MZM chính là tín hiệu quang đã được điều chế pha.
3. Một trong hai bộ MZM, tín hiệu sau đó được dịch 1 góc 90° cộng với tín hiệu của bộ MZM còn lại và phóng vào sợi quang.



Hình 2.4. Mô hình điều chế quang kết hợp sử dụng MZM

2.1.3.2. Bộ thu quang

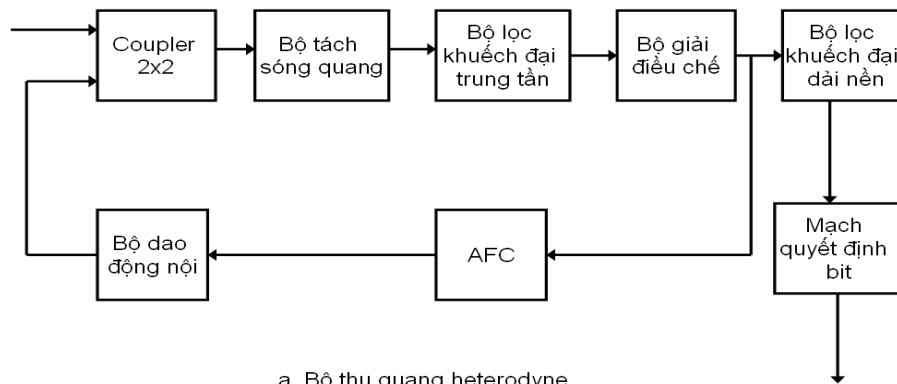
Trong kỹ thuật thông tin quang coherent người ta thường sử dụng các bộ thu quang sau:

- Bộ thu quang tách sóng Heterodyne,
- Bộ thu quang tách sóng Homodyne,
- Bộ thu quang kết hợp.

❖ Bộ thu quang tách sóng Heterodyne

Sơ đồ khối tổng quát của bộ thu quang sử dụng tách sóng Heterodyne được minh họa ở hình 2.5.

Đối với tách sóng Heterodyne, tín hiệu tổng giữa tín hiệu vào và tín hiệu dao động nội đi qua bộ tách sóng quang (PIN hay APD) sẽ tạo ra tín hiệu trung tần IF. Tín hiệu IF sau đó được giải điều chế thành tín hiệu dải nền bằng cách sử dụng kỹ thuật tách sóng đồng bộ (synchronous) hoặc không đồng bộ (nonsynchronous). Băng thông cần thiết của bộ thu quang Heterodyne lớn hơn nhiều lần so với tách sóng trực tiếp ở tốc độ truyền xác định trước.



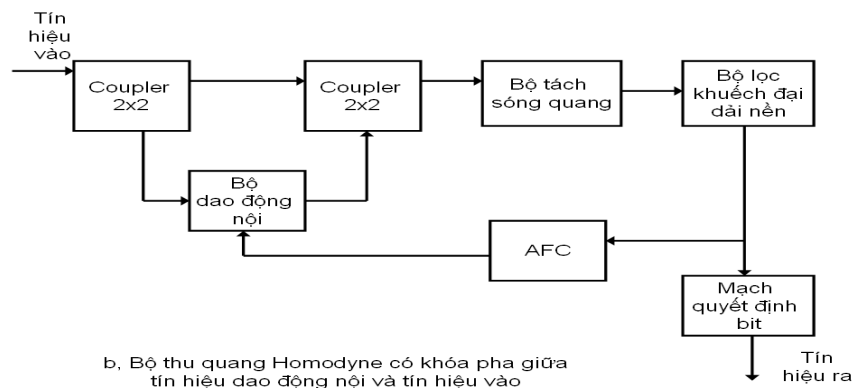
Hình 2.5. Cấu hình cơ bản bộ thu quang Heterodyne

Ngoài ra, chất lượng của bộ thu quang Heterodyne sẽ giảm khi tần số của tín hiệu trung tần dao động, cho nên cần bộ điều khiển tần số tự động AFC để ổn định tần số này thông qua lấy tín hiệu hồi tiếp từ ngõ ra của bộ giải điều chế để điều khiển dòng kích của laser dao động nội.

Tách sóng Heterodyne đồng bộ được sử dụng cho giải điều chế PSK. Do đó với tách sóng này cần phải đánh giá được pha của tín hiệu IF để chuyển tín hiệu này thành tín hiệu dải nền. Do đó kỹ thuật khóa pha được sử dụng ở bộ thu để dò sự dao động pha giữa tín hiệu vào và tín hiệu của bộ dao động nội. Vì tín hiệu thông tin sẽ được xử lý trên sóng mang IF nên chúng ta chỉ cần xác định pha của tín hiệu trong miền điện. Do đó có thể sử dụng các kỹ thuật và các cấu hình vòng khóa pha PLL mà đã áp dụng trong thông tin cao tần và viba. Các kỹ thuật đã nghiên cứu cho giải điều chế PSK chủ yếu là xác định pha của tín hiệu vào. Hơn nữa giải điều chế PSK đồng bộ rất nhạy cảm với kỹ thuật tách sóng Heterodyne. Để đo được pha của tín hiệu PSK thì cần phải có pha tham khảo dựa trên pha trung bình của tín hiệu quang ngõ vào trong khoảng thời gian xác định. Do đó mục đích của việc sử dụng vòng khóa pha PLL là cung cấp giá trị tham khảo này với thời gian trung bình được xác định trong băng thông của vòng này.

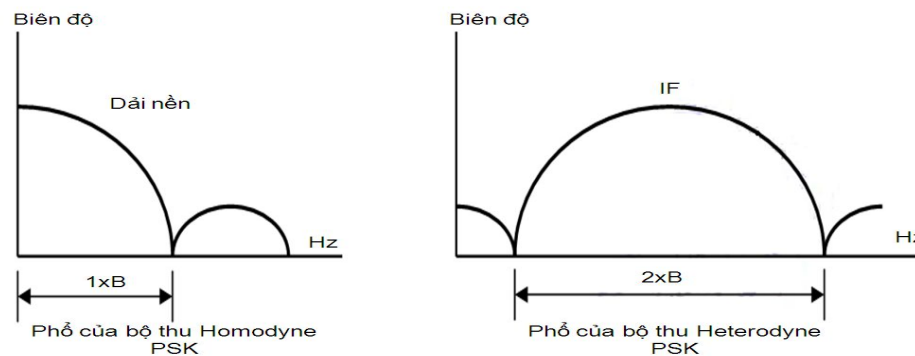
❖ Bộ thu quang tách sóng Homodyne

Sơ đồ khối tổng quát của bộ thu quang sử dụng tách sóng Homodyne được minh họa ở hình 2.6.



Hình 2.6. Cấu hình bộ thu quang Homodyne

Trong trường hợp tách sóng Homodyne, pha của tín hiệu dao động nội được khóa với tín hiệu vào nên phải sử dụng tách sóng đồng bộ. Hơn nữa, kết quả của quá trình cộng hai tín hiệu và đưa đến bộ tách sóng quang tạo ra tín hiệu thông tin là tín hiệu dải nền nên không cần bộ giải điều chế. Vòng hồi tiếp AFC có chức năng ổn định tần số giữa hai tín hiệu. Tách sóng Homodyne không chỉ tăng được độ nhạy của bộ thu 3dB mà còn dễ dàng đạt được yêu cầu về băng thông của bộ thu. Hình 2.7 so sánh phổ ngõ ra của bộ tách sóng Homodyne PSK và Heterodyne PSK.



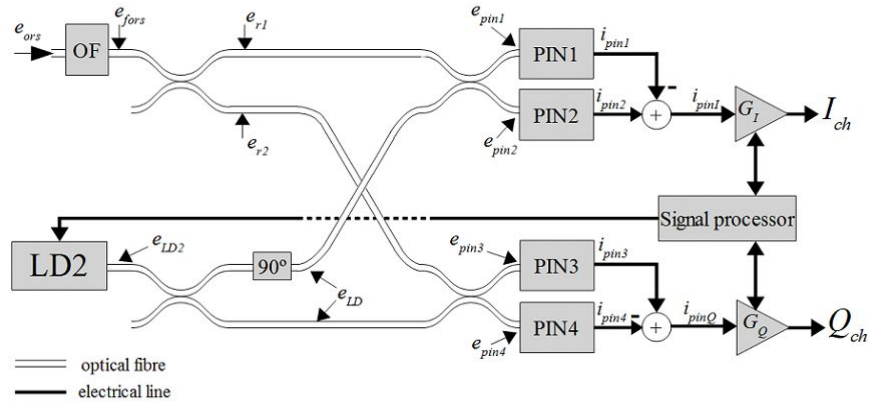
Hình 2.7. So sánh phổ của tín hiệu PSK ở ngõ ra của bộ tách sóng quang Homodyne và Heterodyne.

Có thể thấy rằng tách sóng Homodyne chỉ yêu cầu băng thông của bộ thu tách sóng trực tiếp trong khi đó tách sóng Heterodyne yêu cầu ít nhất hai lần băng thông này và thường là ba hoặc bốn lần. Nhưng tách sóng Homodyne sử dụng nguồn phát và laser dao động nội độc lập nhau nên gặp phải một điều cực kỳ khó khăn để điều khiển sự khóa pha của hai tín hiệu này. Tức là độ lệch pha ϕ phải luôn giữ gần bằng 0 cho các bộ thu độ nhạy cao. Hơn nữa, nếu ϕ trôi đến giá trị $\pi/2$ thì dòng tín hiệu I_s ở ngõ ra sẽ bằng 0 và quá trình tách sóng sẽ kết thúc

❖ Bộ thu quang kết hợp

Ở đầu thu, tín hiệu quang từ sợi quang đi tới trước hết sẽ được chuyển thành tín hiệu điện. Bộ chuyển đổi quang điện thực hiện chức năng này. Tức tín hiệu quang tới trước hết được trộn với sóng quang phát ra từ bộ giao động nội, rồi sau đó tín hiệu tín hiệu quang tổng hợp này được chuyển về tín hiệu điện nhờ các photo-

detector. Cấu trúc bộ thu quang coherent kết hợp được mô tả rõ hơn trong hình 2.8

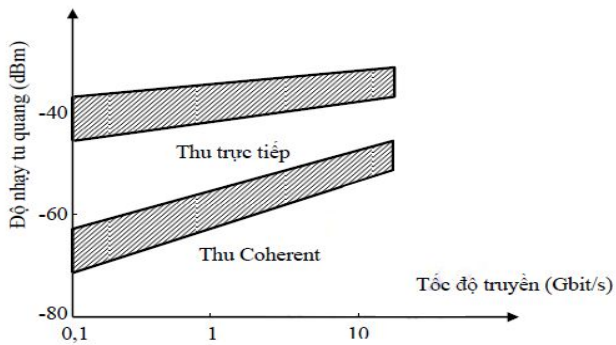


Hình 2.8. Mô hình bộ thu quang kết hợp

2.1.4. Những ưu điểm của hệ thống thông tin quang coherent

2.1.4.1. Nâng cao độ nhạy thu

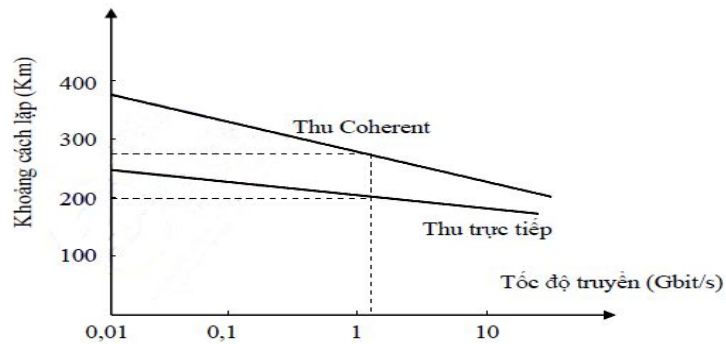
Về mặt lý thuyết, hệ thống thông tin quang coherent có nhiều đặc điểm hấp dẫn mà mấu chốt là sự cải thiện độ nhạy thu. Do đó nếu hệ thống quang coherent sử dụng phương pháp tách sóng heterodyne hay homodyne sẽ cho phép kéo dài khoảng cách giữa hai trạm lặp, tăng tốc độ truyền dẫn trong các tuyến thông tin đường trục và tăng số kênh trong mạng nội hạt hoặc thuê bao.



Hình 2.9. Sự phụ thuộc độ nhạy vào tốc độ bit truyền

2.1.4.2. Nâng cao khả năng truyền dẫn

Với phương pháp ghép kênh theo tần số, các hệ thống thông tin quang coherent có dung lượng truyền dẫn rất lớn. Ví dụ, nếu trong vùng bước sóng hoạt động 1550nm chọn độ rộng phổ để truyền thì trong vùng này có thể truyền khoảng 10^9 kênh thoại tương đương.



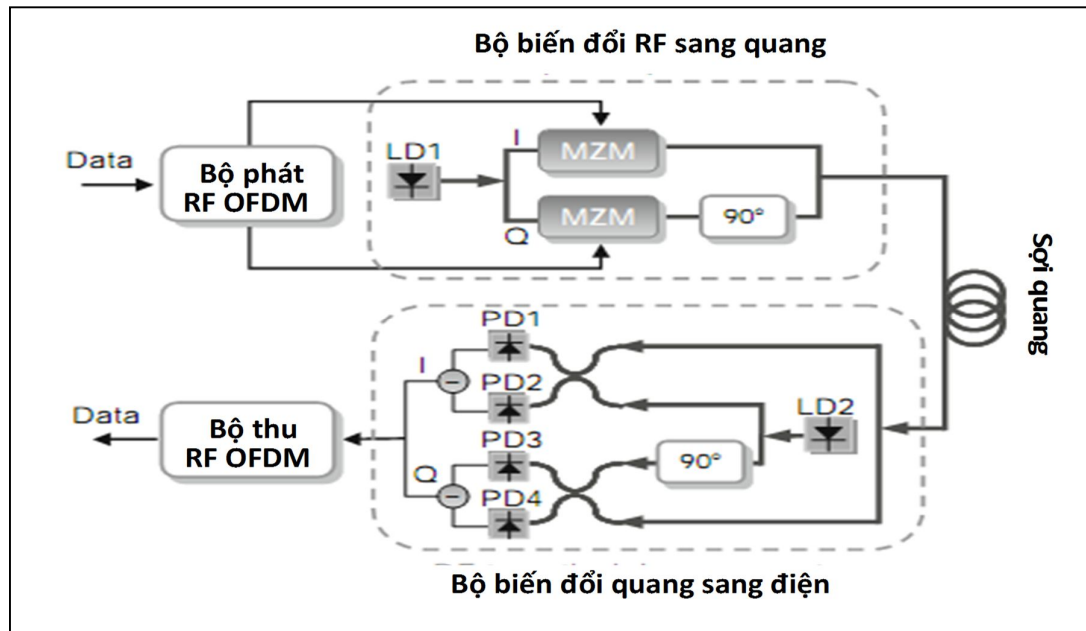
Hình 2.10. Khoảng cách trạm lặp phụ thuộc vào tốc độ truyền

2.1.4.3. Khả năng kết hợp thu coherent với kỹ thuật khuếch đại quang

Sự kết hợp giữa thu coherent và kỹ thuật khuếch đại quang có thể tạo nên các tuyến thông tin số dung lượng truyền dẫn rất lớn và kéo dài khoảng cách trạm lặp (có thể đạt tới 10.000Km). Khả năng này được áp dụng trong các tuyến đường trục và tuyến cáp thả biển.

2.2. Mô hình hệ thống Coherent OFDM quang

Một hệ thống CO-OFDM quang điển hình được miêu tả như trong hình 2.11 [1].



Hình 2.11. Mô hình hệ thống CO-OFDM quang điện hình

Một hệ thống CO-OFDM quang điện hình có thể được chia làm 5 khối cơ bản gồm:

1. Bộ phát RF OFDM có nhiệm vụ điều chế tín hiệu OFDM trong miền điện,
2. Bộ chuyển đổi tín hiệu RTO để chuyển đổi tín hiệu từ miền điện sang miền quang,
3. Kênh quang là môi trường truyền dẫn tín hiệu từ phía phát đến phía thu,
4. Bộ chuyển đổi tín hiệu OTR để chuyển đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện tại phía thu
5. Bộ thu RF OFDM để giải điều chế tín hiệu OFDM trong miền điện thành dữ liệu tương ứng với bên truyền.

2.2.1. Các khối phát và thu RF OFDM

Kiến trúc của bộ phát và bộ thu RF OFDM. Trong đó, các tín hiệu đầu vào bộ phát RF OFDM và các tín hiệu đầu ra bộ thu RF OFDM là các tín hiệu ở băng tần cơ bản hoặc băng RF.

2.2.1.1. Bộ chuyển đổi điện-quang đường lên và chuyển đổi quang-điện đường xuống

Bộ chuyển đổi điện-quang đường lên và chuyển đổi quang-điện đường xuống của hệ thống CO-OFDM được chỉ ra trong hình 2.11. Trong hệ thống CO-OFDM sử dụng kiến trúc chuyển đổi đường lên và đường xuống trực tiếp.

Trong kiến trúc chuyển đổi đường lên trực tiếp, bộ phát quang sử dụng một bộ điều chế I/Q quang, bao gồm hai bộ điều chế MZM để chuyển đổi đường lên phần thực và phần ảo của tín hiệu OFDM $s(t)$ được chỉ ra trong công thức (1.4) từ miền RF sang miền quang; phần thực và phần ảo của $s(t)$ sẽ được đưa đến mỗi bộ điều chế MZM tương ứng để điều chế.

Trong kiến trúc chuyển đổi đường xuống trực tiếp, bộ thu quang OFDM sử dụng hai cặp bộ thu cân bằng và một bộ ghép lai 90° để thực hiện tách sóng quang I/Q. Bộ thu RF OFDM thực hiện xử lý tín hiệu OFDM băng tần gốc để khôi phục lại dữ liệu.

Ưu điểm của kiến trúc chuyển đổi trực tiếp là:

- Không cần thiết sử dụng bộ lọc loại bỏ phần ảo trong cả bộ phát và bộ thu.
- Giảm đáng kể yêu cầu băng thông điện cho cả bộ phát và bộ thu.

2.2.1.2. Tách sóng coherent cho chuyển đổi đường xuống và triệt pha

Trong kỹ thuật tách sóng heterodyne, tín hiệu OFDM băng gốc trước tiên được đưa lên tần số trung tần f_{LO1} ở miền điện, sau đó tín hiệu OFDM trung tần được điều chế trên sóng mang quang nhờ một bộ MZM. Ở phía thu tín hiệu quang OFDM trước tiên được chuyển về tín hiệu điện OFDM ở trung tần f_{LO2} . Sau đó việc tách ra các đường I/Q được thực hiện ở miền điện.

