

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Nguyễn Xuân Đức

**NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ THÔNG TIN QUANG
CO-OFDM-WDM VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CHO VNPT**

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

HÀ NỘI - 2020

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Nguyễn Xuân Đức

**NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ THÔNG TIN QUANG
CO-OFDM-WDM VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CHO VNPT**

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. HOÀNG VĂN VÕ

HÀ NỘI – 2020

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

Nguyễn Xuân Đức

LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên xin 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.

Xin trân trọng cảm ơn TS. Hoàng Văn Võ, 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.

Cuối cùng là sự biết ơn tới gia đình, bạn bè và người thân đã luôn động viên, giúp đỡ tác giả trong suốt quá trình học tập và thực hiện luận văn.

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
DANH MỤC HÌNH ẢNH	v
LỜI MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1: CÔNG NGHỆ OFDM QUANG	2
1.1. CÔNG NGHỆ OFDM.....	2
1.1.1. Khái niệm và lịch sử phát triển OFDM.....	2
1.1.2. Nguyên lý OFDM	4
1.1.3. Tính trực giao trong OFDM.....	5
1.1.4. Mô tả toán học tín hiệu OFDM	7
1.1.5. Mô hình hệ thống OFDM.....	9
1.1.6. Thực hiện biến đổi Fourier rời rạc đối với OFDM	10
1.1.7. Tiền tố lặp đối với OFDM.....	11
1.1.8. Dung lượng hệ thống OFDM	13
1.2. CÔNG NGHỆ OFDM QUANG	14
1.2.1. Sơ đồ hệ thống truyền dẫn OFDM quang.....	14
1.2.2. Các khối chức năng của hệ thống truyền dẫn OFDM quang	14
1.3. PHÂN LOẠI OFDM QUANG.....	21
1.1. KẾT LUẬN CHƯƠNG 1.	22
CHƯƠNG 2. CÔNG NGHỆ COHERENT- OFDM QUANG	23
2.1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ COHERENT OFDM QUANG	23
2.2. CÔNG NGHỆ THÔNG TIN QUANG COHERENT.....	24
2.2.1. Tổng quan về công nghệ thông tin quang Coherent	24
2.2.2. Các khái niệm cơ bản trong công nghệ Coherent	25
2.2.3. Mô hình cấu trúc cơ bản của hệ thống thông tin quang Coherent	30
2.2.4. Các thành phần cơ bản của hệ thống thông tin quang Coherent.....	32
2.2.5. Những ưu điểm của hệ thống thông tin quang coherent	36
2.3. CÔNG NGHỆ COHERENT OFDM QUANG	37

2.3.1. Mô hình hệ thống Coherent OFDM quang	37
2.3.2. Các khối chức năng cơ bản và nguyên lý trong hệ thống CO-OFDM quang	38
2.3.3. Độ nhạy máy thu của hệ thống CO-OFDM	42
2.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2	43
CHƯƠNG 3. CÔNG NGHỆ COHERENT- OFDM-WDM QUANG VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CHO VNPT	44
3.1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ CO-OFDM-WDM COHERENT DUNG LƯỢNG LỚN.....	44
3.2. NGUYÊN LÝ GHÉP BĂNG TRỰC GIAO CỦA HỆ THỐNG OBM-OFDM.....	45
3.3. NGUYÊN LÝ OBM-OFDM	46
3.4. PHỔ QUANG CỦA OBM-OFDM.....	48
3.5. GIẢI PHÁP THỰC THI GHÉP BĂNG TRỰC GIAO CỦA HỆ THỐNG OBM-OFDM.....	49
3.5.1. Thực hiện OFDM trong miền điện.....	50
3.5.2 Thực hiện OBM-OFDM trong miền quang	51
3.6. HỆ THỐNG OB-OFDM 100Gb/s (HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM)	52
3.6.1. Mô hình hệ thống OBM-OFDM 100Gb/s.....	52
3.6.2. Các thành phần chức năng của hệ thống OB-OFDM 100Gb/s.....	53
3.6.3. Đánh giá hiệu quả sử dụng phổ trong hệ thống truyền dẫn CO-OFDM 100Gb/s.	55
3.7. KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ CO-OFDM-WDM CHO VNPT	56
3.7.1. Nhu cầu phát triển các dịch vụ của VNPT	56
3.7.2. TÌNH HÌNH TRIỂN KHAI CÁC DỊCH VỤ Ở VNPT	59
3.7.3. Hiện trạng mạng truyền tải của VNPT.....	61
3.7.4. Khả năng ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền tải của VNPT	70
Kết luận	77
KẾT LUẬN	78