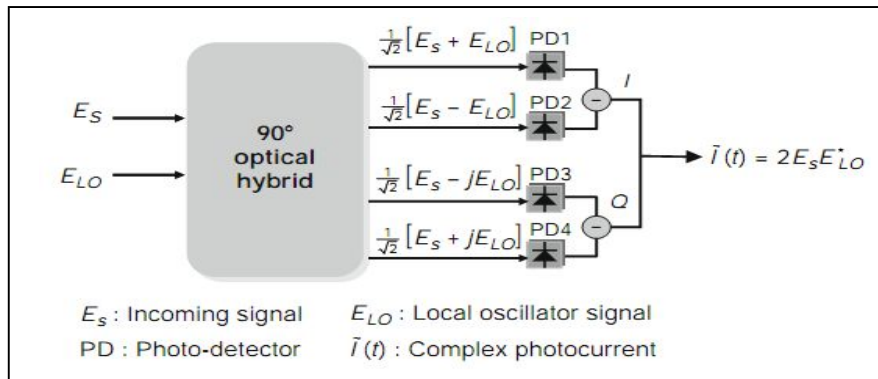
Trong tách sóng homodyne, sóng mang quang sử dụng một bộ điều chế điện – quang bao gồm hai bộ MZM riêng biệt được sử dụng để điều chế hai thành phần I/Q của tín hiệu OFDM. Ở phía thu, tín hiệu quang OFDM được tách làm hai phần I/Q ngay trong miền quang nhờ sử dụng hai bộ thu cân bằng (gồm 4 photo-detector ghép thành 2 bộ) và một bộ ghép lai 90° . Bộ thu RF OFDM xử lý tín hiệu OFDM ở băng gốc để khôi phục lại dữ liệu ban đầu.

Trong kỹ thuật tách sóng coherent của CO-OFDM, người ta còn sử dụng các bộ ghép lai và tách sóng photo cân bằng. Hình 2.12 là một ví dụ về tách sóng coherent sử dụng bộ ghép lai quang 90° có 6 cổng (gồm 2 đầu vào và 4 đầu ra) và một cặp tách sóng cân bằng (balanced photo-detectors) [1].

Mục đích chính của tách sóng coherent là:

1. Khôi phục tính tuyến tính cho thành phần I và Q của tín hiệu đến,
2. Tối thiểu hoặc loại bỏ nhiễu mode chung.

Sử dụng 6 cổng ghép lai 90° cho tín hiệu tách sóng và thực hiện phân tích trên miền RF, và ứng dụng của nó tới hệ thống quang coherent đơn sóng mang được thực hiện bởi Ly-Gagnon và Savory [1].



Hình 2.12 Tách sóng coherent sử dụng bộ ghép lai và tách sóng photo cân bằng

2.3. Kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM

2.3.1. Tổng quan về WDM

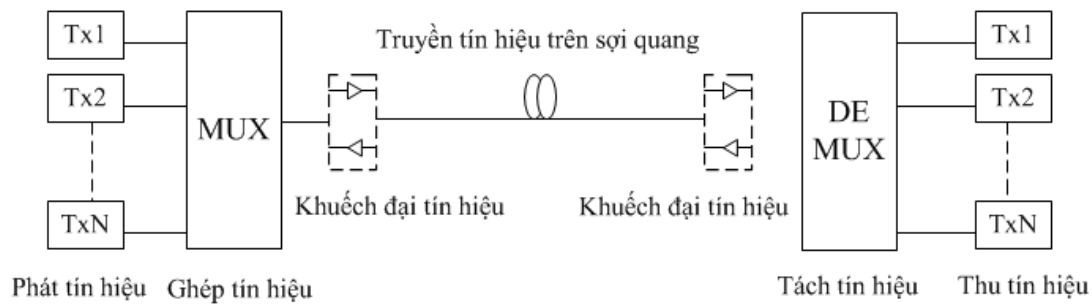
Công nghệ mạng quang đã trở thành nhân tố quan trọng trong sự phát triển của mạng viễn thông. Yêu cầu băng tần sử dụng lớn là hệ quả tất yếu của nhu cầu truyền thông dữ liệu ngày nay. Trong hai thập kỷ qua, công nghệ truyền tải quang WDM đã có sự phát triển vượt bậc. Sự phát triển này có được là nhờ công nghệ chế tạo linh kiện quang. Những thành tựu của công nghệ này đã góp phần tạo nên hệ thống WDM dung lượng lớn như ngày nay. Theo thời gian, xuất phát từ những nhu cầu thực tế, các hệ thống WDM ngày càng trở nên phức tạp. Ở một góc độ nào, sự phức tạp trong hệ thống WDM là trong những chức năng của thiết bị. Nhờ có chức năng này mà cấu hình hệ thống WDM chuyển từ đơn giản như cấu hình điểm - điểm sang cấu hình phức tạp như Ring và Mesh [3].

Ưu điểm của công nghệ WDM:

- ✓ *Tăng băng thông truyền trên sợi quang* : Số lần tương ứng số bước sóng được ghép vào để truyền trên một sợi quang.
- ✓ *Tính trong suốt*: Do công nghệ WDM thuộc kiến trúc lớp mạng vật lý nên nó có thể hỗ trợ các định dạng số liệu và thoại như: ATM, Gigabit Ethernet, ESCON, chuyển mạch kênh, IP ...
- ✓ *Khả năng mở rộng*: Những tiến bộ trong công nghệ WDM hứa hẹn tăng băng thông truyền trên sợi quang lên đến hàng Tbps, đáp ứng nhu cầu mở rộng mạng ở nhiều cấp độ khác nhau.

Nhược điểm của công nghệ WDM: Vẫn chưa khai thác hết băng tần hoạt động có thể của sợi quang (chỉ mới tận dụng được băng C và băng L), quá trình khai thác, bảo dưỡng phức tạp hơn gấp nhiều lần. Nếu hệ thống sợi quang đang sử dụng là sợi DSF theo chuẩn G.653 thì rất khó triển khai WDM vì xuất hiện hiện tượng trộn bốn bước sóng khá gay gắt.

2.3.2. Sơ đồ khối tổng quát hệ thống WDM



Hình 2.13: Sơ đồ chức năng hệ thống WDM [3].

✓ *Phát tín hiệu:* Trong hệ thống WDM, nguồn phát quang được dùng là laser. Hiện tại đã có một số loại nguồn phát như: Laser điều chỉnh được bước sóng, Laser đa bước sóng ... Yêu cầu đối với nguồn phát laser là phải có độ rộng phổ hẹp, bước sóng phát ra ổn định, mức công suất phát định, bước sóng trung tâm, độ rộng phổ, độ rộng chirp tần phải nằm trong giới hạn cho phép.

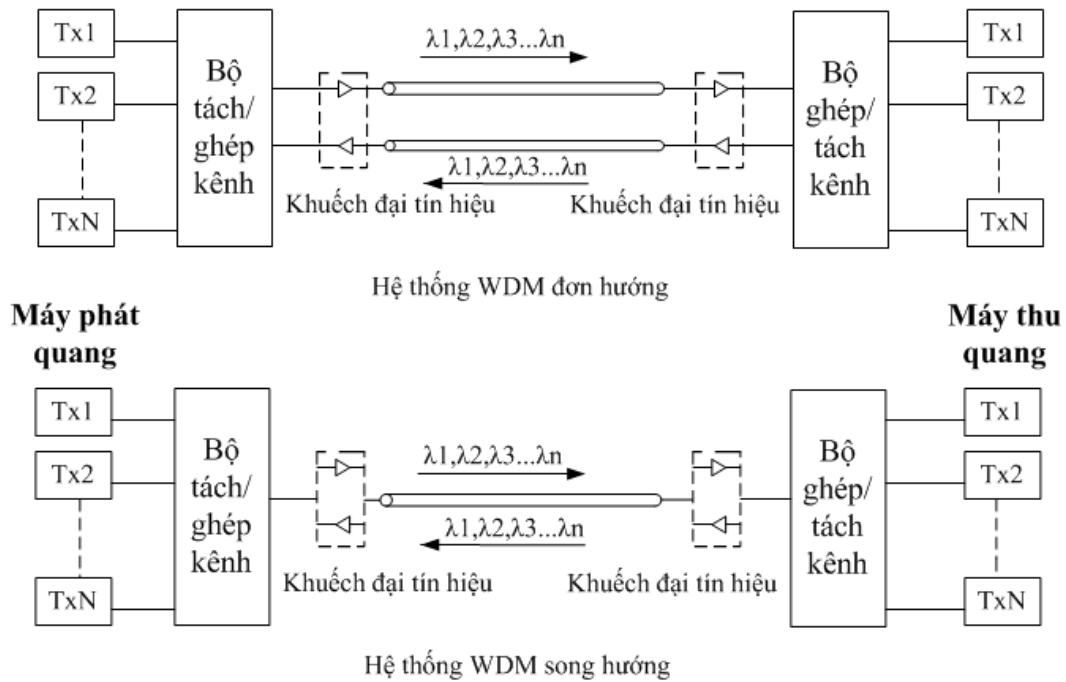
✓ *Ghép/tách tín hiệu:* Ghép tín hiệu WDM là sự kết hợp một số nguồn sáng khác nhau thành một luồng tín hiệu ánh sáng tổng hợp để truyền dẫn qua sợi quang. Tách tín hiệu WDM là sự phân chia luồng ánh sáng tổng hợp đó thành các tín hiệu ánh sáng riêng rẽ tại mỗi cổng đầu ra bộ tách. Hiện tại đã có các bộ tách/ghép tín hiệu WDM như: bộ lọc màng mỏng điện môi, cách tử Bragg sợi, cách tử nhiễu xạ, linh kiện quang tổ hợp AWG, bộ lọc Fabry-Perot... Khi xét đến các bộ tách/ghép WDM, ta phải xét các tham số như: khoảng cách giữa các kênh, độ rộng băng tần của các kênh bước sóng, bước sóng trung tâm của kênh, mức xuyên âm giữa các kênh, tính đồng đều của kênh, suy hao xen, suy hao phản xạ Bragg, xuyên âm đầu gần, đầu xa.

✓ *Truyền dẫn tín hiệu:* Quá trình truyền dẫn tín hiệu trong sợi quang chịu sự ảnh hưởng của nhiều yếu tố: suy hao sợi quang, tán sắc, các hiệu ứng phi tuyến, vấn đề liên quan đến khuếch đại tín hiệu ... Mỗi vấn đề kể trên đều phụ thuộc rất nhiều vào yếu tố sợi quang (loại sợi quang, chất lượng sợi...).

✓ *Khuếch đại tín hiệu:* Hệ thống WDM hiện tại chủ yếu sử dụng bộ khuếch đại quang sợi EDFA. Tuy nhiên bộ khuếch đại Raman hiện nay cũng đã được sử dụng trên thực tế có ba chế độ khuếch đại: Khuếch đại công suất, khuếch đại đường và tiền khuếch đại. Khi dùng bộ khuếch đại EDFA cho hệ thống WDM phải đảm bảo các yêu cầu sau:

- Độ lợi khuếch đại đồng đều đối với tất cả các kênh bước sóng (mức chênh lệch không quá 1 dB).

2.3.3. Phân loại hệ thống WDM



Hình 2.14: Hệ thống ghép bước sóng đơn hướng và song hướng [4].

Hệ thống WDM về cơ bản chia làm hai loại: hệ thống đơn hướng và song hướng như minh họa trên hình 1.6. Hệ thống đơn hướng chỉ truyền theo một chiều trên sợi quang. Do vậy, để truyền thông tin giữa hai điểm cần hai sợi quang, hệ thống WDM song hướng ngược lại, truyền hai chiều trên một sợi quang nên chỉ cần 1 sợi quang để có thể trao đổi thông tin giữa 2 điểm.

2.3.4. Các phần tử cơ bản trong WDM

a) Bộ phát quang

Các nguồn quang cơ bản sử dụng trong hệ thống thông tin cáp sợi quang có thể là Diode Laser (LD) hoặc Diode phát quang (LED)[3,10]. Trong đó laser khuếch đại ánh sáng nhờ bức xạ kích thích và hoạt động của laser dựa trên hai hiện tượng chính đó là hiện tượng bức xạ kích thích và hiện tượng cộng hưởng của sóng ánh sáng khi lan truyền trong laser.

Tín hiệu quang phát ra từ LD hoặc LED có các tham số biến đổi tương ứng với biến đổi của tín hiệu điện vào. Tín hiệu điện vào có thể phát ở dạng số hoặc tương tự. Thiết bị phát quang sẽ thực hiện biến đổi tín hiệu điện vào thành tín hiệu quang

tương ứng bằng cách biến đổi dòng vào qua các nguồn phát quang. Bước sóng ánh sáng của nguồn phát quang phụ thuộc chủ yếu vào vật liệu chế tạo phần tử phát. Ví dụ, GaAs phát ra bức xạ vùng bước sóng 800 nm đến 900 nm, InGaAsP phát ra bức xạ ở vùng 1100 nm đến 1600 nm.

Sử dụng bộ điều biến ngoài để giảm chirp, tốc độ điều biến cao và tạo các định dạng tín hiệu quang khác nhau (NRZ, RZ, CS-RZ, DPSK ...) và đảm bảo tín hiệu quang có độ rộng phổ hẹp tại bước sóng chính xác theo tiêu chuẩn. Một số yêu cầu đối với nguồn quang trong hệ thống ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM đó là:

✓ *Độ chính xác của bước sóng phát*: Đây là yêu cầu kiên quyết cho một hệ thống WDM hoạt động tốt. Nói chung, bước sóng đầu ra luôn bị dao động do các yếu tố khác nhau như nhiệt độ, dòng định thiên, độ già hoá linh kiện... Ngoài ra, để tránh xuyên nhiễu cũng như tạo điều kiện cho phía thu dễ dàng tách đúng bước sóng thì nhất thiết độ ổn định tần số phía phát phải thật cao.

✓ *Độ rộng đường phổ hẹp*: Độ rộng đường phổ được định nghĩa là độ rộng phổ của nguồn quang tính cho bước cắt 3 dB. Để có thể tăng nhiều kênh trên một dải tần cho trước, cộng với yêu cầu khoảng cách các kênh nhỏ cho nên độ rộng đường phổ càng hẹp càng tốt, nếu không xuyên nhiễu kênh lân cận xảy ra khiến lỗi bit tăng cao, hệ thống không đảm bảo chất lượng. Muốn đạt được điều này thì nguồn phát laser phải là nguồn đơn mode (như các loại laser hồi tiếp phân bố, laser hai khoang cộng hưởng, laser phản hồi phân bố).

✓ *Dòng ngưỡng thấp*: Điều này làm giảm bớt vấn đề lãng phí công suất trong việc kích thích laser cũng như giảm bớt được công suất nên không mang tin và tránh cho máy thu chịu ảnh hưởng của nhiễu nền (phát sinh do có công suất nền lớn).

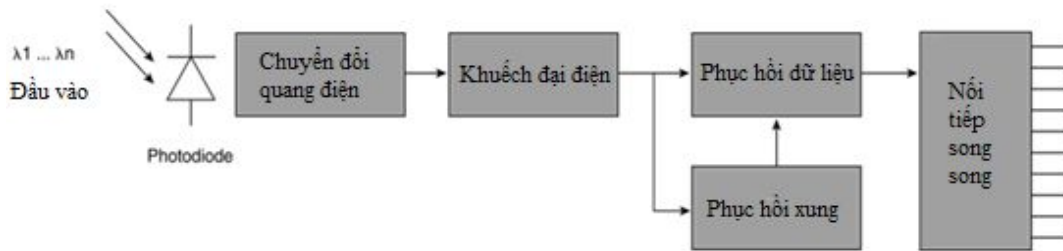
✓ *Khả năng điều chỉnh được bước sóng*: Để tận dụng toàn bộ băng tần sợi quang, nguồn quang phải có thể phát trên cả dải 100 nm. Hơn nữa, với hệ thống lựa kênh tự động càng cần khả năng có thể điều chỉnh được bước sóng.

✓ *Tính tuyến tính*: Đối với truyền thông quang, sự không tuyến tính của nguồn quang sẽ dẫn việc phát sinh các sóng hài cao hơn, tạo ra các xuyên nhiễu giữa các kênh.

✓ *Nhiều thấp*: Có rất nhiều loại nhiều laser bao gồm: nhiều cạnh tranh mode, nhiều pha,... Nhiều thấp rất quan trọng để đạt được mức BER thấp trong truyền thông số, đảm bảo chất lượng dịch vụ tốt.

b) Bộ thu quang

Phần thu quang gồm các bộ tách sóng quang, kênh tuyến tính và kênh phục hồi. Nó tiếp nhận tín hiệu quang, tách lấy tín hiệu thu được từ phía phát, biến đổi thành tín hiệu điện theo yêu cầu cụ thể. Trong phần này thường sử dụng các photodiode PIN hoặc APD. Yêu cầu quan trọng nhất đối với bộ thu quang là công suất quang phải nhỏ nhất (độ nhạy quang) có thể thu được ở một tốc độ truyền dẫn số nào đó ứng với tỷ lệ lỗi bit (BER) cho phép. Hình 1.7 là sơ đồ khối của bộ thu quang trong hệ thống WDM.



Hình 2.15: Sơ đồ khối bên thu [4].

Trên thực tế hiện nay các tuyến thông tin tốc độ cao người ta sử dụng bộ khuếch đại quang làm các trạm lặp, chủ yếu là các bộ khuếch đại đường dây pha tạp Erbium (EDFA). Các bộ khuếch đại này có ưu điểm là không cần quá trình chuyển đổi O/E và E/O mà thực hiện khuếch đại trực tiếp tín hiệu quang.

Lợi ích của việc sử dụng bộ khuếch đại quang làm tăng độ nhạy của bộ thu, nâng cao mức công suất phát, nâng cấp đơn giản bên cạnh đó bộ khuếch đại quang EDFA còn thay thế các bộ lặp đắt tiền trong hệ thống bị giới hạn bởi suy hao cũng như độc lập về tốc độ và định dạng tín hiệu, khuếch đại tín hiệu đa kênh WDM đồng thời.

Đặc tính của một số bộ khuếch đại quang lý tưởng đó là: Nhiều thấp, không nhạy cảm với phân cực, không gây xuyên kênh giữa các tín hiệu WDM cũng như suy hao ghép nối với sợi quang thấp. Ngoài ra, đặc tính của bộ khuếch đại quang lý tưởng làm cho độ rộng băng tần khuếch đại lớn với hệ số khuếch đại không đổi.

2.4. Tổng quan về công nghệ CO-OFDM-WDM Coherent dung lượng lớn

Công nghệ CO-OFDM-WDM là công nghệ thông tin quang kết hợp 3 công nghệ quang tiên tiến tạo ra một giải pháp công nghệ truyền thông có khả năng truyền tải tốc độ siêu cao và chất lượng cao. Đó là sự kết hợp công nghệ quang Coherent (CO) với công nghệ ghép kênh quang theo tần số trực giao (OFDM) và kết hợp với công nghệ quang ghép băng trực giao (WDM).

Ưu việt của công nghệ CO - OFDM - WDM kết hợp được các ưu việt của 3 công nghệ quang thành phần sau:

1. Công nghệ Coherent quang là một công nghệ có nhiều ưu điểm: nâng cao dung lượng của hệ thống thông qua giải pháp ghép các kênh quang theo pha. Đồng thời, công nghệ Coherent quang là một giải pháp cho phép nâng cao độ nhạy thu; cho phép bộ thu quang hoạt động ở tần số thấp sau khi đi qua bộ trộn tần số. Do đó nó có khả năng hoạt động ở tần số cao hay ở tốc độ bit cao mà không xuất hiện méo biên độ và méo pha (trong truyền dẫn tương tự) hay méo sườn trước và sườn sau của các xung cũng như méo xuyên nhiễu của các xung (trong truyền dẫn số). Từ đó, công nghệ CO cho phép nâng cao tốc độ truyền dẫn.
2. Công nghệ OFDM quang là công nghệ ghép kênh theo tần số trực giao cho phép sử dụng hiệu quả phổ tần số, tạo ra dung lượng lớn, có thể giải quyết vấn đề tán sắc do kênh truyền sợi quang gây ra, cho phép thông tin tốc độ cao, loại bỏ nhiễu liên sóng mang,...
3. Công nghệ WDM quang là công nghệ ghép kênh quang theo bước sóng (ghép băng trực giao) cho phép sử dụng hiệu quả băng thông của sợi quang, tạo ra hệ thống truyền dẫn quang có dung lượng rất lớn.

Mặc dù, công nghệ CO-OFDM-WDM có nhiều ưu việt, song công nghệ CO-OFDM-WDM mới chỉ dừng lại ở mức đang được nghiên cứu và thử nghiệm trong các phòng thí nghiệm, mà chưa thương mại hóa. Tuy nhiên, đây là một hướng sẽ phát triển rất hứa hẹn và là giải pháp công nghệ truyền tải thông tin của xã hội hiện tại và trong tương lai. Do đó, các nhà khoa học, các hãng sản xuất thiết bị đang

tập trung nghiên cứu chế tạo các hệ thống thông tin quang CO-OFDM-WDM cho tương lai.

Công nghệ CO-OFDM-WDM quang là công nghệ sử dụng hiệu quả băng thông của sợi quang và người ta còn sử dụng kỹ thuật ghép phổ trực giao tạo nên một hệ thống truyền dẫn quang dung lượng lớn, được gọi là Hệ thống Coherent OFDM quang dung lượng lớn ghép băng trực giao, ký hiệu là OBM-OFDM (Orthogonal-band-multiplexed OFDM). Lưu ý, trong ký hiệu OBM-OFDM này thì ký hiệu OFDM đã hàm chứa sự tích hợp công nghệ Coherent với ghép kênh theo tần số trực giao OFDM.

Do đó, các nhà khoa học và công nghệ nói về công nghệ OBM-OFDM là nói về công nghệ Coherent OFDM quang dung lượng lớn ghép băng trực giao.

Chính vì vậy, dưới đây luận văn trình bày nghiên cứu công nghệ Coherent OFDM quang dung lượng lớn ghép băng trực giao (OBM-OFDM) chỉ tập trung vào công nghệ OFDM quang dung lượng lớn ghép băng trực giao. Còn sự tích hợp công nghệ Coherent với công nghệ OFDM đã được trình bày ở chương 2.

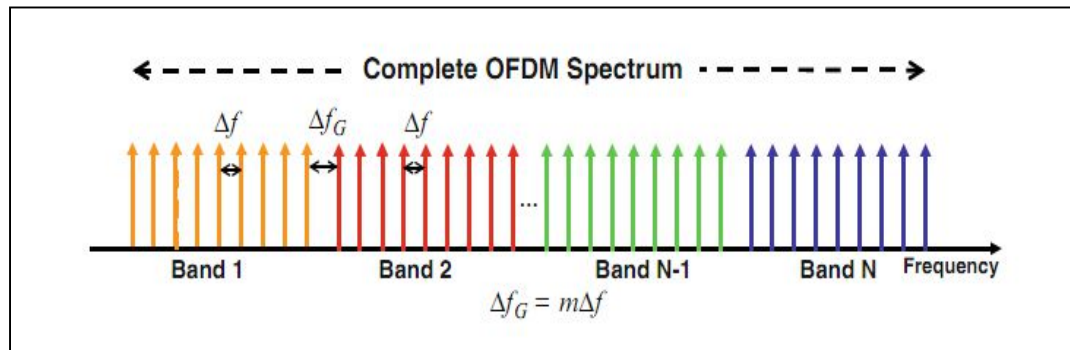
2.5. Nguyên lý ghép băng trực giao của hệ thống OBM-OFDM

Ngày nay, lưu lượng truyền thông ngày càng tiếp tục tăng một cách nhanh chóng, đặc biệt là lưu lượng truyền tải IP. Các công nghệ như Ethernet 100Gb/s được xem như một tiêu chuẩn truyền dẫn thế hệ tiếp theo cho các mạng IP. Khi tốc độ dữ liệu đạt tới 100 Gb/s hoặc cao hơn, băng thông điện cần thiết cho CO-OFDM tối thiểu phải là 15 GHz [10]. Vấn đề này không có tính hiệu quả kinh tế để thực hiện thậm chí ngay cả với biến đổi tương tự thành số ADC và DCA biến đổi số thành tương tự trong mạch tích hợp (IC) [11]. Để khắc phục tắc nghẽn băng thông điện, có rất nhiều kỹ thuật đã được đưa ra. Trong đó, nổi bật nhất là kỹ thuật OFDM ghép băng trực giao: OBM-OFDM (Orthogonal Band Multiplexed-OFDM).

Bằng cách sử dụng ghép và tách các băng OFDM, OBM-OFDM đã đạt được những ưu điểm vượt trội sau:

1. Đạt được hiệu suất quang phổ cao bằng cách không sử dụng băng bảo vệ hoặc sử dụng băng bảo vệ nhỏ;

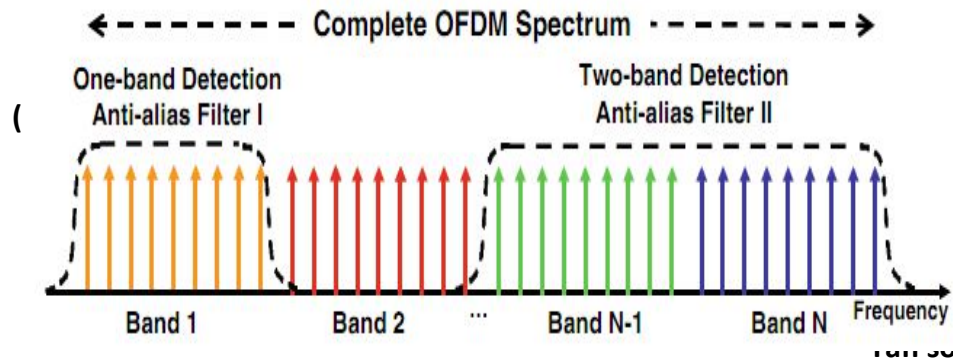
2. OBM-OFDM cung cấp tính mềm dẻo trong giải điều chế hai băng con OFDM đồng thời chỉ với biến đổi Fourier nhanh (FFT),
3. OBM-OFDM có thể dễ dàng được phân chia bởi các bộ lọc điện anti-alias và sau đó xử lý với DAC/ADC tốc độ thấp hơn [6];
4. Yêu cầu độ dài tiền tố chu trình (CP) thu ngắn lại bởi vì băng con của toàn bộ quang phổ.



Hình 2.16. Sơ đồ phân bố phổ của OBM-OFDM.

Đây là phương thức chia nhỏ phổ OFDM vào trong các băng trực giao được gọi là OBM-OFDM. Sơ đồ một băng thông có khả năng mở rộng và ghép phổ hiệu quả cho CO-OFDM được thảo luận trong Shieh [7], được gọi là kênh chéo OFDM (XC-OFDM). Lựa chọn OBM-OFDM nhằm mục đích giảm băng thông trong toàn bộ băng con của phổ OFDM, như vậy sẽ tiết kiệm được băng tần sử dụng rất nhiều lần so với OFDM thông thường.

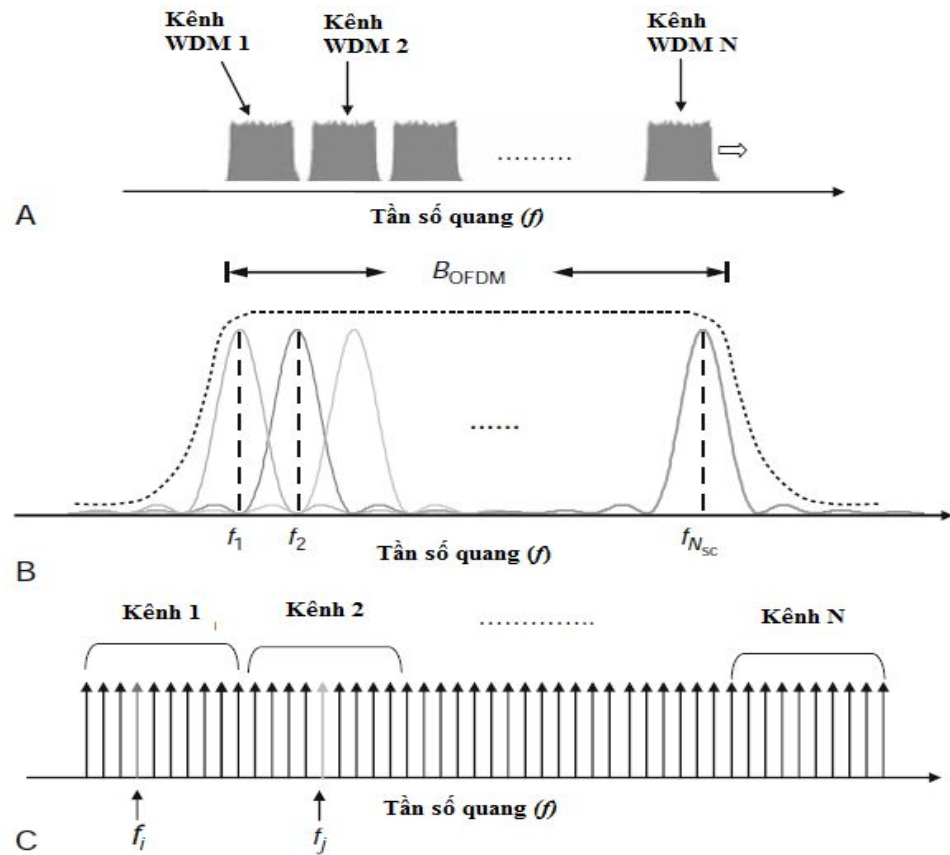
Sử dụng sơ đồ như trên, mỗi băng con OFDM có thể được tách bằng cách sử dụng một bộ lọc "anti-alias" lớn hơn một chút so với băng tín hiệu (hình 2.17).



Hình 2.17. Minh họa tách sóng một băng và hai băng trong OBM-OFDM

2.6. Phổ quang của OBM-OFDM

Phổ quang của OBM-OFDM được chỉ ra trên hình 2.18. Trong đó, hình 2.18a là phổ quang của ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) với điều chế CO-OFDM, hình 2.18b là sự thu nhỏ phổ quang đối với mỗi kênh bước sóng, hình 2.18c là phổ quang của OFDM mà kênh không có khoảng bảo vệ.



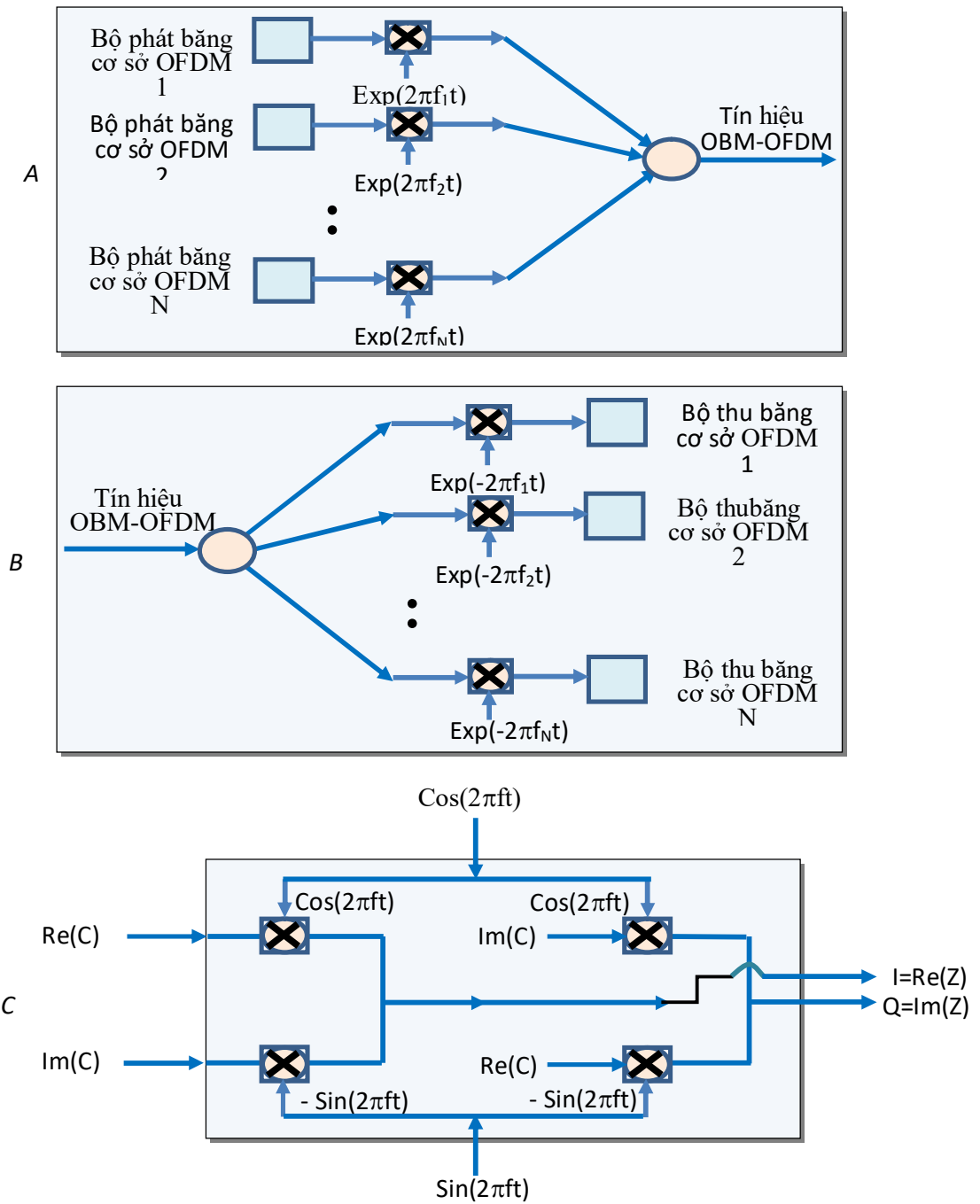
Hình 2.18. Phổ quang: (a) Ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) N kênh CO-OFDM; (b) Tín hiệu OFDM thu nhỏ đối với một bước sóng; (c) OFDM kênh không có khoảng bảo vệ

2.7. Giải pháp thực thi ghép băng trực giao của hệ thống OBM-OFDM

Giải pháp thực thi ghép băng trực giao của hệ thống OBM-OFDM có thể được thực hiện sử dụng OFDM trong miền điện hoặc trong miền quang, hoặc kết hợp cả hai miền.

Thực hiện OFDM trong miền điện

Hình 2.19 là sơ đồ thực hiện OBM-OFDM. Trong đó, hình 2.19a là sơ đồ trộn tín hiệu cho bộ phát, hình 2.19b là sơ đồ mạch trộn tín hiệu cho bộ thu và hình 2.19c là sơ đồ mạch trộn tín hiệu cho bộ điều chế/giải điều chế IQ . Trong hình 2.19a, mỗi nguồn phát băng gốc OFDM được thực hiện bằng cách sử dụng thiết kế



Hình 2.19. Sơ đồ OBM-OFDM: a) Sơ đồ trộn tín hiệu cho bộ phát, b) Sơ đồ mạch trộn tín hiệu cho bộ thu, c) Sơ đồ mạch trộn tín hiệu cho bộ điều chế/giải điều chế IQ .