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. Thí dụ về bốn sóng mang con cho một ký hiệu OFDM	7
Hình 1.2. Tiết kiệm phổ tần của OFDM so với FDM: (a) FDM, (b) OFDM.....	5
Hình 1.3. Phổ của các sóng mang trực giao	7
Hình 1.4. Sơ đồ chung cho một hệ thống điều chế đa sóng mang	8
Hình 1.5. Sơ đồ (a) OFDM quang phía phát (b) OFDM phía thu	9
Hình 1.6. Tín hiệu OFDM: (a) không có tiền tố lặp ở phía phát; (b) không có tiền tố lặp ở phía thu; (c) có tiền tố lặp ở phía phát; d) có tiền tố lặp ở phía thu	12
Hình 1.7. Tín hiệu OFDM trong miền thời gian cho một ký tự OFDM	13
Hình 1.8. Kiến trúc hệ thống OFDM quang	15
Hình 1.9. Sơ đồ khối kỹ thuật DCO – OFDM	17
Hình 1.10. Sơ đồ khối hệ thống sử dụng kỹ thuật ACO OFDM.....	19
Hình 1.11. Sơ đồ khối hệ thống sử dụng kỹ thuật điều chế IQ	20
Hình 2.1. Các dạng điều chế ASK, PSK và FSK	28
Hình 2.2. Sơ đồ hệ thống thông tin quang coherent	30
Hình 2.3. Dạng sóng của các dạng điều chế và chuỗi bit nhị phân là 10110	31
Hình 2.4. Mô hình điều chế quang kết hợp sử dụng MZM	32
Hình 2.5. Cấu hình cơ bản bộ thu quang heterodyne.....	33
Hình 2.6. Cấu hình bộ thu quang homodyne ...	Error! Bookmark not defined.
Hình 2.7. So sánh phổ của tín hiệu PSK ở ngõ ra của bộ tách sóng quang homodyne và heterodyne.....	35
Hình 2.8. Mô hình bộ thu quang kết hợp.....	35
Hình 2.9. Sự phụ thuộc độ nhạy vào tốc độ bit truyền.....	36
Hình 2.10. Khoảng cách trạm lặp phụ thuộc vào tốc độ truyền	37
Hình 2.11. Mô hình hệ thống CO-OFDM quang điển hình	Error! Bookmark not defined.

Hình 3.2. Tách sóng coherent sử dụng bộ ghép lai và tách sóng photo cân bằng.	41
Hình 3.1. Sơ đồ phân bố phổ của OBM-OFDM.....	Error! Bookmark not defined.
Hình 3.2. Minh họa tách sóng một băng và hai băng trong OBM-OFDM.....	47
Hình 3.3. 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	49
Hình 3.4. 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.	Error! Bookmark not defined.
Hình 3.5. Hệ thống truyền dẫn OBM- OFDM 100 gb	54
Hình 3.6. Phổ điện trực tiếp tại đầu ra của AWG	Error! Bookmark not defined.
Hình 3.7. Điện phổ sau khi qua bộ lọc 3 Ghz	54
Hình 3.8. Quang phổ của tín hiệu 100 gb/s sử dụng bộ thu coherent phân cực.	55
Hình 3.9. Phổ rf ở bộ thu sau 3.8 Ghz lọc anti-alias.	55
Hình 3.10. Mô hình mạng truyền tải đường trục của VNPT	63
Hình 3.11. Cấu trúc mạng của tuyến trục backbone 120g của VNPT.....	64
Hình 3.12. Sơ đồ tuyến trục tuyến trục backbone bắc-nam 240gbps.....	65
Hình 3.13. Mô hình mạng man-e cho một tỉnh/thành phố của VNPT	69
Hình 3.14. Mô hình OFDM-PON.	74
Hình 3.15. Mô hình CO-OFDM-WDM	76

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	Phép 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 và tương tác. Để đáp ứng được yêu cầu đó, mạng truyền thông cần phải có khả năng truyền tải tốc độ, dung lượng lớn.

Để đáp ứng nhu cầu đó, các nhà khoa học, công nghệ, các tổ chức viễn thông quốc tế, các hãng cung cấp thiết bị, các nhà khai thác,... luôn luôn tìm mọi giải pháp công nghệ mới để phát triển các hệ thống viễn thông. Chính vì thế, trong thập niên gần đây các giải pháp công nghệ viễn thông đã có những thay đổi và phát triển rất nhanh.

Một giải pháp công nghệ viễn thông có khả năng truyền tải tốc độ siêu cao và chất lượng lớn có khả năng đáp ứng được nhu cầu trao đổi thông tin của xã hội hiện tại, đó là công nghệ thông tin quang Coherent ghép kênh theo tần số trực giao kết hợp với ghép băng trực giao (CO-OFDM-WDM). Đó là giải pháp công nghệ truyền tải thông tin của xã hội hiện tại và trong tương lai.

Chính vì vậy, 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. Tuy nhiên, trên thế giới hiện nay chưa có sản phẩm thương mại. Tất cả chỉ mới dừng lại ở mức lý thuyết, thử nghiệm trong các phòng thí nghiệm.

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 khả năng ứng dụng cho VNPT”** để nắm bắt công nghệ và nghiên cứu áp dụng trong tương lai cho VNPT

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

Chương 1: Tổng quan về kỹ thuật OFDM quang

Chương 2: Hệ thống OFDM Coherent (CO-OFDM)

Chương 3: Công nghệ CO-OFDM-WDM quang và khả năng ứng dụng cho mạng VNP

CHƯƠNG 1: CÔNG NGHỆ OFDM QUANG

Chương 1 giới thiệu về công nghệ OFDM quang với các vấn đề: công nghệ OFDM, nguyên lý của kỹ thuật OFDM quang, đặc điểm nổi bật của kỹ thuật OFDM, sự khác biệt của hệ thống OFDM quang và hệ thống OFDM vô tuyến, phân loại hệ thống OFDM quang: CO-OFDM, DDO-OFDM.