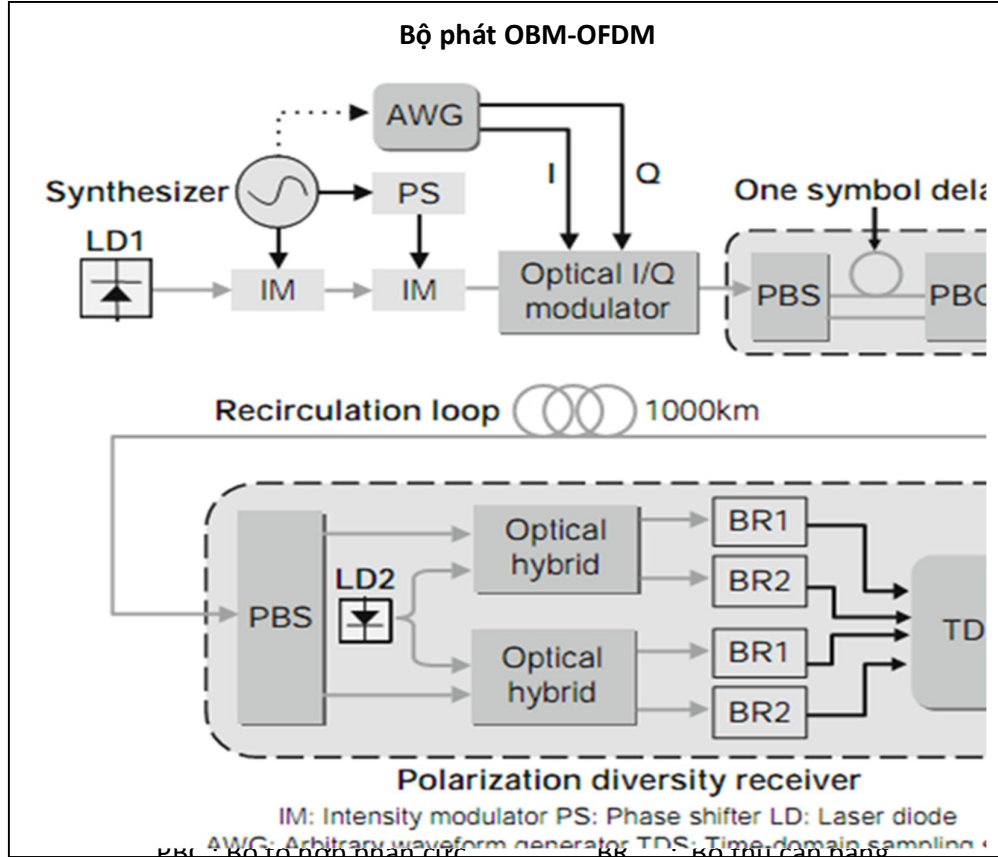
Thực hiện OBM-OFDM trong miền quang

OBM-OFDM có thể được thực hiện bằng cách sử dụng hoặc ghép các sóng mang con [3] hoặc ghép các bước sóng để nối các băng trực giao vào trong một phổ OFDM hoàn chỉnh như hình 3.2. OBM-OFDM cũng có thể thực hiện trong miền quang bằng cách trực tiếp sử dụng một quang kết hợp hoặc truyền dữ liệu OFDM qua rất nhiều kênh WDM và khóa tất cả các laser lại để đạt tiêu chuẩn quang thông thường như một quang kết hợp. Kiến trúc của OBM-OFDM quang về cơ bản giống với kiến trúc OBM-OFDM thực hiện trong miền điện như trong hình 2.24. Tuy nhiên, các thành phần điện trong hình 2.24 sẽ được thay thế bởi các thành phần quang; đặc biệt, mỗi bộ điều chế RF IQ sẽ được thay thế bằng bộ điều chế I/Q quang bao gồm hai bộ điều chế Mach-zehnder (MZM) song song khác pha 90° , và mỗi bộ dao động nội (LO) RF ở phía phát hoặc phía thu sẽ được thay thế bởi một bộ dao động nội LO quang, được tách thích hợp từ một quang kết hợp. Do đó, điều kiện trực giao được thỏa mãn cho tất cả các sóng mang con trên tất cả các kênh WDM. Một bộ lọc quang có băng thông lớn hơn một chút so với băng thông kênh có thể được sử dụng để lựa chọn kênh mong muốn. Do đó, băng bảo vệ tần số giữa các kênh WDM lân cận là không cần thiết, nên sẽ tiết kiệm đáng kể băng thông.

2.8. Hệ thống OB-OFDM 100Gb/s

2.8.1. Mô hình hệ thống OBM-OFDM 100Gb/s

Mặc dù OBM-OFDM là một giải pháp truyền dẫn quang có hiệu quả cao về chất lượng và chi phí. Tuy nhiên, công nghệ chế tạo và thương mại hóa cũng như triển khai trên các mạng viễn thông vẫn còn tiếp tục và hoàn thiện. Tuy nhiên, trường đại học Melbourne, Úc đã triển khai thí hệ thống OBM-OFDM truyền dẫn tốc độ 100 Gb/s. Mô hình hệ thống OBM-OFDM 100 Gb/s được mô tả ở hình 2.20 [8].



Hình 2.20. Hệ thống truyền dẫn OBM-OFDM 100Gb

2.8.2. Các thành phần chức năng của hệ thống OB-OFDM 100Gb/s

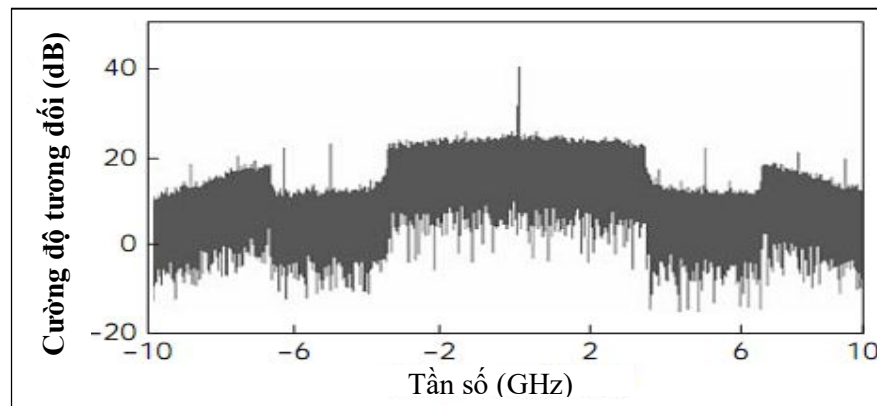
2.8.2.1. Bộ phát OBM-OFDM

Tín hiệu OBM-OFDM 100 Gb/s được sinh ra bằng cách ghép năm băng (băng con) OFDM. Trong mỗi băng, 20 Gb/s tín hiệu OFDM được truyền trong cả hai phân cực. Nguồn quang đa tần số đặt cách nhau ở 6406,25 MHz được sinh ra bằng cách nối tầng hai bộ điều chế cường độ (IM). Băng bảo vệ băng với khoảng cách một sóng mang con (nghĩa là cho $m=1$ trong công thức 2.33).

Thiết lập hai bộ điều chế cường độ IM cho phép tăng độ phẳng qua 5 băng và giảm sự lọt phổ ra khỏi 5 băng. Tín hiệu truyền được sinh ra có độ dài PRBS $2^{15} - 1$ và được ánh xạ tới chòm sao 4-QAM. Tín hiệu số trong miền thời gian được hình thành sau khi thực hiện IFFT. Toàn bộ số lượng sóng mang con OFDM là 128, và

khoảng bảo vệ là $1/8$. 82 sóng mang con ở giữa trong tổng số 128 sóng mang con được dùng để truyền dữ liệu, có 4 sóng mang con làm hoa tiêu (giám sát) được sử dụng cho ước lượng pha.

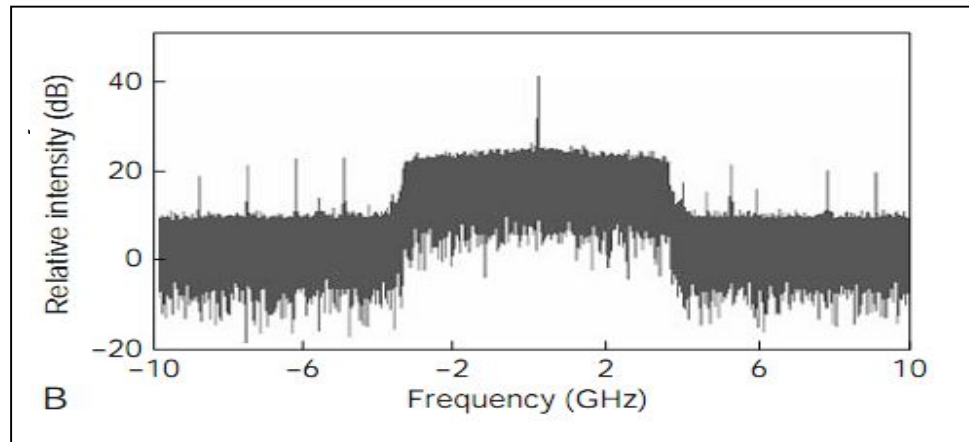
Các thành phần I và Q của tín hiệu trong miền thời gian được đưa vào một bộ tạo dạng sóng tùy ý AWG Tektronix (Arbitrary waveform generator), nó cung cấp các tín hiệu tương tự cho cả hai thành phần I và Q.



Hình 2.21. Phổ điện trực tiếp tại đầu ra của AWG

Từ hình 2.21, có thể nhận thấy rằng các thành phần răng cưa của tín hiệu OFDM có mặt trên 6 GHz. Khi kết hợp các băng con OFDM, các thành phần tần số răng cưa sẽ làm suy giảm các tín hiệu trong các băng kề nhau.

Một bộ lọc điện thông thấp 3 GHz được sử dụng để loại bỏ các thành phần OFDM răng cưa. Hình 2.22 chỉ ra phổ điện sau khi qua bộ lọc thông thấp, với các thành phần phổ răng cưa đã được loại bỏ.



Hình 2.22. Điện phổ sau khi qua bộ lọc 3 GHz

Bộ AWG là khóa pha để đồng bộ ở tần số 10 MHz. Bộ điều chế quang I/Q bao gồm hai bộ MZM lệch pha 90° được sử dụng để đưa trực tiếp tín hiệu OFDM băng cơ bản vào 5 kênh quang. Bộ điều chế thực hiện chuyển đổi điện quang đường lên RTO tuyến tính. Đầu ra của bộ điều chế I/Q quang bao gồm các tín hiệu của 5 băng OBM-OFDM. Mỗi băng có tốc độ là 10 Gb/s. Để nâng cao hiệu suất phổ, người ta sử dụng kỹ thuật 2x2 MIMO-OFDM. Tức là, sử dụng hai bộ phát OFDM để đưa hai dữ liệu độc lập vào trong mỗi phân cực, sau đó dữ liệu sẽ được tách bởi hai bộ thu OFDM – mỗi bộ thu tương ứng cho mỗi sự phân cực.

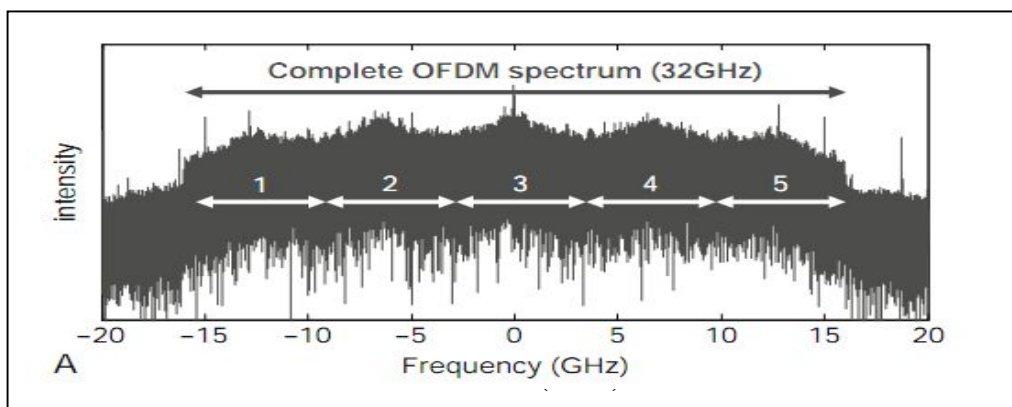
2.8.2.2. Sợi quang kết nối

Đường quang kết nối từ bộ phát OBM-OFDM đến bộ thu OBM-OFDM là 10 đoạn sợi quang dài 100 Km sợi quang đơn mode được kết nối với nhau và một bộ khuếch đại EDFA để bù tổn hao. Không có sự bù tán sắc quang mà cũng không sử dụng bộ khuếch đại quang RA cho truyền dẫn.

Bộ thu OBM-OFDM

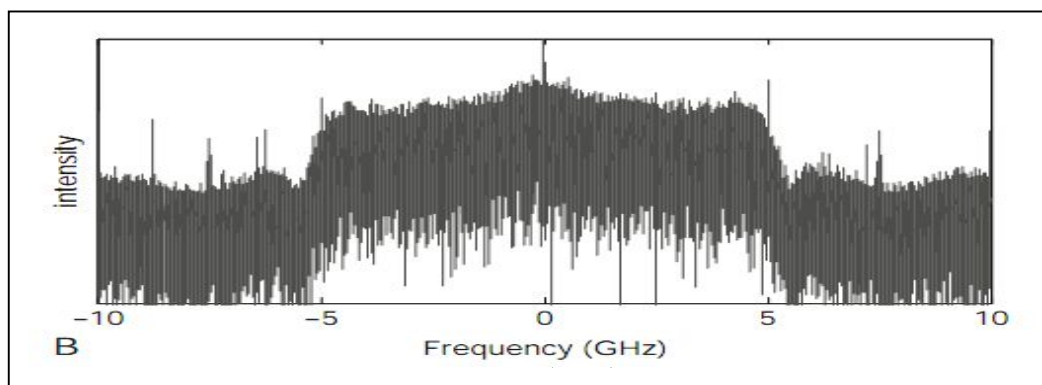
Tín hiệu từ đầu ra bộ phát OBM-OFDM qua đường quang kết nối đến đầu vào bộ thu OBM-OFDM. Bộ thu OBM-OFDM là một bộ thu coherent đa phân cực bao gồm một bộ tách chùm tia phân cực, một laser nội, hai bộ ghép lai và 4 bộ thu cân bằng.

Phổ OFDM tổng gồm 5 băng được chỉ ra như trên hình 2.23. Toàn bộ băng thông cho 100 Gb/s tín hiệu OFDM chỉ là 32 GHz.



Hình 2.23. Quang phổ của tín hiệu 100 Gb/s sử dụng bộ thu coherent phân cực.

Laser nội tại được đặt ở vị trí trung tâm của mỗi băng, và các tín hiệu RF từ 4 bộ tách sóng cân bằng đầu tiên được đưa qua bộ lọc thông thấp “anti-alias” với băng thông 3.8 GHz, do đó chỉ duy nhất một phần nhỏ các thành phần tần số từ các băng khác được truyền qua, có thể dễ dàng dịch chuyển nó trong quá trình xử lý tín hiệu OFDM. Phổ RF ở bộ thu sau bộ lọc Anti-alias 3.8 GHz được chỉ ra ở hình 2.24.



Hình 2.24. Phổ RF ở bộ thu sau 3.8 GHz lọc anti-alias.

2.9. Đánh giá hiệu quả sử dụng phổ trong hệ thống truyền dẫn CO-OFDM 100Gb/s.

Khi hệ thống không sử dụng băng tần bảo vệ quang phổ của tín hiệu tổng 100 Gb/s sau khi truyền dẫn 1000 km với tổng băng thông gần 32GHz. Trong đó, có 5 băng OFDM, với mỗi băng thông là 6,4 GHz.

Phổ RF ở bộ thu sau bộ lọc Anti-alias 3.8 GHz được chỉ ra ở hình 2.29. Bộ lọc anti-alias là rất quan trọng để thực hiện OBM-OFDM. Nếu không sử dụng bộ lọc anti-alias điện, phổ điện mỗi băng sẽ có độ rộng 16 GHz, có nghĩa là tối thiểu phải sử dụng 32 GS/s khi biến đổi tương tự số. Tuy nhiên, phổ đã được lọc trong hình 2.29 có thể dễ dàng lấy mẫu ở tốc độ 20 GS/s (tốc độ thấp hơn 10 Gb/s).

2.10. Kết luận chương 2

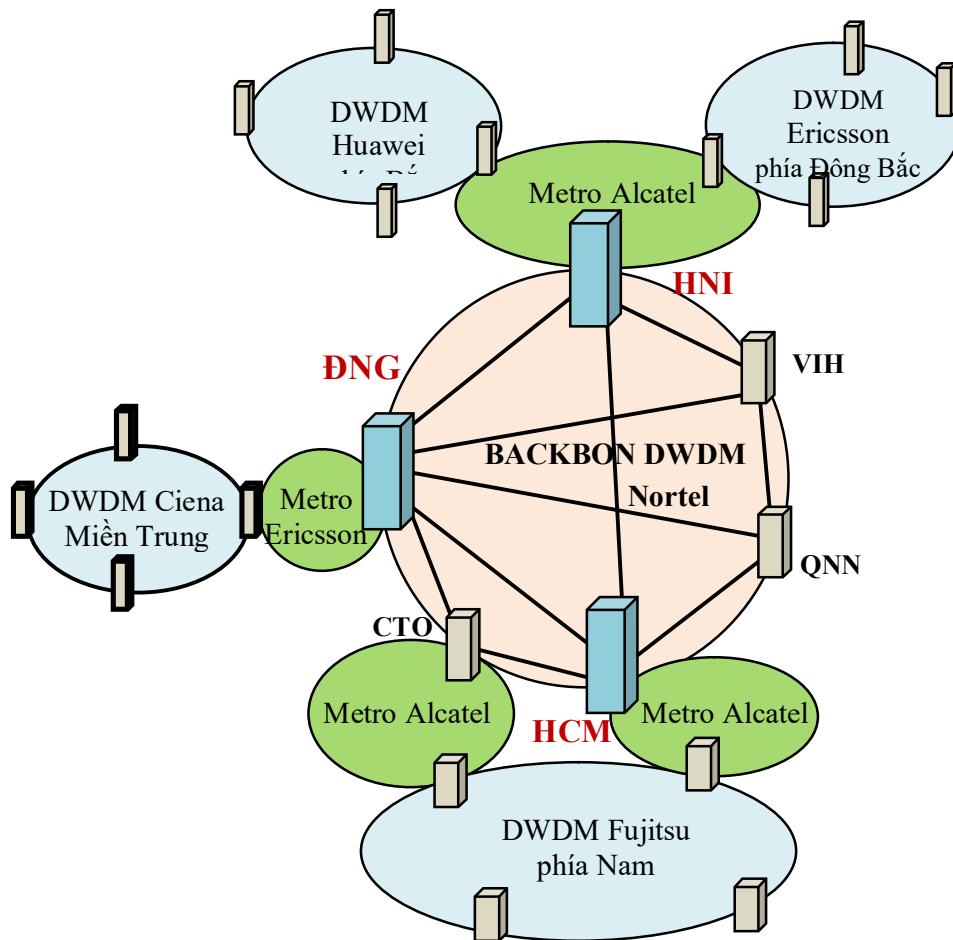
Chương 2 luận văn đã nghiên cứu về công nghệ Coherent OFDM quang (CO-OFDM) với các nội dung: sở cứ tích hợp của 2 công nghệ: công nghệ OFDM quang và công nghệ quang Coherent.

Đồng thời, chương 2 luận văn đã nghiên cứu công nghệ coherent và công nghệ CO-OFDM: mô hình hệ thống CO-OFDM, các khối chức năng và nguyên lý của các khối chức năng trong hệ thống CO-OFDM và độ nhạy thu của hệ thống thông tin quang CO-OFDM.