1.1. Công nghệ OFDM

OFDM là một kỹ thuật điều chế đa sóng mang tiên tiến, trong đó một băng tần lớn được chia thành các băng tần nhỏ hơn, và số liệu sẽ được truyền song song trên mỗi băng tần con riêng rẽ.

Mặc dù, kỹ thuật OFDM được ứng dụng trong rất nhiều các tiêu chuẩn, các hệ thống truyền dẫn vô tuyến, song trong các hệ thống truyền dẫn quang nói chung, OFDM vẫn mới chỉ được xem như là một hướng phát triển rất khá hứa hẹn, và đang được nghiên cứu mạnh mẽ. So với các môi trường truyền dẫn khác, truyền dẫn quang có nhiều đặc tính ưu việt như suy hao truyền dẫn thấp, miễn nhiễm với ảnh hưởng do nhiễu tần số vô tuyến, băng thông lớn ... Do đó, hạ tầng truyền dẫn tốc độ cao phần lớn đều được xây dựng dựa trên các hệ thống truyền dẫn quang.

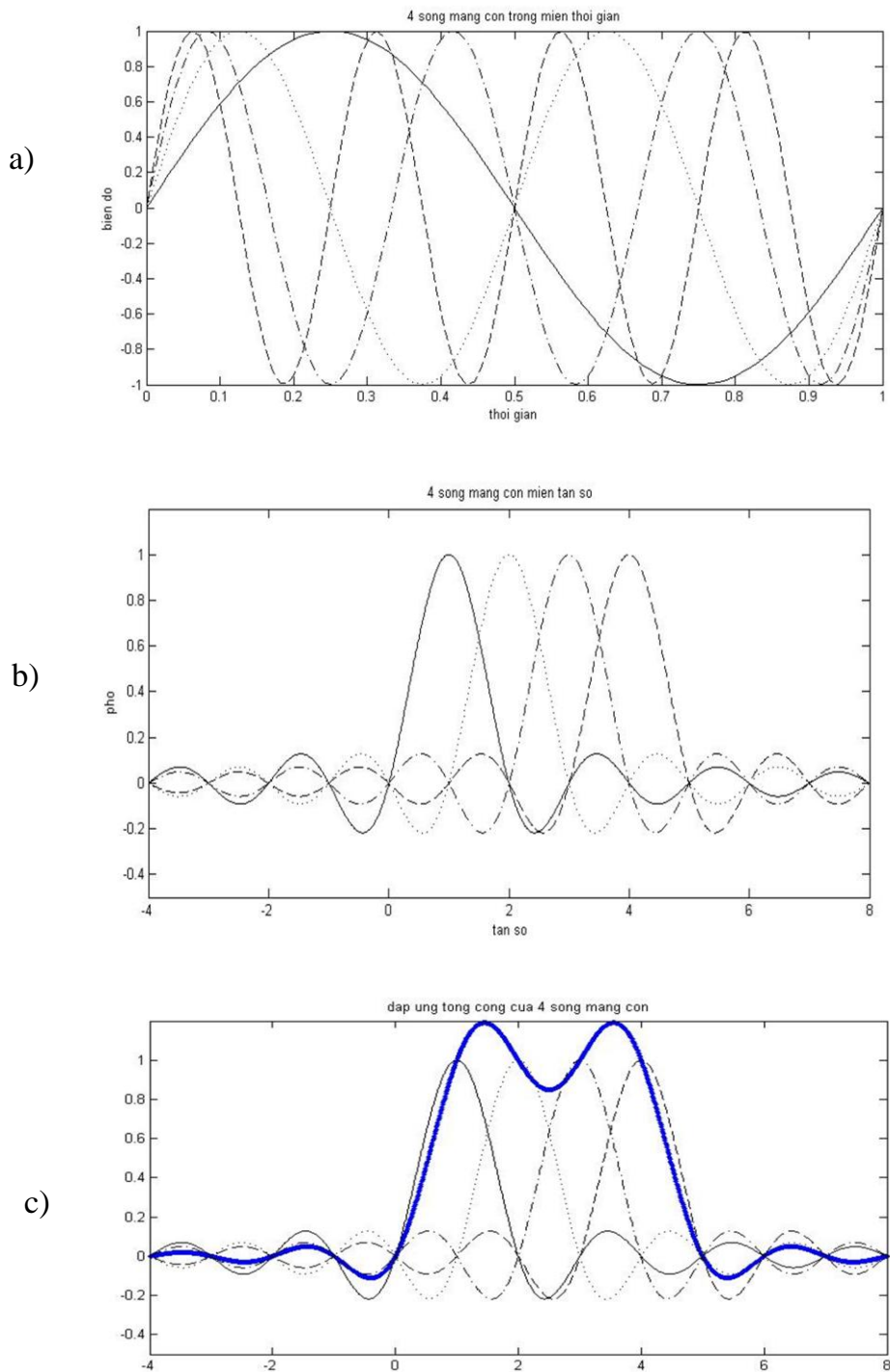
1.1.1. Khái niệm và lịch sử phát triển OFDM

1.1.1.1. Khái niệm OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: ghép kênh phân chia theo tần số trực giao) là phương pháp điều chế đa sóng mang (MCM). OFDM phân toàn bộ băng tần vào một số sóng mang con để có thể truyền đồng thời các sóng mang con này. Số sóng mang con càng lớn thì độ dài ký hiệu càng lớn.

Các sóng mang con này trực giao với các sóng mang khác có nghĩa là có một số nguyên lần lặp trên một chu kỳ ký tự. Vì vậy, phổ của mỗi sóng mang bằng “không” tại tần số trung tâm của tần số sóng mang khác trong hệ thống. Kết quả là không có nhiễu giữa các sóng mang phụ.

Một ví dụ về 4 sóng mang con cho một ký hiệu OFDM được minh họa ở hình 1.1. Trong đó, hình 1.1a là 4 sóng mang con trong miền thời gian, hình 1.1b là 4 sóng mang con trong miền tần số và hình 1.1c là đáp ứng tổng cộng của 4 sóng mang con.



Hình 1.1. Thí dụ về bốn sóng mang con cho một ký hiệu OFDM

1.1.1.2. Lịch sử phát triển OFDM

Thuật ngữ “OFDM” trên thực tế được xuất hiện trong một sáng chế riêng của ông vào năm 1970. Các lĩnh vực của OFDM đã có từ lâu và được phát triển, có tầm quan trọng nhất định trong các ứng dụng quân sự. Sự ra đời của ứng dụng kỹ thuật số băng

rộng và sự hoàn thiện của chip CMOS có độ tích hợp cao năm 1990 đã mang OFDM vào tâm điểm chú ý. Khái niệm OFDM được giới thiệu lần đầu tiên bởi Chang trong một hội thảo năm 1996 [1].

Năm 1995, OFDM được chọn như là một chuẩn DAB của châu Âu, đảm bảo ý nghĩa của nó như một công nghệ điều chế quan trọng và báo hiệu một kỉ nguyên mới của sự thành công trong một loạt các ứng dụng. Một trong số những tiêu chuẩn quan trọng sử dụng kết hợp công nghệ OFDM là DVB, mạng cục bộ không dây (Wi-Fi; IEEE 802.11a/g), mạng đô thị không dây (WiMAX 802.162), đường dây thuê bao bất đối xứng (ADSL; ITU G.992.1), và công nghệ thông di động thế hệ thứ tư (4G).

Ứng dụng của OFDM trong truyền thông quang xảy ra muộn hơn và tương đối ít so với bản sao RF. Mặc dù cùng là một từ viết tắt OFDM có từ lâu được sử dụng để đại diện cho “ghép kênh phân chia tần số trực giao quang học” trong truyền thông quang chung. Bài báo đầu tiên về OFDM quang trong các tài liệu mở được báo cáo bởi Pan và Green năm 1996, và cũng liên tục có một số nghiên cứu về OFDM trong những năm tiếp theo.

Tuy nhiên, lợi thế cơ bản của OFDM, cụ thể là độ chắc chắn của nó đối với sự phân tán của kênh quang học không được công nhận trong truyền thông quang cho đến năm 2001. Khi Dixon et al đề xuất sử dụng OFDM để chống lại phương thức phân tán trong sợi quang (MMF). Với thực tế là các kênh sợi MMF tương tự như kênh không dây trong điều kiện pha đình đa đường, không ngạc nhiên rằng các tiêu chuẩn làm việc ban đầu trên OFDM quang tập trung vào ứng dụng sợi MMF.

Sự quan tâm về OFDM ngày một được tăng lên phần lớn là do đề xuất độc lập của OFDM quang cho các ứng dụng đường dài từ ba nhóm, bao gồm phát hiện trực tiếp OFDM quang (DDO-OFDM) và coherent OFDM (CO-OFDM).

Cho đến nay, truyền dẫn CO-OFDM theo chuẩn sợi đơn mode (SSMF) là 100 Gb/s qua 1000km với hiệu suất phổ tần 2 bit/s/Hz đã được chứng minh trong các nhóm khác nhau. Một trong những thế mạnh của OFDM quang là nó có thể được điều chỉnh cho các ứng dụng khác nhau.

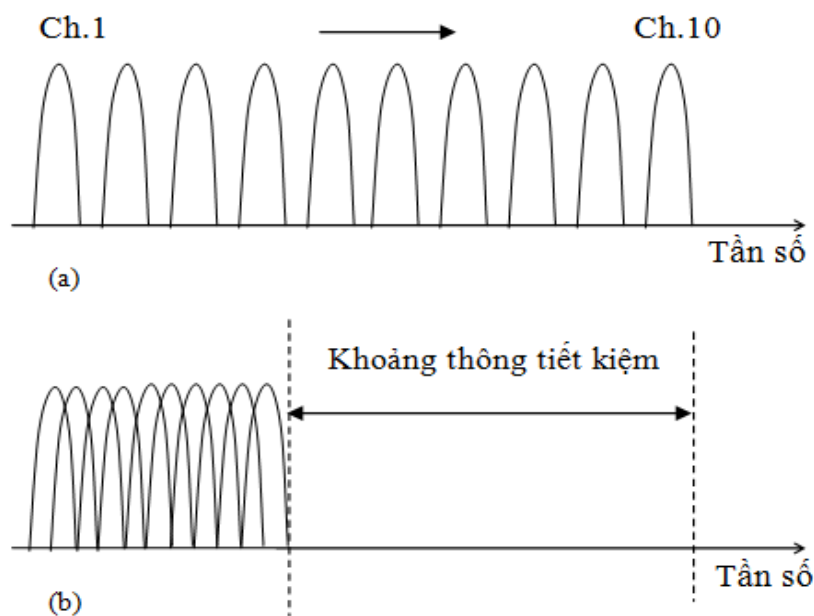
1.1.2. Nguyên lý OFDM

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

số 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.