CHƯƠNG 3

ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ THÔNG TIN QUANG CO-OFDM-WDM CHO MẠNG ĐƯỜNG TRỰC VNPT HẢI DƯƠNG

3.1 Mô hình mạng truyền tải đường trực của VNPT



Hình 3.1. Mô hình mạng truyền tải đường trực của VNPT

Mạng truyền tải của VNPT là mạng truyền tải quang ghép kênh theo bước sóng mật độ cao (DWDM), được thiết lập theo mô hình xếp chồng IP trên DWDM

và hiện tại để truyền tải lưu lượng IP qua mạng DWDM qua các khâu trung gian như IP/SDH/DWDM, IP/NG-SDH/DWDM và IP/MPLS/SDH/DWDM, IP/MPLS/NG-SDH/DWDM

3.1 Mạng truyền tải đường trục Backbone Bắc-Nam của VNPT

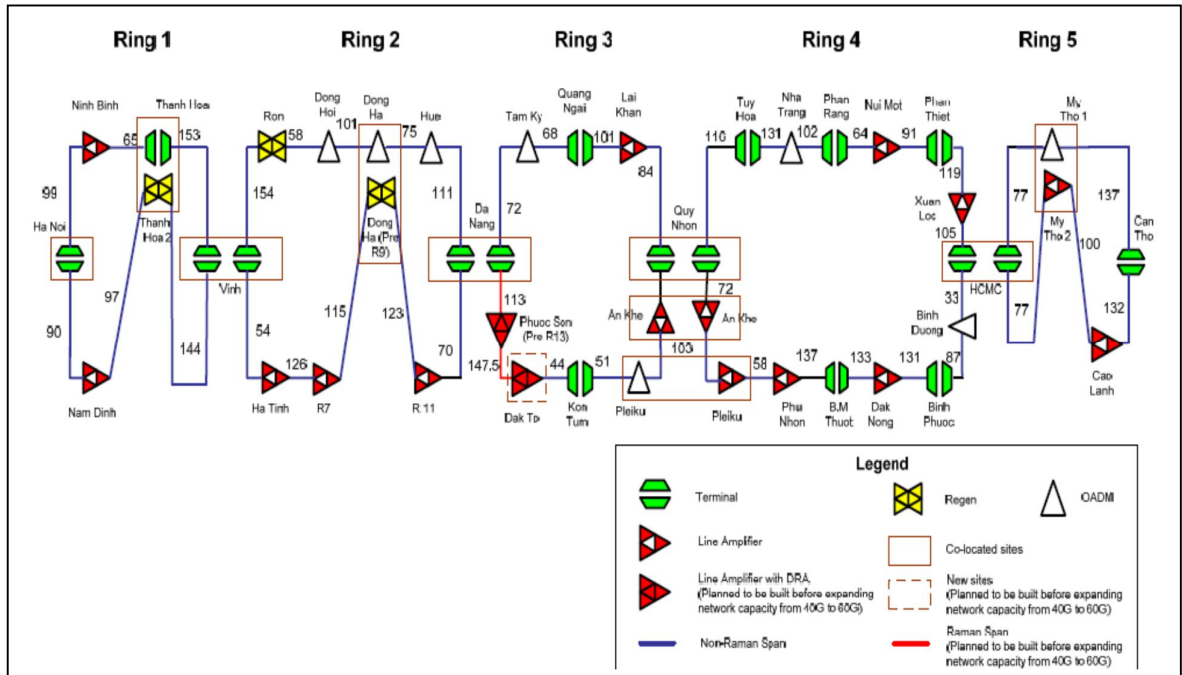
Hiện nay, mạng truyền tải đường trục Backbone Bắc-Nam của VNPT là mạng truyền tải quang ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) có dung lượng tổng là 360 Gb/s với cấu hình Ring. Các nút chính của mạng truyền tải đường trục này là Hà Nội (HNI), Đà Nẵng (ĐNG), thành phố Hồ Chí Minh (HCM), Vinh (VIH), Quy Nhơn (QNN) và Cần Thơ (CTO).

Mạng truyền tải đường trục Backbone Bắc-Nam của VNPT sử dụng công nghệ của Nortel với 2 hệ thống truyền dẫn chính:

- Hệ thống DWDM đường trục Bắc-Nam 120Gb/s,
- Hệ thống DWDM đường trục Bắc-Nam 240Gb/s.

3.1.1 Hệ thống DWDM đường trục Bắc-Nam 120G của Nortel.

Cấu trúc mạng tuyến trục Backbone 120G được xây dựng theo cấu hình chuỗi đa ring, gồm 5 ring nối với nhau liên tiếp tại các nút mạng trung gian như hình 3.2.



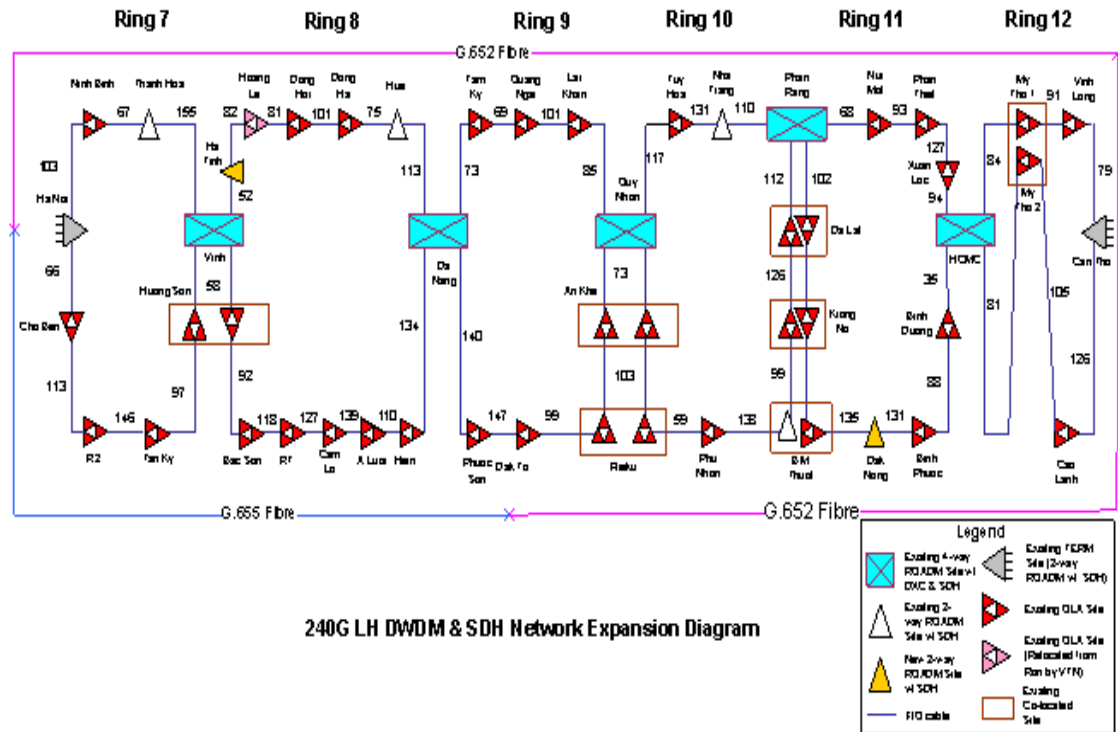
Hình 3.2. Cấu trúc mạng của tuyến trục Backbone 120G của VNPT

Hệ thống thiết bị bao gồm hai lớp: lớp thiết bị DWDM (thực hiện chức năng ghép/tách các bước sóng, bù suy hao công suất, bù tán sắc, tối ưu OSNR); lớp thiết bị SDH (thực hiện chức năng ghép các luồng tín hiệu bậc thấp lên các luồng tín hiệu SDH bậc cao, chuyển mạch bảo vệ thiết bị, chuyển mạch bảo vệ luồng tín hiệu). Thiết bị đầu nối trung gian giữa hai lớp SDH/NG-SDH và WDM là các bộ biến đổi bước sóng (WT) có chức năng chuyển đổi luồng tín hiệu SDH (STM16, STM64) thành luồng tín hiệu OTM (OTM1,2) để đưa tới mô đun ghép/tách kênh.

3.1.2. Hệ thống DWDM đường trục Bắc-Nam 240G của Nortel

Tuyến trục Backbone 240G của VNPT được xây dựng và đưa vào khai thác từ đầu năm 2009 sử dụng thiết bị của hãng Nortel (bao gồm 08 bước sóng tốc độ 10Gb/s), hiện nay tuyến trục này đã được nâng cấp lên dung lượng 240G (bao gồm cả bước sóng 10Gb/s và 40Gb/s).

Cấu trúc mạng tuyến DWDM trải dài từ Bắc đến Nam với 6 vòng ring có dung lượng truyền dẫn là 240Gbps (8x10Gbps và 4x40Gbps) với nhiều trạm khuếch đại quang, trạm xen/rẽ quang(OADM)(Hình 3.3).



Hình 3.3. Sơ đồ tuyến trực tuyến trực Backbone Bắc-Nam 240Gbps

Hệ thống thiết bị bao gồm hai lớp: lớp thiết bị DWDM (thực hiện chức năng ghép/tách các bước sóng màu băng C thành tín hiệu DWDM, bù suy hao công suất, tối ưu OSNR); lớp thiết bị SDH (thực hiện chức năng ghép các luồng tín hiệu bậc thấp lên các luồng tín hiệu SDH bậc cao, chuyển mạch bảo vệ thiết bị, chuyển mạch bảo vệ luồng tín hiệu). Thiết bị đầu nối trung gian giữa hai lớp SDH và WDM là thiết bị OME6500-Broadband sử dụng các card biến đổi bước sóng (WT) có chức năng chuyển đổi luồng tín hiệu SDH/NG-SDH (STM64, 4*STM64) thành luồng tín hiệu OTM (OTM2, OTM3) để đưa tới mô đun ghép/tách kênh.

3.2. Mạng truyền tải quang của các VNPT tỉnh/ thành phố

Mạng truyền tải quang của các VNPT tỉnh/thành phố của VNPT bao gồm:

- Mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố

- Các mạng truy nhập quang của các VNPT tỉnh/thành phố.

3.2.1. Mạng MAN-E

MAN-E (Metropolitan Area Network- Ethernet): là mạng mạng đô thị (MAN) sử dụng công nghệ Ethernet để kết nối nhiều mạng truy nhập quang với nhau sử dụng đường truyền tốc độ cao và cung cấp kết nối truy nhập với các chuẩn Ethernet.

❖ Cấu trúc các mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố

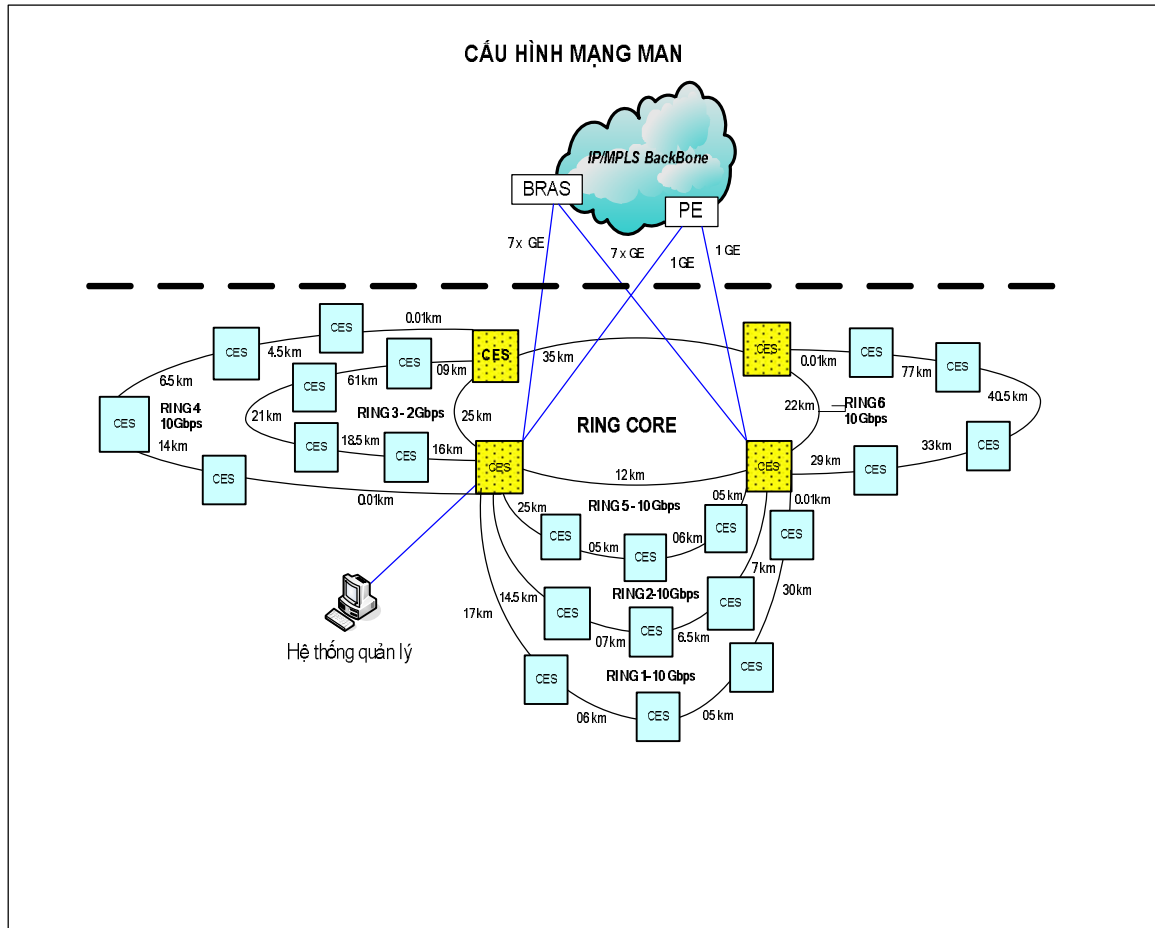
MAN-E tại mỗi tỉnh/thành phố được tổ chức thành hai lớp. Lớp thứ nhất là lớp lõi, phục vụ cho việc chuyển tải lưu lượng trao đổi giữa các mạng truy nhập trong nội bộ tỉnh và lưu lượng trao đổi giữa các tỉnh với nhau. Lớp thứ hai là lớp truy nhập, phục vụ trong vai trò thu thập lưu lượng của các loại ứng dụng khác nhau. Lớp này có vai trò chuyển tải lưu lượng trao đổi giữa các nhóm khách hàng thuộc về cùng một mạng truy nhập hoặc chuyển tải lưu lượng lên trên lớp mạng lõi cho các loại lưu lượng trao đổi trong một tỉnh hoặc liên tỉnh. Mô hình mạng MAN-E của một tỉnh/thành phố của VNPT.

Mạng MAN-E cho mỗi tỉnh/thành phố chính là phần mạng “**MAN E CORE**” với các thiết bị chuyển mạch tốc độ cao “CES” để thiết lập lớp chuyển mạch lõi cho toàn bộ lưu lượng của các loại dịch vụ khác nhau. Lớp truy nhập của mạng MAN-E chính là lớp “**Access**” với nhiều loại thiết bị khác nhau, cung cấp các giao diện khác nhau nhằm thỏa mãn mọi yêu cầu về truy nhập của khách hàng. Các thiết bị chính của các tỉnh/thành phố của VNPT có thể là các thiết bị truy nhập trên công nghệ GPON và xDSL hay FTTx.

Mạng truy nhập của MAN-E có thể xây dựng với topology hình cây, vòng, lưới hoặc lai ghép hỗn hợp. Mạng có khả năng hồi phục trong trường hợp có sự cố về tuyến cáp, nút chuyển mạch nhằm đảm bảo chất lượng dịch vụ.

Mạng lõi của MAN-E cho các tỉnh/thành phố của VNPT chủ yếu có cấu hình ring sử dụng công nghệ WDM nhằm đảm bảo khả năng dự phòng của mạng lõi trong trường hợp có sự cố. Tốc độ chuyển mạch tại các nút mạng lõi lên đến hàng chục Gbps và lưu lượng chuyển trên các tuyến kết nối của mạng lõi đạt có thể đạt

đến hàng chục Gbps. Các nút mạng lõi được đặt tại các điểm trung tâm lưu lượng, thường ở các địa điểm tập trung dân cư và khu công nghiệp.



Hình 3.4. Mô hình mạng MAN-E cho một tỉnh/thành phố của VNPT

3.2.2. Mạng truy nhập quang G-PON

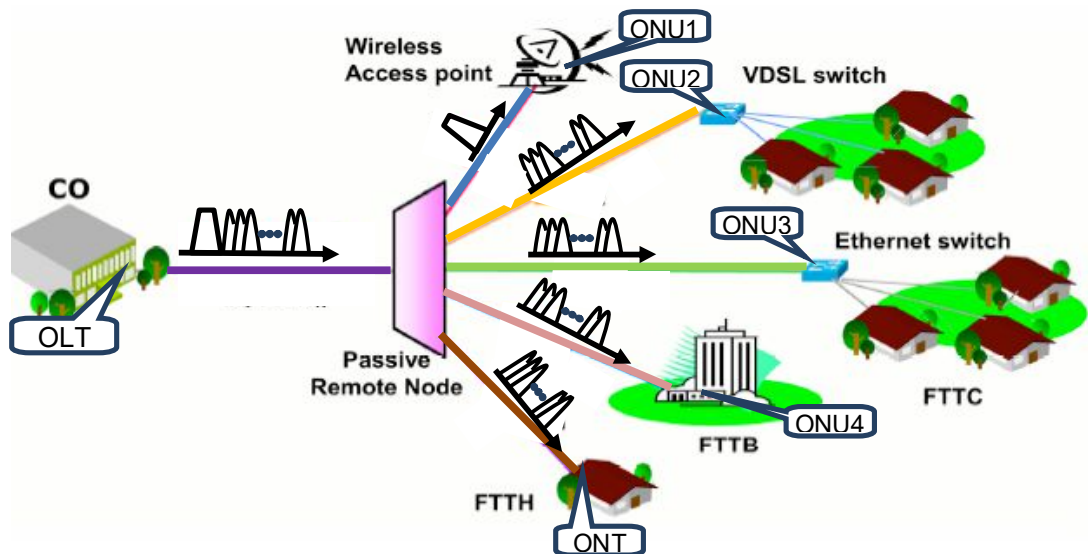
Mạng truy nhập quang GPON (Gigabit Passive Optical Network) là công nghệ PON truyền dẫn với tốc độ Gb/s, được định nghĩa theo chuẩn ITU-T G.984. GPON được mở rộng từ chuẩn BPON G.983 bằng cách tăng băng thông, nâng hiệu suất băng thông nhờ sử dụng gói lớn, có độ dài thay đổi và tiêu chuẩn hóa quản lý.