Khoảng thời symbol tăng lên cho các sóng mang con song song, vì các sóng mang con này truyền symbol với tốc độ thấp hơn, nên giảm được tác động do dẫn xung gây ra. Nhiễu xuyên ký tự ISI được hạn chế hầu như hoàn toàn do việc đưa vào một khoảng thời bảo vệ trong mỗi symbol OFDM. Trong khoảng thời bảo vệ, symbol OFDM được mở rộng theo chu kỳ (cyclicall extended) để tránh xuyên nhiễu giữa các sóng mang ISI.

Hình 1.2 minh họa sự khác nhau giữa kỹ thuật điều chế FDM và kỹ thuật OFDM. Bằng cách sử dụng kỹ thuật OFDM, ta có thể tiết kiệm được khoảng 50% băng thông. Tuy nhiên, trong kỹ thuật OFDM, chúng ta cần triệt để giảm xuyên nhiễu giữa các sóng mang, nghĩa là các sóng này cần phải trực giao với nhau.



Hình 1.2. Tiết kiệm phổ tần của OFDM so với FDM: (a) FDM, (b) OFDM

1.1.3. 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.

Trong OFDM, các sóng mang con chồng lẫn nhau nhưng tín hiệu vẫn có thể được khôi phục mà không có xuyên nhiễu giữa các sóng mang kế cận bởi vì giữa các sóng mang con có tính trực giao. Một tập các tín hiệu được gọi là trực giao từng đôi một khi hai tín hiệu bất kỳ trong tập đó thỏa điều kiện.

$$\int_{T_s} S_i(t) \cdot S_j^*(t) dt = \begin{cases} K & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (1.1)$$

với $S^*(t)$ là ký hiệu của liên hợp phức $S(t)$. T_s là chu kỳ ký hiệu. K là hằng số. Tập N sóng mang phụ trong kỹ thuật OFDM có biểu thức:

$$f_k(t) = \begin{cases} \sin(2\pi \frac{k}{T_s} t) & 0 < t < T_s \\ 0 & t \notin (0, T_s) \end{cases} \quad (1.2)$$

với $k = 0, 1, \dots, N-1$

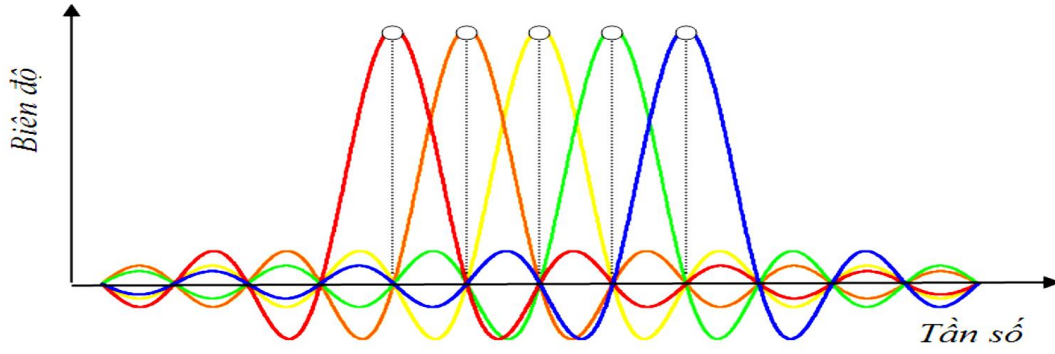
Các sóng mang này có tần số cách đều nhau một khoảng $F_s = 1/T_s$ và trực giao từng đôi một do thỏa điều kiện (1.1).

Ví dụ, ta xét hai sóng mang $\sin\left(2\pi \frac{k_1}{T_s} t\right)$ và $\sin\left(2\pi \frac{k_2}{T_s} t\right)$ trong tập (1.2).

Ta thực hiện tích phân sau:

$$\int_0^{T_s} \sin\left(2\pi \frac{k_1}{T_s} t\right) \cdot \sin\left(2\pi \frac{k_2}{T_s} t\right) dt = \frac{1}{2} \int_0^{T_s} \left[\cos 2\pi(k_1 - k_2) \frac{t}{T_s} - \cos 2\pi(k_1 + k_2) \frac{t}{T_s} \right] dt = 0 \quad (1.3)$$

Như vậy, các sóng mang thuộc tập (1.2) là trực giao từng đôi một hay còn gọi là độc lập tuyến tính. Trong miền tần số, phổ của mỗi sóng mang phụ có dạng hàm sincx do mỗi ký hiệu trong miền thời gian được giới hạn bằng một xung chữ nhật. Mỗi sóng mang phụ có một đỉnh ở tần số trung tâm và các vị trí null tại các điểm cách tần số trung tâm một khoảng bằng bội số của F_s . Vì vậy, vị trí đỉnh của sóng mang này sẽ là vị trí null của các sóng mang còn lại (hình 1.3). Và do đó các sóng mang không gây nhiễu cho nhau.



Hình 1.3. Phổ của các sóng mang trực giao

1.1.4. Mô tả toán học tín hiệu OFDM

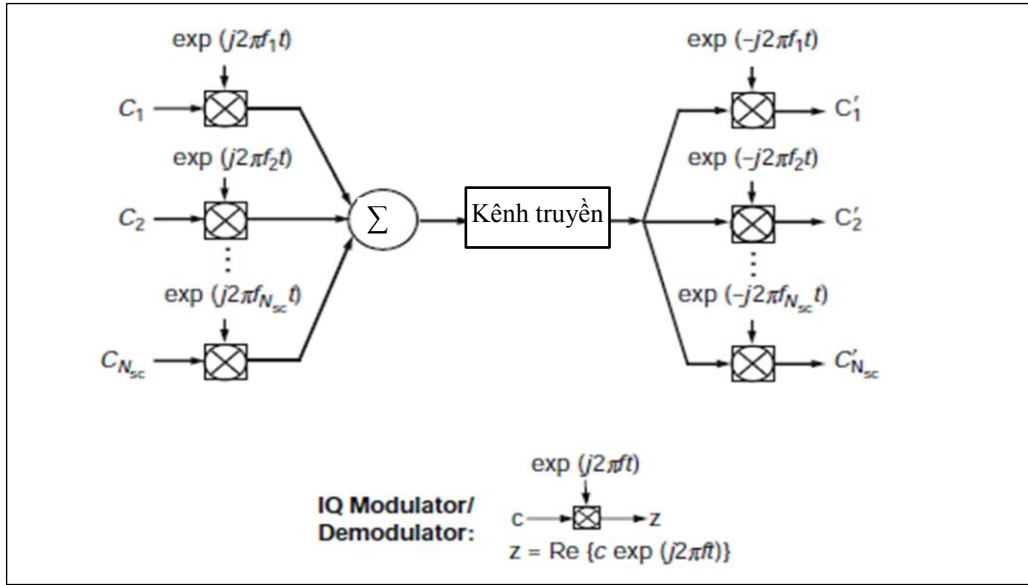
OFDM là một loại đặc biệt của điều chế đa sóng mang (MCM), việc thực hiện chung của nó được mô tả trong hình 1.2. Cấu trúc của một bộ nhân phức tạp (điều chế IQ/ giải điều chế IQ), nó thường được sử dụng trong hệ thống MCM, cũng được thể hiện trong hình. Tín hiệu truyền MCM $s(t)$ được biểu diễn [1]:

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=1}^{N_{sc}} c_{ki} s_k(t - iT_s) \quad (1.4)$$

$$s_k(t) = \Pi(t) e^{j2\pi f_k t} \quad (1.5)$$

$$\Pi(t) = \begin{cases} 1, (0 < t \leq T_s) \\ 0, (t \leq 0, t > T_s) \end{cases} \quad (1.6)$$

Trong đó c_{ki} là kí hiệu mang thông tin thứ i tại sóng mang con thứ k , s_k là dạng sóng cho k sóng mang con, N_{sc} là số sóng mang con, f_k là tần số sóng mang con, T_s là thời gian một kí hiệu OFDM, và $\Pi(t)$ là hàm xung đơn vị. Các bộ dò quang tối ưu cho mỗi sóng mang con sử dụng một bộ lọc phù hợp với dạng sóng hay tương quan phù hợp với sóng mang con như trong hình 1.4.



Hình 1.4. Sơ đồ chung cho một hệ thống điều chế đa sóng mang

Do đó, việc xác định kí hiệu mạng thông tin c'_{ik} tại đầu ra được tính theo công thức:

$$c'_{ki} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} r(t - iT_s) s_k^* dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} r(t - iT_s) e^{-j2\pi f_k t} dt \quad (1.7)$$

Trong đó, $r(t)$ là thời gian tín hiệu trong miền thu. MCM cổ điển sử dụng những tín hiệu có dải tần hạn chế không chồng chéo và có thể được lắp đặt với một số lượng lớn khối dao động và bộ lọc cả đầu phát và đầu thu. Bất lợi lớn của MCM là nó yêu cầu băng thông lớn. Đó là bởi vì để thiết kế các bộ lọc và bộ dao động một cách hiệu quả, khoảng cách kênh phải bằng một bội số của tốc độ kí hiệu để giảm hiệu quả phổ một cách tốt nhất.