GPON hỗ trợ nhiều mức tốc độ khác nhau, trong đó hỗ trợ tới 2,488 Mbit/s của băng thông luồng xuống và 1,244 Mbit/s thậm chí tới 2,448 của băng thông luồng lên. Phương thức đóng gói GEM (GPON Encapsulation Method) cho phép

đóng gói lưu lượng người dùng rất hiệu quả, với sự phân đoạn khung cho phép nâng cao chất lượng dịch vụ QoS (Quality of Service) phục vụ lưu lượng nhạy cảm như truyền thoại và video. GPON hỗ trợ tốc độ cao, tăng cường bảo mật và hỗ trợ cả dịch vụ TDM và Ethernet, điều đó cho phép GPON hỗ trợ nhiều loại dịch vụ với chi phí thấp cũng như cho phép khả năng tương thích lớn giữa các nhà cung cấp thiết bị.

Ứng dụng công nghệ OFDM cho PON

Ứng dụng công nghệ OFDM trong PON, các nhà nghiên cứu đưa ra mô hình OFDM-PON được minh họa trong hình 3.5. Trong đó, ở đường xuống OLT gán cho từng người dùng cụ thể (ONU/ONT) một hoặc một tập hợp con của các sóng mang con (tùy theo nhu cầu các dịch vụ và băng thông của các khách hàng). Các ONU/ONT tương ứng nhận được các sóng mang con tương ứng thực hiện tách sóng quang và biến đổi thành dữ liệu tương ứng với phía phát. Theo hướng đường lên, mỗi ONU điều chỉnh các dữ liệu trên tập sóng mang con được giao, trong khi tất cả các sóng mang con khác thuộc các ONU khác được thiết lập bằng không.



Hình 3.5. Mô hình OFDM-PON.

Trong mạng OFDM-PON, tức là PON sử dụng đa truy nhập phân chia theo tần số trực giao OFDMA, người ta sử dụng mỗi sóng mang con dành riêng cho mỗi ONU, và nó cho phép nhiều người dùng chia sẻ các kênh quang và các thành phần tương ứng của nó. OFDMA là một công nghệ đa truy cập cho phép gán sóng mang con khác nhau cho nhiều người dùng một cách năng động, nó đồng thời cho phép phân vùng tài nguyên thời gian và miền tần số. So với TDM-PON, OFDM-PON có thể được kết hợp với TDM cung cấp thêm một chiều bổ sung cho quản lý tài nguyên. Ví dụ, trong phạm vi thời gian PON có thể phục vụ lưu lượng bùng nổ, và trong phạm vi tần số PON có thể cung cấp tốt khả năng quản lý tài nguyên.

Hệ thống OFDM-PON có nhiều lợi thế so với công nghệ PON khác: (1) cải thiện hiệu quả băng thông (ví dụ, 4 bit/s/ Hz cho điều chế 16-QAM, và với băng thông 2,5 GHz có thể hỗ trợ 10 Gb/s tốc độ dữ liệu tổng hợp); (2) sự linh hoạt độc đáo trong việc đối phó với chia sẻ tài nguyên băng thông và ảo hóa; (3) giao thức độc lập và minh bạch dịch vụ (tập con của sóng mang con, tương tự như đối với đường ống trong suốt, có thể hỗ trợ cả hai tín hiệu kỹ thuật số và analog với một loạt các chất lượng các yêu cầu dịch vụ); (4) OFDM-PON là một kiến trúc mở rộng (cụ thể là, nó có thể cùng tồn tại với TDM-PON và WDM-PON); (5) nó là một giải pháp hiệu quả chi phí (thu ít hơn là cần thiết trong OLT so với truyền thống WDM-PON); và (6) nó có thể hoạt động đơn giản, kiểm soát truy cập phương tiện (MAC) với chi phí thấp.

Ứng dụng công nghệ CO-OFDM cho PON

Ứng dụng công nghệ CO-OFDM trong PON cho mạng truy nhập quang băng rộng hoàn toàn tương tự như ứng dụng công nghệ OFDM trong PON cho mạng truy nhập quang băng rộng (như đã trình bày trong phần trên). Tuy nhiên, ứng dụng công nghệ CO-OFDM trong PON chỉ khác ứng dụng công nghệ OFDM trong PON ở chỗ:

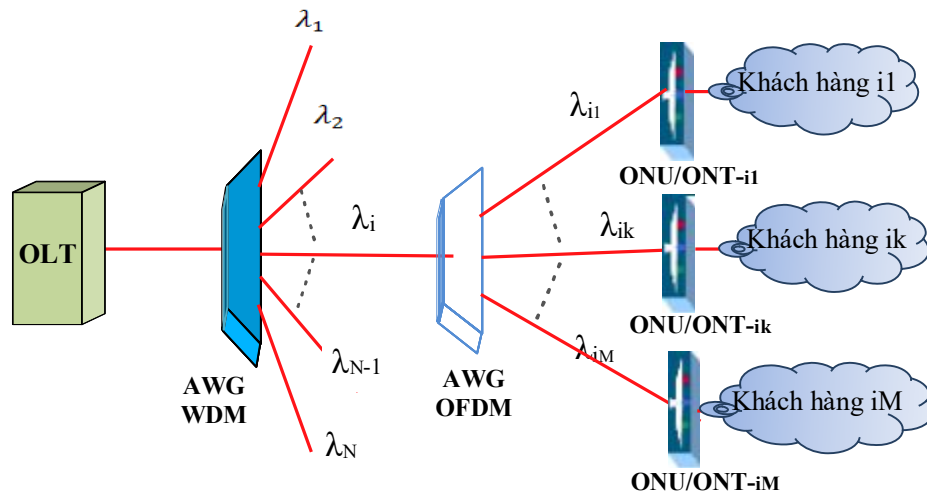
- Bộ tách sóng quang ở bộ OLT hướng lên và ở ONT hướng xuống trong PON sử dụng công nghệ quang Coherent và
- Bộ biến đổi điện-quang ở bộ OLT hướng xuống và ở ONT hướng lên trong PON sử dụng công nghệ điều chế ngoài.

Bộ biến đổi điện-quang sử dụng công nghệ điều chế ngoài và bộ tách sóng quang Coherent quang đã được trình bày trong chương 2, tương ứng với các bộ phát quang CO-OFDM và các bộ thu quang CO-OFDM.

Ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho PON

Mô hình hệ thống PON sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM (mạng truy nhập OBM-OFDM-PON) được minh họa trong hình 3.6. Trong đó, ở đường xuống OLT gán cho từng người dùng (khách hàng) cụ thể (ONU/ONT) một hoặc một tập hợp con của các sóng mang con (tùy theo nhu cầu các dịch vụ và băng thông của các khách hàng) thông qua 2 bộ định tuyến AWG:

1. Bộ định tuyến AWG-WDM để định tuyến các sóng mang con OFDM vào các các băng trực giao tương ứng của tín hiệu OBM-OFDM, tương ứng với định tuyến vào các băng của WDM.
2. Bộ định tuyến AWG-OFDM để định tuyến một hoặc một tập hợp con của các sóng mang con (tùy theo nhu cầu các dịch vụ và băng thông của các khách hàng) đến các khách hàng có nhu cầu.



Hình 3.6. Mô hình CO-OFDM-WDM CHO PON

Đồng thời, các bộ tách sóng quang ở OLT hướng lên và ở ONU/ONT hướng xuống trong PON sẽ sử dụng công nghệ tách sóng quang Coherent và các bộ biến đổi điện-quang ở OLT hướng xuống và ở ONU/ONT hướng lên trong PON sử dụng công nghệ điều chế ngoài.

Việc sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truy nhập PON của VNPT không chỉ làm tăng dung của hệ thống mạng truy nhập mà còn làm tăng chất lượng truyền dẫn của hệ thống mạng truy nhập của VNPT.

Như phần trên đã trình bày mạng truyền tải của VNPT gồm 3 lớp: Mạng truyền dẫn quốc tế, mạng đường trục và mạng truyền tải của các VNPT tỉnh/thành phố.

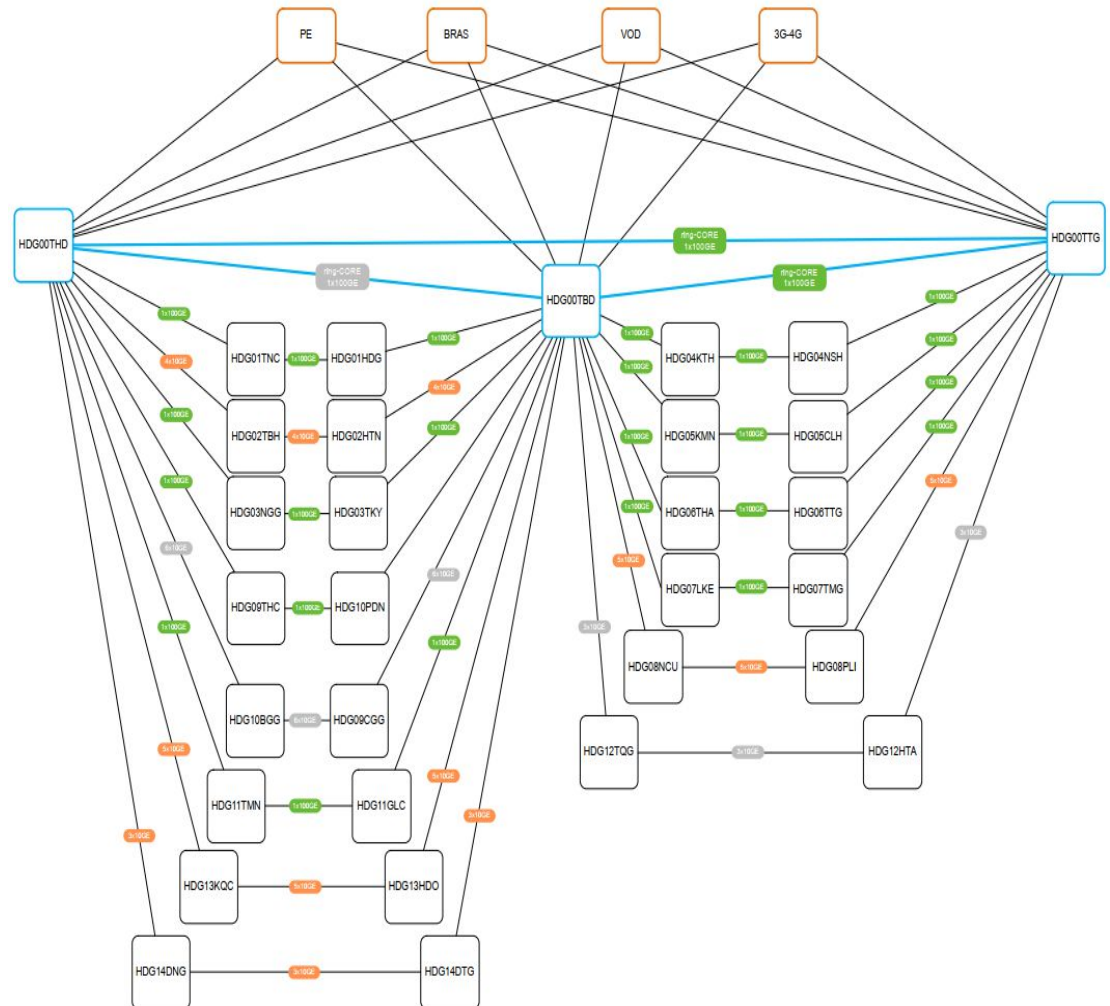
Việc ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền tải quang băng rộng của VNPT có thể triển khai ở cả 3 lớp này. Tuy nhiên, việc ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền dẫn quốc tế sẽ gặp nhiều khó khăn, vì cần phải phối hợp thực hiện với nhiều nước trên thế giới có liên quan đến các mạng này. Do đó, trong phần này luận văn chỉ tập trung vào việc ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng đường trục và mạng mạng truyền tải của các VNPT tỉnh/thành phố của VNPT.

Như vậy, việc sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho tuyến trục của VNPT không chỉ làm tăng dung của hệ thống đường trục mà còn làm tăng chất lượng truyền dẫn của hệ thống truyền tải đường trục của VNPT.

3.3. Giải pháp ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho các mạng đường trục MAN-E của VNPT Hải Dương.

Một trong những giải pháp có thể mang lại hiệu quả cho các mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố, đó là ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM.

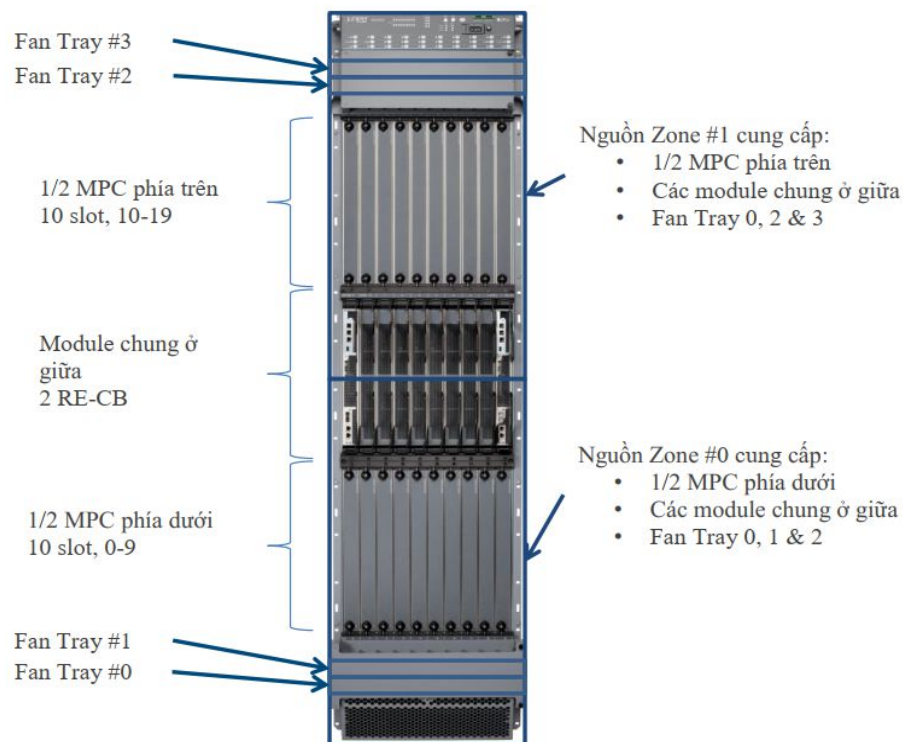
VNPT Hải Dương sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho các mạng đường trục MAN-E. Trong tương lai, các mạng truy nhập quang của VNPT các tỉnh/thành phố cần phải có băng thông rộng/tốc độ cao và dung lượng truyền tải lớn để cung cấp được các dịch vụ băng rộng/tốc độ cao, dịch vụ hội tụ, dịch vụ đa phương tiện và các dịch vụ tương tác.



Hình 3. 7: Sơ đồ kết nối mạng MAN-E của VNPT Hải Dương

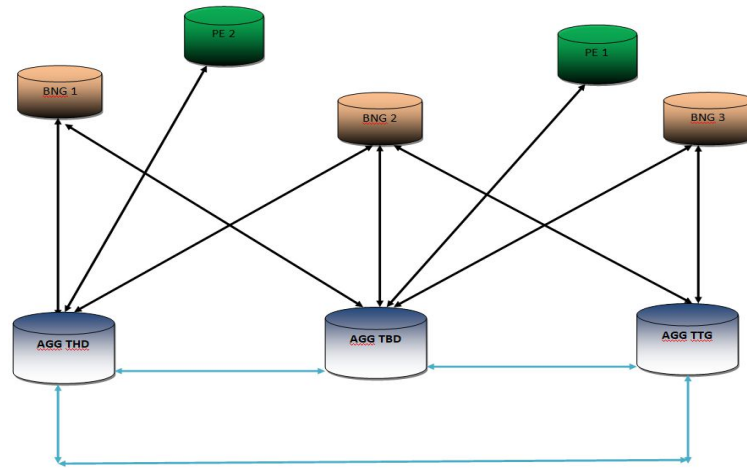
Mạng Core MAN-E tại VNPT Hải Dương gồm 03 Router Juniper MX2020. Đây là dòng thiết bị có cấu hình cao nhất của hãng Juniper đang được triển khai trên mạng MAN-E của tập đoàn VNPT. Dung lượng hệ thống lên tới 80 Tbps với 20 khe cắm các giao tiếp, dung lượng chuyển mạch trên mỗi khe là 4 Tbps, hỗ trợ các giao diện 10Gb, 40Gb, 100Gb, 200Gb, 400Gb. Cấu trúc của thiết bị Router Juniper MX2020 được mô tả trong hình 3.8.

Hình 3.7 thể hiện sơ đồ mạng lõi của MAN-E, các router mạng lõi AGG kết nối với nhau thành vòng ring, sử dụng giao diện quang 100Gbps. Từ các AGG kết nối trực tiếp tới BRASS với dung lượng mỗi đường là 100Gbps, BRASS được cấu hình dùng cho việc truy cập internet của các thuê bao, các kết nối đều được cấu hình dự phòng để đảm bảo khi lỗi một nút mạng hoặc mất một hướng quang, lưu lượng sẽ tự động chuyển sang hướng dự phòng.



Hình 3.8 : Thiết bị Router Core Juniper MX2020

Từ mỗi router AGG THD và AGG TBD có 02 x 10Gbps đường kết nối đến PE1 và 02 x 10Gbps đến PE2 để cung cấp các dịch vụ khác như : IMS, VoD, IPTV, Megawan.... Dung lượng của các đường kết nối hướng VN2 cho dịch vụ Internet tốc độ cao kết nối với các BNG1, BNG2, BNG3 hiện đang là 800Gbps. Bảng thông cho các đường kết nối dịch vụ di động 3G, 4G lên PE1 và PE2 là 40Gbps. Bảng thông cho các dịch vụ VPN kết nối lên VN2 qua PE1, PE là 40Gbps [8].