Một phương pháp mới đã được nghiên cứu bằng việc sử dụng những bộ tín hiệu trực giao chồng lẫn nhau. Tính trực giao này bắt nguồn từ một mối tương quan đơn giản giữa bất kì hai sóng mang con nào.

$$\delta_{kl} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} s_k s_l^* dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} \exp(j2\pi(f_k - f_l)t) dt = \exp(j\pi(f_k - f_l)T_s) \quad (1.8)$$

Có thể thấy rằng nếu điều kiện

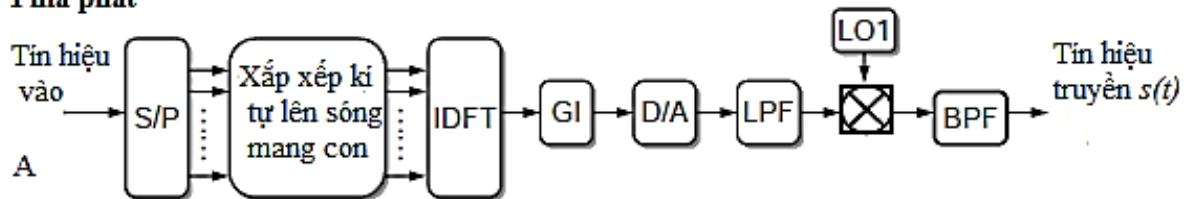
$$f_k - f_l = m \frac{1}{T_s} \quad (1.9)$$

được thỏa mãn thì hai sóng mang con sẽ trực giao với nhau. Điều này có nghĩa rằng những bộ sóng mang con này trực giao với nhau, với khoảng cách tần số là bội của thời gian ký hiệu, có thể sử dụng các bộ lọc thích hợp để loại bỏ nhiễu giữa các sóng mang (ICI), mặc dù sự chồng lấn phổ của tín hiệu rất lớn.

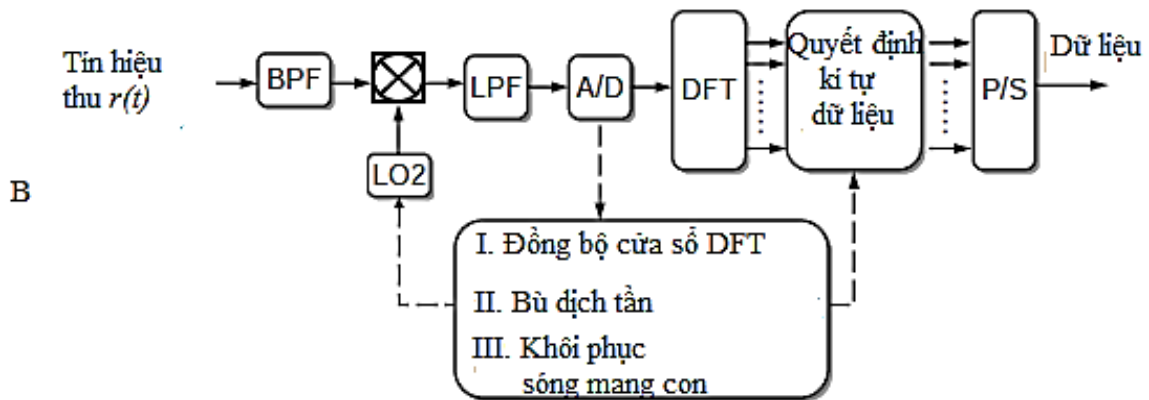
1.1.5. Mô hình hệ thống OFDM

Mô hình hệ thống OFDM được chỉ ra ở hình 1.5 [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 ký hiệu thông tin tương ứng cho mỗi sóng mang con với một ký 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 ký 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 lý để phục hồi dữ liệu.

Phía phát



Phía thu



Hình 1.5. Sơ đồ (a) OFDM quang phía phát (b) OFDM phía thu

Từ công thức (1.10), ta thấy tín hiệu OFDM s_m là một hàm tuần hoàn với chu kỳ N/T_s . Cụ thể là trong các công thức (1.10) và (1.11), tần số sóng mang con f_k và chỉ số k có thể được tổng quát là:

$$f_k = \frac{k-1}{T_s}, k \in [k_{\min} + 1, k_{\min} + N] \quad (1.10)$$

Khi k_{\min} là một số nguyên tùy ý. Tuy nhiên, chỉ có hai chỉ số sóng mang con được sử dụng rộng rãi: $k \in [1, N]$ và $k \in [-N/2 + 1, N/2]$.

1.1.6. Thực hiện biến đổi Fourier rời rạc đối với OFDM

Một thách thức chính đối với OFDM đó là cần một số lượng lớn các sóng mang con vì vậy kênh truyền dẫn xem mỗi sóng mang con như một kênh riêng. Điều này dẫn đến một cấu trúc vô cùng phức tạp với nhiều bộ dao động và bộ lọc ở cả phía phát và phía thu. Weinstein và Ebert đầu tiên khám phá ra điều chế và giải điều chế OFDM có thể được thực hiện bằng việc biến đổi Fourier nhanh đảo (IDFT) và biến đổi Fourier nhanh thuận (DFT). Điều này là hiển nhiên qua việc nghiên cứu điều chế OFDM công thức (1.4) và giải điều chế OFDM công thức (1.5). Tạm bỏ qua chỉ số i và coi N_{sc} là N trong công thức (1.4) để tập trung chủ yếu vào một kí tự OFDM và chúng ta lấy mẫu $s(t)$ tại các khoảng thời gian T_s/N . Như vậy công thức (1.4) trở thành:

$$s_m = \sum_{k=1}^N c_k \cdot e^{j2\pi f_k \cdot \frac{(m-1)T_s}{N}} \quad (1.11)$$

Sử dụng điều kiện trực giao của công thức (1.9) và quy ước rằng: $f_k = \frac{k-1}{T_s}$