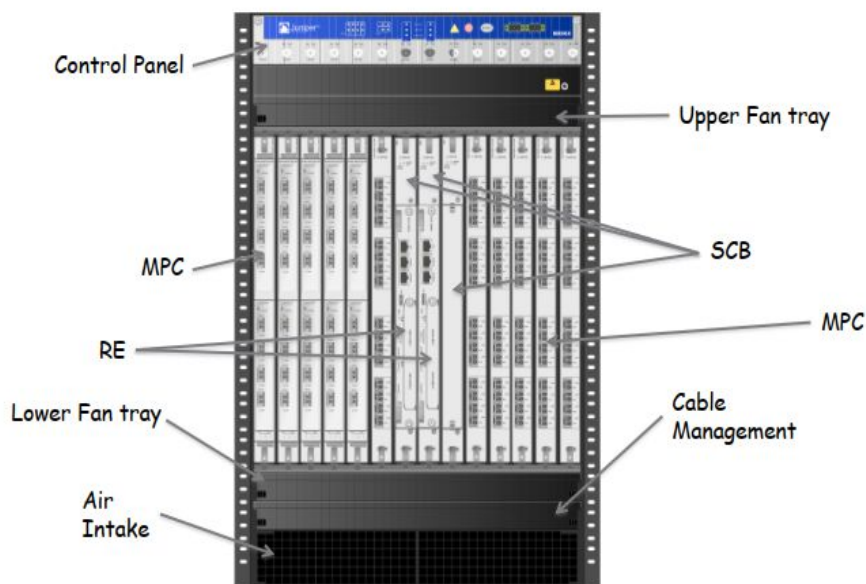
Hình 3.9 : Sơ đồ mạng CORE MAN-E của Hải Dương
Mạng truy nhập MAN-E

Mạng truy nhập MAN-E của VNPT Hải Dương sử dụng 28 Router MX960 của hãng Juniper đóng vai trò UPE. Router MX960 cung cấp dung lượng hệ thống lên tới 12 Tbps, có thể cắm 11 khe cắm các giao tiếp, hỗ trợ cho các giao diện 10GbE, 40GbE, 100GbE, 400GbE. Các Router UPE kết nối với nhau và kết nối tới mạng lõi bằng các đôi quang, với giao diện $n \times 10\text{Gbps}$ hoặc 100Gbps, và được cấu hình vòng ring để đảm bảo khả năng dự phòng khi có sự cố xảy ra trên các nút mạng hoặc cáp quang kết nối.

Cấu trúc ring MAN-E của VNPT Hải Dương được chia làm 14 ring truy nhập và 1 ring mạng lõi, 14 ring truy nhập này được chia thành 02 hướng.

- + Hướng Tây bao gồm 8 ring: Các UPE trong ring kết nối về 2 AGG THD và TBD của ring lõi.
 - Ring 1: Sử dụng kết nối có giao diện 1 x 100Gbps: AGG THD – UPE TNC – UPE HDG – AGG TBD.
 - Ring 2: Sử dụng kết nối có giao diện 5 x 10Gbps: AGG THD – UPE TBH – UPE HTN – AGG TBD.

- Ring 3: Sử dụng kết nối có giao diện 1 x 100Gbps: AGG THD – UPE NGG – UPE TKY – AGG TBD.
- Ring 9: Sử dụng kết nối có giao diện 1 x 100Gbps: AGG THD – UPE THC – UPE PDN – AGG TBD.
- Ring 10: Sử dụng kết nối có giao diện 6 x 10Gbps: AGG THD – UPE BGG – UPE CGG – AGG TBD.
- Ring 11: Sử dụng kết nối có giao diện 1 x 100Gbps: AGG THD – UPE TMN – UPE GLC – AGG TBD.
- Ring 13: Sử dụng kết nối có giao diện 5 x 10Gbps: AGG THD – UPE KQC – UPE HDO – AGG TBD.
- Ring 14: Sử dụng kết nối có giao diện 3 x 10Gbps: AGG THD – UPE DNG – UPE DTG – AGG TBD.



Hình 3. 10: Thiết bị Router Juniper MX960

- + Hướng Đông bao gồm 06 ring: Các UPE kết nối về AGG TBD và AGG TTG của ring core.
 - Ring 4: Sử dụng kết nối có giao diện 1 x 100Gbps: AGG TBD – UPE KTH – UPE NSH – AGG TTG.

- Ring 5: Sử dụng kết nối có giao diện 1 x 100Gbps: AGG TBD – UPE KMN – UPE CLH – AGG TTG.
- Ring 6: Sử dụng kết nối có giao diện 1 x 100Gbps: AGG TBD – UPE THA – UPE TTG – AGG TTG.
- Ring 7: Sử dụng kết nối có giao diện 1 x 100Gbps: AGG TBD – UPE LKE – UPE TMG – AGG TTG.
- Ring 8: Sử dụng kết nối có giao diện 5 x 10Gbps: AGG TBD – UPE NCU – UPE PLI – AGG TTG.
- Ring 12: Sử dụng kết nối có giao diện 3 x 10Gbps: AGG TBD – UPE TQG – UPE HTA – AGG TTG.

Việc cấu hình các ring theo sơ đồ mạng trên nhằm đảm bảo độ an toàn mạng lưới cao trong trường hợp xảy ra sự cố hỏng nút mạng hoặc đứt cáp quang trên tuyến. Với việc được trang bị số lượng lớn các UPE, và được lắp đặt rộng khắp trên địa bàn tỉnh Hải Dương, điều này góp phần đảm bảo năng lực mạng lưới được tối ưu, an toàn mạng lưới, có tính dự phòng cao. Các ring MAN-E đều được bố trí vị trí lắp đặt, cấu hình thành các ring tròn, không bị dẹt hướng cáp quang, đảm bảo khi có một hướng cáp quang bị sự cố, lưu lượng sẽ tự chuyển mạch sang hướng kết nối dự phòng, không gây mất liên lạc dịch vụ trong mạng.

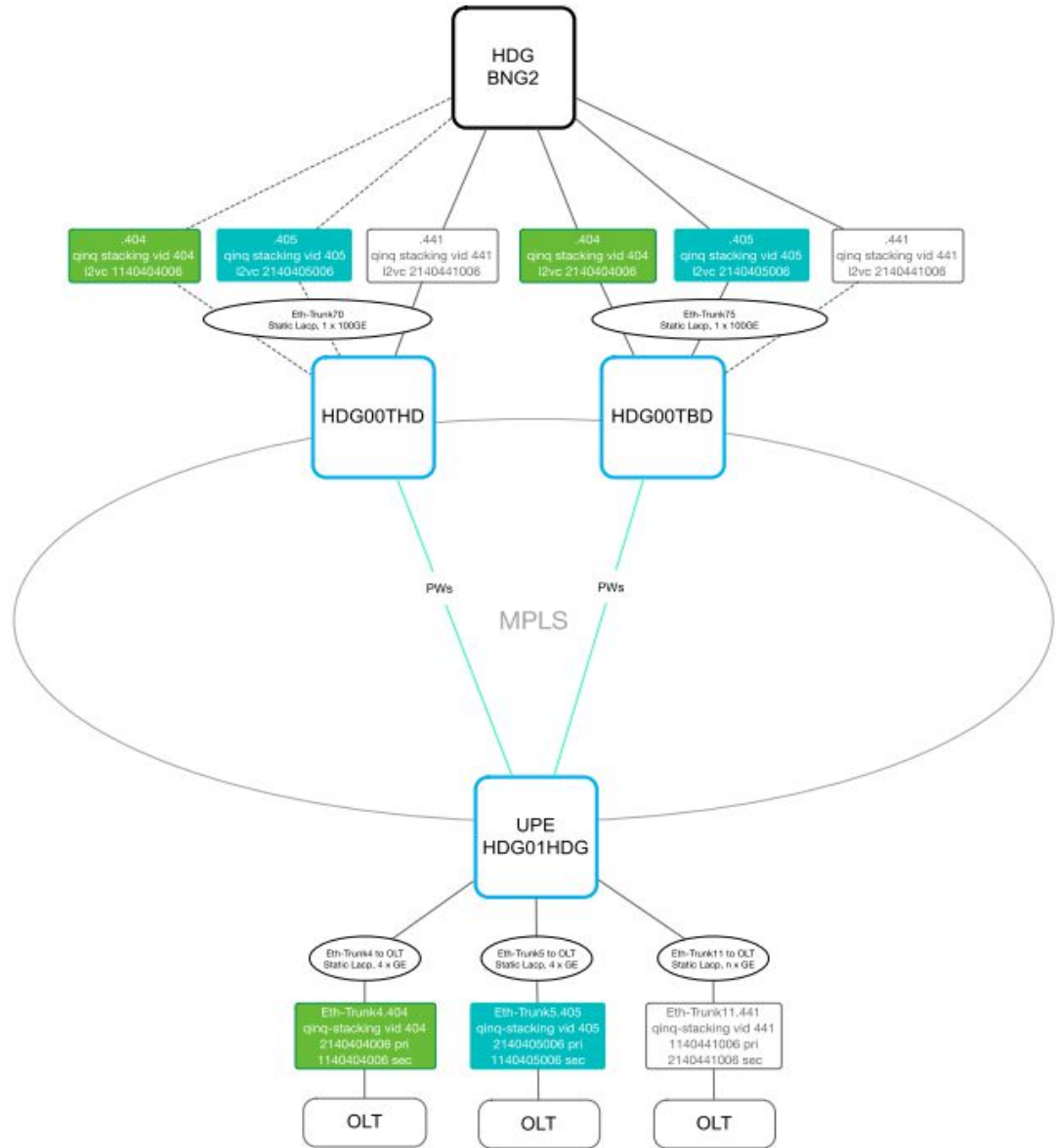
Nhằm đảm bảo cho việc thu gom lưu lượng thuận lợi, các router UPE được lắp đặt tại 12 trung tâm huyện/thành phố trong tỉnh, ở những địa bàn trọng điểm, mật độ thuê bao lớn, có thể lắp 02 hoặc 03 thiết bị UPE, giúp cho việc gom lưu lượng từ các thiết bị truy nhập tối ưu nhất và đảm bảo an toàn mạng lưới.

3.4. Các dịch vụ mạng MAN-E Hải Dương đang triển khai

Dịch vụ truy cập Internet tốc độ cao

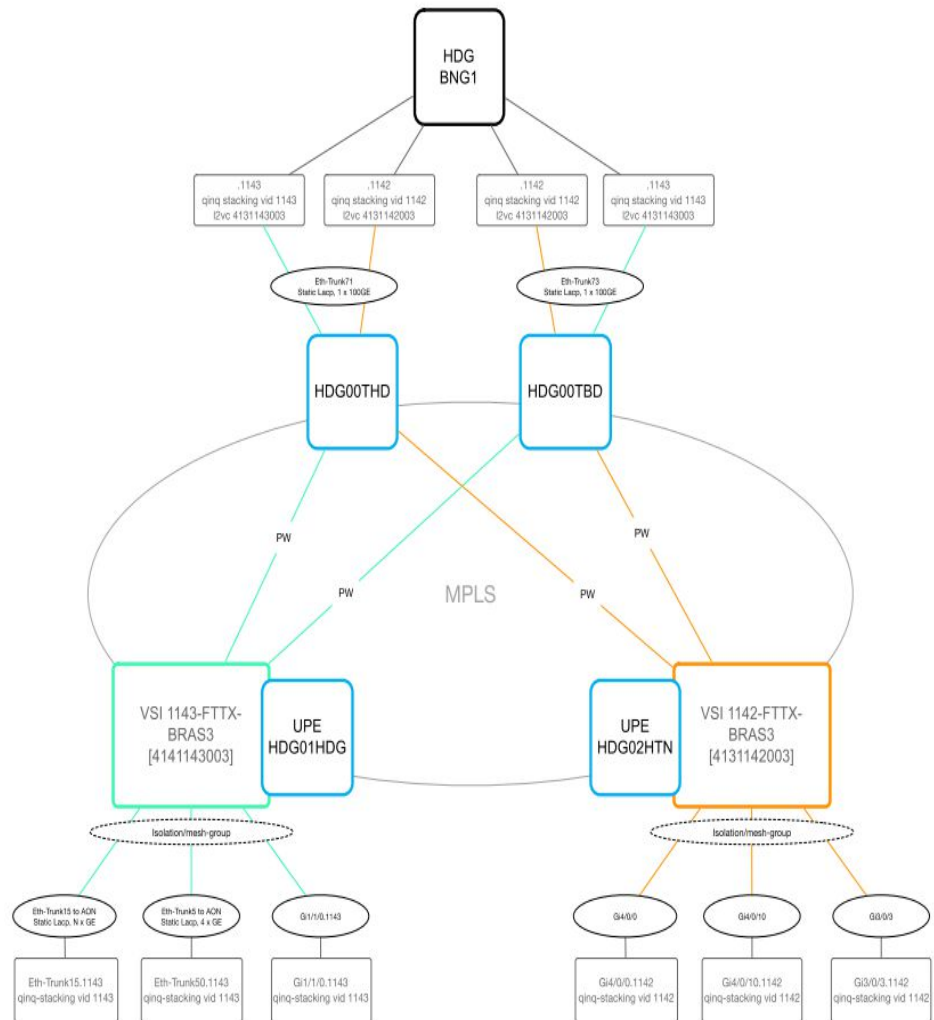
VNPT Hải Dương đang cung cấp cho hơn 158 nghìn thuê bao truy cập Internet, với 2 mô hình cung cấp dịch vụ Internet tốc độ cao được sử dụng nhiều nhất là PPPoE-GPON và PPPoE-FTTx dựa trên dịch vụ mạng MAN-E là E-LINE, E-TREE.

Dịch vụ HSI PPPoE – GPON: Mô hình dịch vụ này cung cấp thuê bao PPPoE kết cuối qua các thiết bị GPON - OLT. MAN-E cung cấp dịch vụ kết nối cho lưu lượng PPPoE đi từ các OLT đến BNG kết nối tại PE-AGG. Đây là mô hình dịch vụ MAN-E E-LINE điểm – điểm: điểm đầu là BRASS - BNG, điểm cuối là modem GPON, sử dụng kết nối lớp 2 trong mô hình OSI. Với hơn 140 nghìn thuê bao GPON, đây là dịch vụ được sử dụng nhiều nhất trong mạng truy cập Internet của VNPT Hải Dương. Tổng số thiết bị OLT trên mạng lưới là 131, mỗi thiết bị OLT sử dụng một VLAN riêng biệt cho lưu lượng internet, mô hình còn được gọi là VLAN trên OLT.



Hình 3. 11: Mô hình dịch vụ HSI PPPoE – GPON trên mạng MAN-E

Hình 3.12 mô tả sơ đồ kết nối mô hình dịch vụ truy cập internet qua hệ thống Gpon đang triển khai tại Hải Dương. Các PW được khai báo kết nối từ UPE đến 2 AGG trong cùng vòng ring, kết cuối trực tiếp đến router BNG được cấu hình active/standby, mục đích dự phòng khi có sự cố một trong hai hướng kết nối router AGG, lưu lượng sẽ được chuyển mạch sang hướng dự phòng một cách tự động, và không gây gián đoạn dịch vụ.



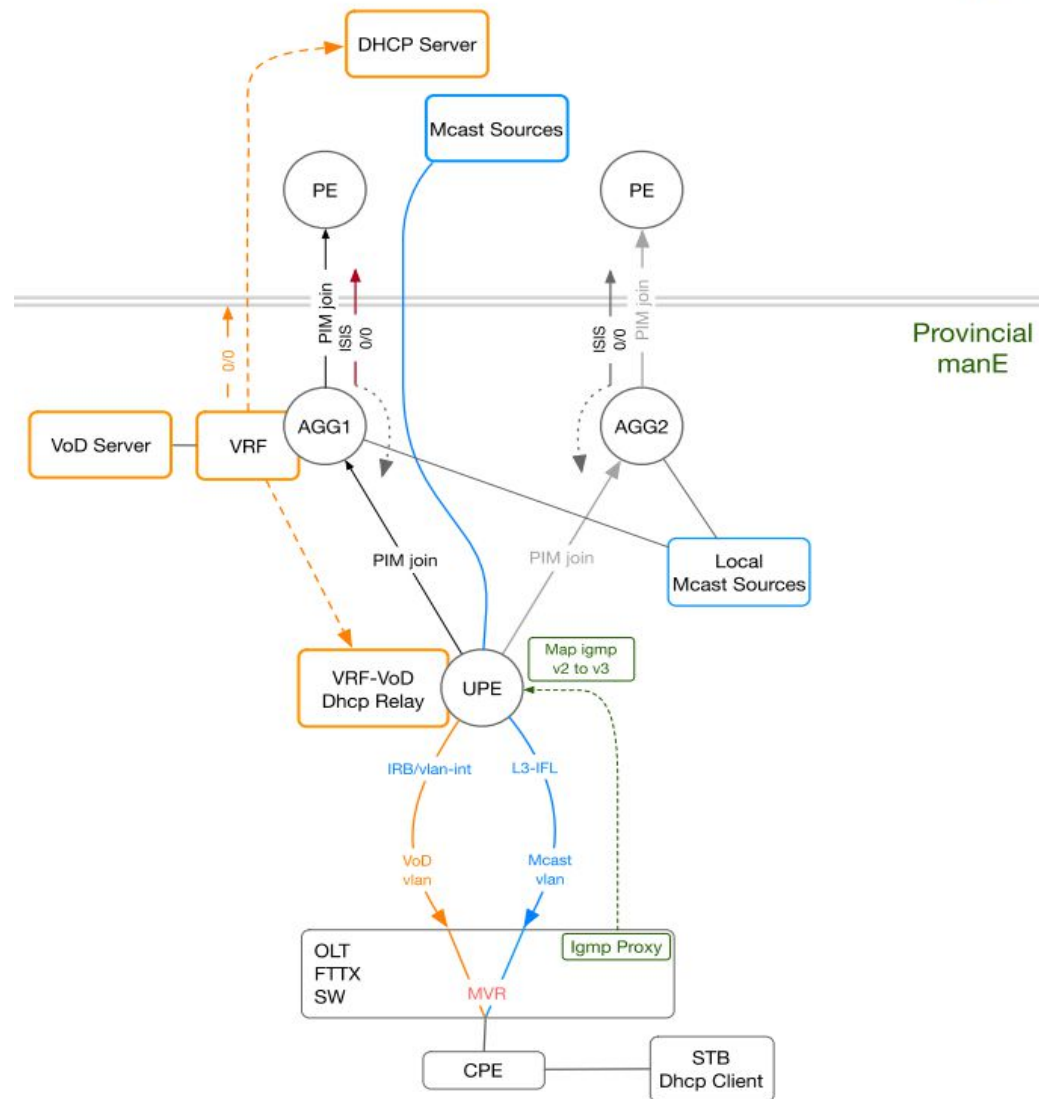
Hình 3. 12: Mô hình dịch vụ HSI PPPoE – FTTX trên mạng MAN-E

Dịch vụ HSI PPPoE – FTTX: Mô hình dịch vụ lớp 2 này cung cấp thuê bao PPPoE kết cuối qua các thiết bị AON, thường được sử dụng cho việc truy cập internet của các công ty, doanh nghiệp, cơ quan nhà nước, trường học. MAN-E cung cấp dịch vụ kết nối cho lưu lượng PPPoE đi từ modem AON đến BRAS – BNG kết nối tại PE-AGG.

Dịch vụ MyTV Multicast / VoD

MyTV là dịch vụ truyền hình qua giao thức công nghệ truyền tải IP, truyền qua hạ tầng mạng MAN đến thiết bị đầu cuối là bộ giải mã Set Top Box. MyTV cung cấp nhiều dịch vụ hiện đại và tiện ích, trong đó nổi bật là 2 dịch vụ chính: Multicast / IPTV và dịch vụ Video theo yêu cầu VoD.

VN2



Hình 3. 13: Mô hình dịch vụ MyTV tại Hải Dương

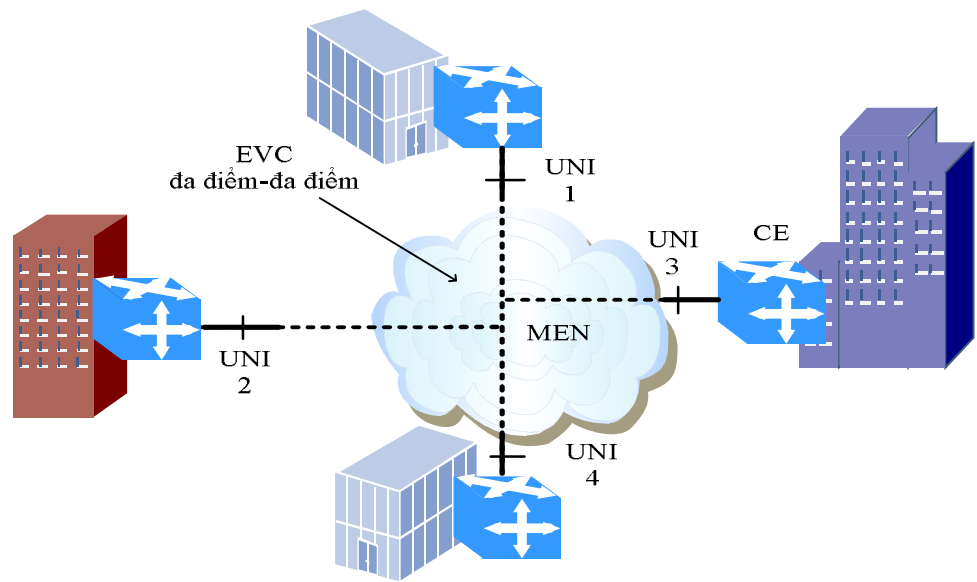
IPTV: truyền hình qua giao thức internet, là các dịch vụ đa phương tiện như truyền hình ảnh, tiếng nói, văn bản, dữ liệu được phân phối dựa trên IP, được quản

lý để cung cấp chất lượng dịch vụ, bảo mật, tính tương tác, tính tin cậy theo yêu cầu. Dịch vụ truyền hình Multicast/IPTV bao gồm các nội dung truyền hình được quảng bá theo lịch trình thời gian cố định như truyền hình truyền thống, cung cấp cho khách hàng những chương trình truyền hình được thu lại từ hệ thống truyền hình mặt đất, truyền hình cáp, truyền hình vệ tinh và các kênh truyền hình riêng, và khách hàng không chỉ xem một cách thụ động mà có thể sử dụng những tính năng ưu việt như tạm dừng, lưu trữ, khóa chương trình dành cho trẻ em... Để truyền tín hiệu video cho nhiều thuê bao cùng một lúc người ta sử dụng công nghệ IP Multicast, đây là công nghệ băng thông rộng nhằm làm giảm lưu lượng trong việc phân phối dòng dữ liệu cho nhiều điểm, các gói tin Multicast được chuyển tiếp, phát lại lên mạng bởi các router có chức năng PIM.

Hình 3.13 mô tả mô hình kết nối dữ liệu Mytv từ thiết bị đầu cuối STB đến nguồn phát nội dung multicast tại VN2. Lưu lượng multicast xuất phát từ nguồn Multicast tại VN2, đi qua hệ thống mạng MAN-E theo pim join và đến UPE nơi có các kết nối xuống các thiết bị truy nhập. Lưu lượng này chạy thuần túy trên IP của MAN-E và không liên quan đến MPLS. Trên hai router AGG trong mạng MAN-E, được cấu hình giao thức ISIS với VN2 để nhận chỉ đường từ nguồn multicast đến từ VN2, và quảng bá vào trong miền MAN-E của Hải Dương, giữa router UPE và AGG được cấu hình PIM SSM. Mạng MANE thực hiện chức năng định tuyến, tạo ra kết nối giữa STB và nguồn multicast.

Dịch vụ LAN mở rộng

Các thuê bao với nhiều vị trí khác nhau trong phạm vi một thành phố thường có nhu cầu kết nối các vị trí đó lại thành một mạng như mạng LAN để cùng truy nhập tài nguyên như máy chủ và các thiết bị lưu trữ.

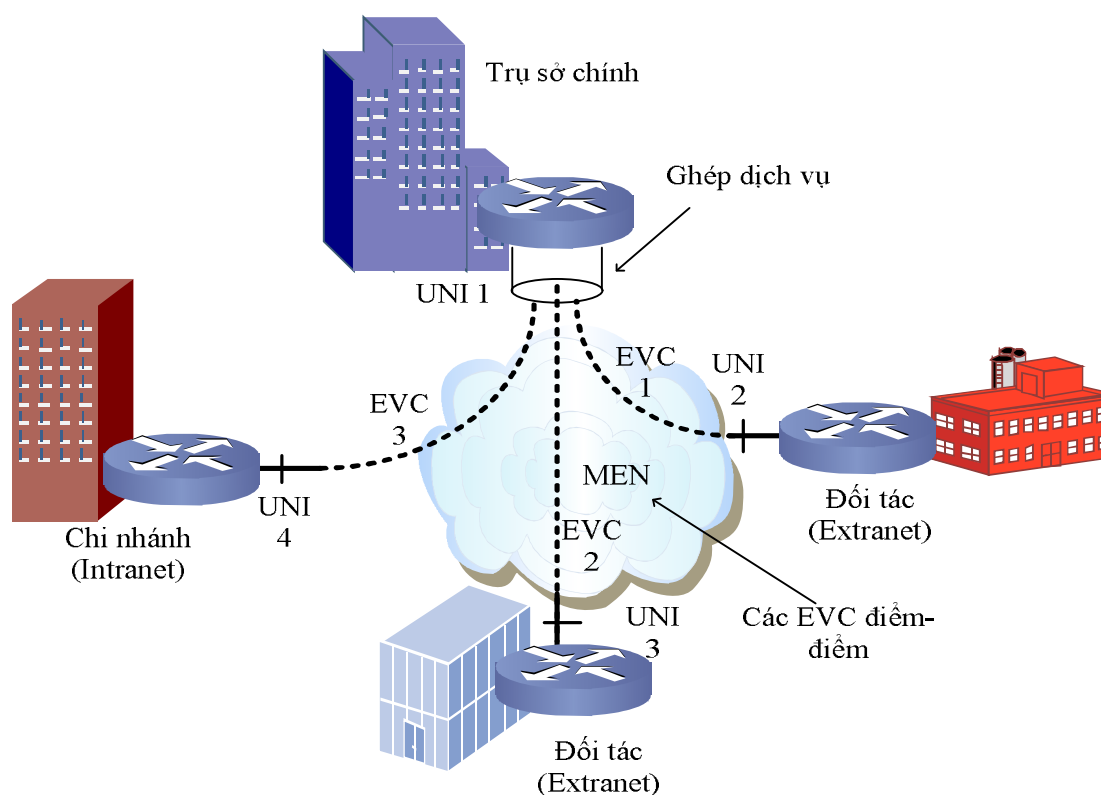


Hình 3. 14: Lan mở rộng sử dụng dịch vụ E-LAN

Một mạng LAN mở rộng sẽ kết nối các mạng LAN khách hàng ở những vị trí khác nhau mà không cần bất kỳ định tuyến trung gian nào giữa các UNI. Để kết nối chỉ giữa hai vị trí thì có thể dùng một kết nối E-Line điểm–điểm. Ví dụ như trên hình 3.14, để kết nối nhiều hơn hai vị trí thì có thể sử dụng nhiều E-Line hoặc một E-LAN.

Dịch vụ Intranet/Extranet L2VPN

Các dịch vụ Ethernet có thể cung cấp lựa chọn tốt cho các kết nối Intranet được định tuyến tới các vị trí xa và kết nối Extranet tới đối tác. Ví dụ như trên hình 3.15, trụ sở chính kết nối với chi nhánh bằng kết nối Intranet, và kết nối với các đối tác khác bằng kết nối Extranet.



Hình 3. 15: Intranet/Extranet L2VPN

Các giao diện của router tại trụ sở chính kết nối tới mạng MAN-E sử dụng một UNI với ghép dịch vụ và hỗ trợ 3 điểm kết nối EVC điểm – điểm. Các EVC có những ưu điểm sau:

- + Các EVC mang tính riêng tư, bảo mật hơn một mạng IP VPN kết nối qua Internet công cộng.
- + Các EVC có thể cung cấp nâng cấp băng thông linh hoạt, với chi phí hợp lý so với mở rộng băng thông qua IP VPN.
- + Cung cấp hiệu năng cao, độ trễ thấp và ít mất gói tin hơn IP VPN.

3.5. Ứng dụng công nghệ CO-OFDMWDM cho các mạng MAN-E

Mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố là các mạng truyền tải lõi của các VNPT tỉnh/thành phố.

Trong tương lai, do sự phát triển của xã hội như phát triển cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 cũng như sự phát triển nền văn minh tri thức, nhu cầu của con người về các dịch vụ băng rộng/tốc độ cao, dịch vụ hội tụ, dịch vụ đa phương tiện và các dịch vụ tương tác (như đã chỉ ra ở phần 3.7.1) sẽ tăng lên rất nhanh không chỉ về số lượng các dịch vụ trên rất cao mà còn cả chất lượng và lưu lượng truyền tải các dịch vụ đó cũng tăng rất cao. Khi đó, các mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố cần phải có băng thông rộng/tốc độ truyền tải cao cũng như dung lượng truyền tải lớn.

Một trong những giải pháp có thể mang lại hiệu quả cho các mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố, đó là ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM.

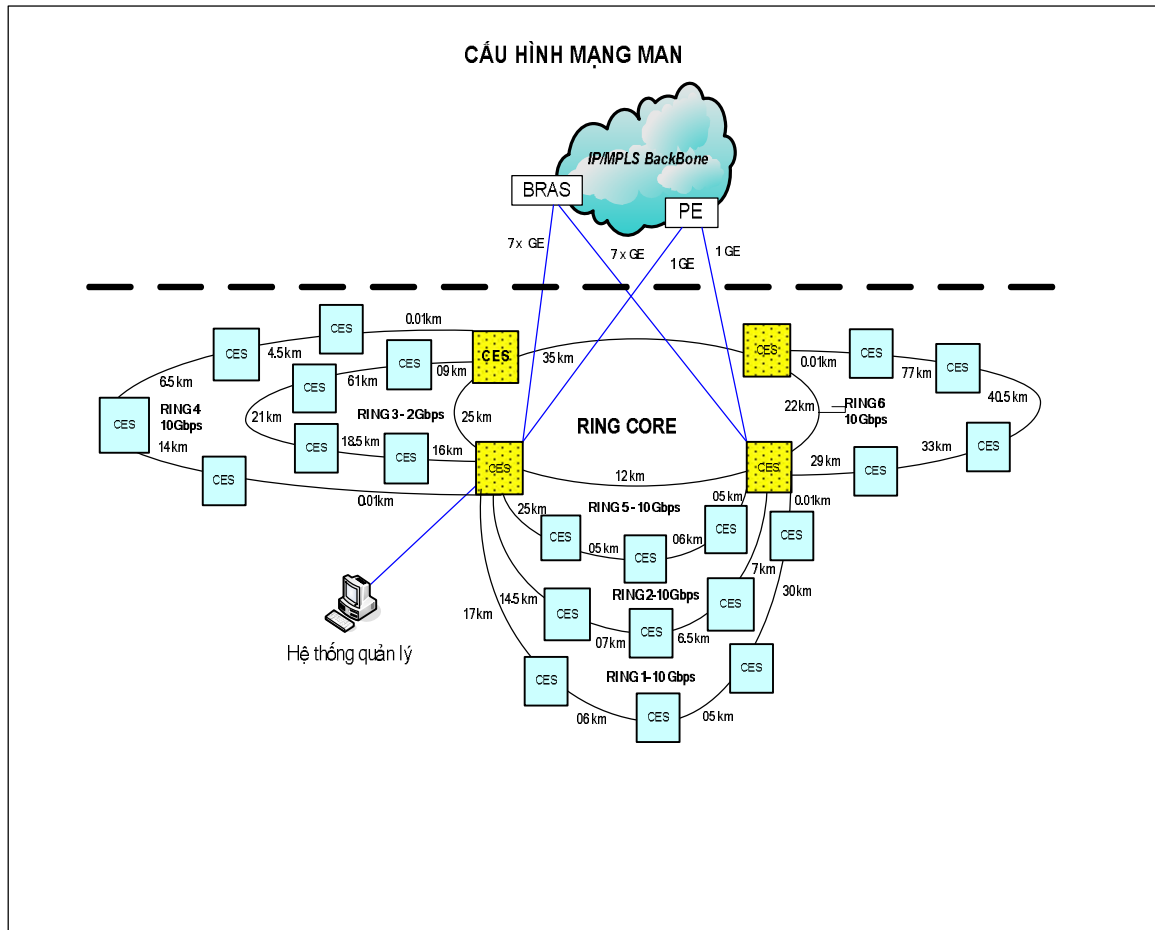
❖ **Cấu trúc các mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố**

MAN-E tại mỗi tỉnh/thành phố được tổ chức thành hai lớp. Lớp thứ nhất là lớp lõi, phục vụ cho việc chuyển tải lưu lượng trao đổi giữa các mạng truy nhập trong nội bộ tỉnh và lưu lượng trao đổi giữa các tỉnh với nhau. Lớp thứ hai là lớp truy nhập, phục vụ trong vai trò thu thập lưu lượng của các loại ứng dụng khác nhau. Lớp này có vai trò chuyển tải lưu lượng trao đổi giữa các nhóm khách hàng thuộc về cùng một mạng truy nhập hoặc chuyển tải lưu lượng lên trên lớp mạng lõi cho các loại lưu lượng trao đổi trong một tỉnh hoặc liên tỉnh. Mô hình mạng MAN-E của một tỉnh/thành phố của VNPT được chỉ ra ở hình 3.16.

Từ hình 3.16 chỉ ra: lớp lõi của mạng MAN-E cho mỗi tỉnh/thành phố chính là phần mạng “**MAN E CORE**” với các thiết bị chuyển mạch tốc độ cao “**CES**” để thiết lập lớp chuyển mạch lõi cho toàn bộ lưu lượng của các loại dịch vụ khác nhau. Lớp truy nhập của mạng MAN-E chính là lớp “**Access**” với nhiều loại thiết bị khác nhau, cung cấp các giao diện khác nhau nhằm thỏa mãn mọi yêu cầu về truy nhập của khách hàng. Các thiết bị chính của các tỉnh/thành phố của VNPT có thể là các thiết bị truy nhập trên công nghệ GPON và xDSL hay FTTx.

Mạng truy nhập của MAN-E có thể xây dựng với topology hình cây, vòng, lưới hoặc lai ghép hỗn hợp. Mạng có khả năng hồi phục trong trường hợp có sự cố về tuyến cáp, nút chuyển mạch nhằm đảm bảo chất lượng dịch vụ.

Mạng lõi của MAN-E cho các tỉnh/thành phố của VNPT chủ yếu có cấu hình ring sử dụng công nghệ WDM nhằm đảm bảo khả năng dự phòng của mạng lõi trong trường hợp có sự cố. Tốc độ chuyển mạch tại các nút mạng lõi lên đến hàng chục Gbps và lưu lượng chuyển trên các tuyến kết nối của mạng lõi đạt có thể đạt đến hàng chục Gbps. Các nút mạng lõi được đặt tại các điểm trung tâm lưu lượng, thường ở các địa điểm tập trung dân cư và khu công nghiệp.



Hình 3.16. Mô hình mạng MAN-E cho một tỉnh/thành phố của VNPT

3.6.Kết luận chương III

Chương III đã tìm hiểu tổng quan cấu trúc của mạng MAN-E tại VNPT Hải Dương, thiết bị triển khai, sơ đồ các vòng Ring trong mạng.

Chương 3 luận văn đã nghiên cứu về khả năng ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM quang cho VNPT Hải Dương. Trong đó, luận văn đã tìm hiểu nhu cầu phát triển các dịch vụ của VNPT Hải Dương, tình hình triển khai các dịch vụ ở VNPT Hải Dương, hiện trạng mạng truyền tải quang của VNPT Hải Dương, đánh giá nhu cầu sử dụng dịch vụ của khách hàng trên địa bàn Hải Dương.

Đồng thời, luận văn nghiên cứu khả năng ứng dụng công nghệ CO- OFDM-WDM quang cho mạng truyền tải quang của VNPT Hải Dương với 3 phương án cho 3 lớp mạng truyền tải của VNPT Hải Dương.

Việc sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền tải của VNPT Hải Dương không chỉ làm tăng dung của hệ thống mạng truyền tải mà còn làm tăng chất lượng truyền dẫn của hệ thống mạng truyền tải của VNPT Hải Dương.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] William Shieh, Ivan Djordjevic:	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Optical Communications</i> , Elsevier Science & Technology Books, USA.2009
[2] Arthur James Lowery and Jean Armstrong	Orthogonal-frequency-division multiplexing for dispersion compensation of long-haul optical systems” Department of Electrical & Computer Systems Engineering, Monash University, Clayton, 3800, Australia, 2006.
[3] Markus Mayrock, Herbert Haunstein	OFDM in Optical Long-Haul Transmission, 2007
[4] Đỗ Việt Em	Kỹ thuật thông tin quang 2, Học viện CN BC VT, 2007
[5] Prasad R.	OFDM for wireless communications systems. Boston: Artech House; 2004.
[6] Dixon BJ, Pollard RD, Iezekiel S.	Orthogonal frequency-division multiplexing in wireless communication systems with multimode fiber feeds. IEEE Trans Microwave Theory Tech 2001;49(8):1404–9.
[7] Shieh W.	Coherent optical MIMO-OFDM for optical fibre communication systems. Berlin, Germany. In: Eur. Conf. Opt. Commun., Berlin, Germany; 2007
[8] Ma Y, Shieh W, Yang Q	10 Gb/s Coherent Optical OFDM Reception Using Orthogonal Band Multiflexing, Opt. Fiber Commun. Conf 16, pp. 6378-86. 2008.
[9] Hoàng Văn Võ	Bài giảng ” Thông tin quang”, Viện Đại học Mở Hà Nội

[10] Fasshauer, H. :	Optische Nachrichtensysteme: Eigenschaften und Projektierung. Dr Alfred Verlag Heidelberg, 1984.
----------------------	--