Khi đó, công thức (1.11) trở thành:

$$s_m = \sum_{k=1}^N c_k \cdot e^{j2\pi f_k \cdot \frac{(m-1)T_s}{N}} = \sum_{k=1}^N c_k \cdot e^{j2\pi \frac{(k-1)(m-1)}{N}} = \mathfrak{F}^{-1} \{c_k\} \quad (1.12)$$

Khi \mathfrak{F} là biến đổi Fourier, và $m \in (1, N)$, tương tự, tại phía thu chúng ta có:

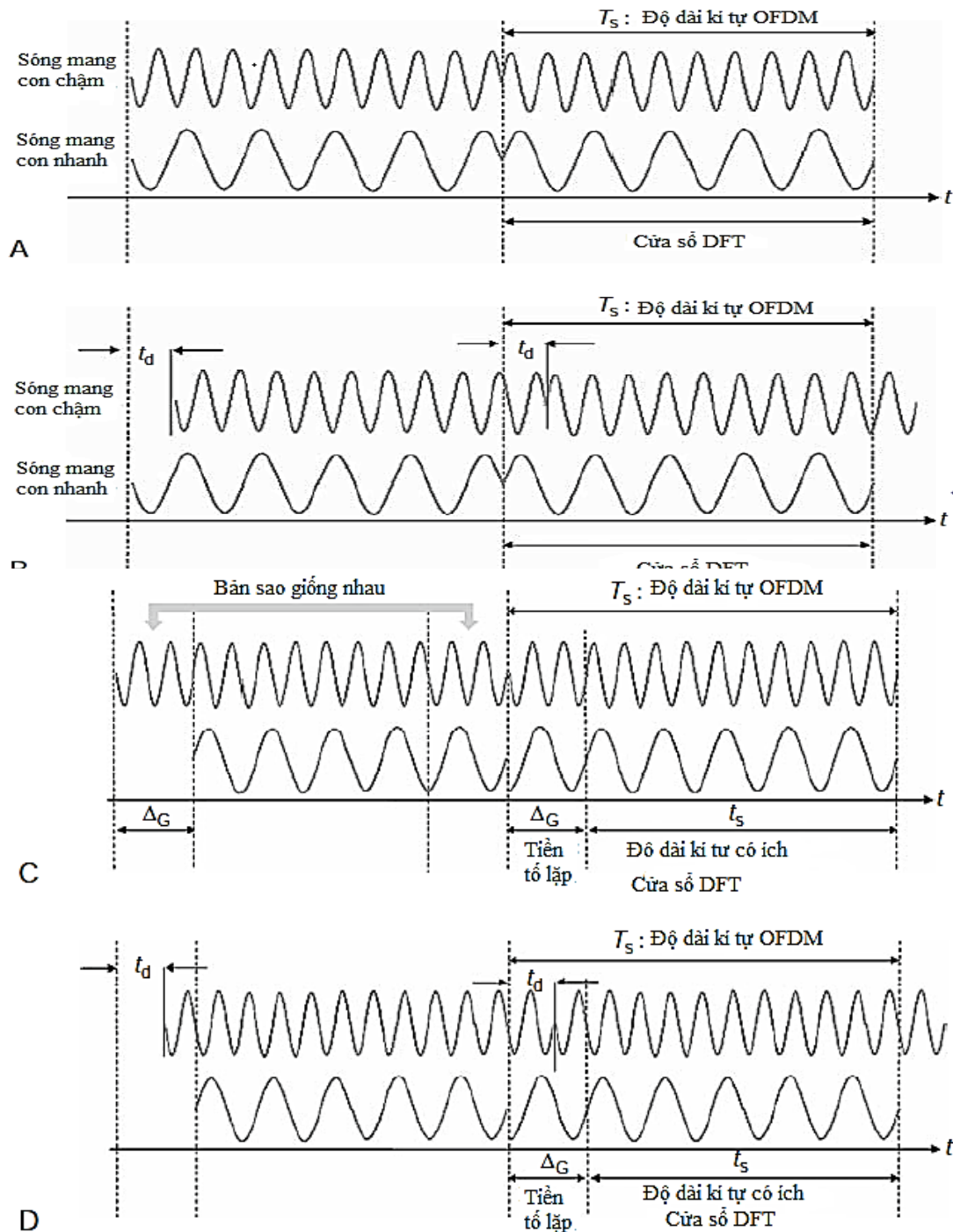
$$c'_k = \mathfrak{F} \{r_m\} \quad (1.13)$$

Khi r_m là tín hiệu được lấy mẫu tại tất cả các khoảng thời gian T_s/N . từ công thức (1.12) và công thức (1.13), các giá trị rời rạc của tín hiệu truyền OFDM $s(t)$ chỉ đơn thuần là N điểm IDFT của kí hiệu mang thông tin c_k , và kí hiệu mang thông tin nhận được c'_k là N điểm DFT của tín hiệu lấy mẫu thu được. Thực hiện DFT/IDFT cho

chuyển đổi từ số sang tương tự và từ tương tự sang số. Có hai thuận lợi chủ yếu của việc thực hiện DFT/IDFT trong OFDM. Thứ nhất là để giảm thời gian tính DFT/IDFT thì người ta giảm số lượng phép tính nhanh bằng cách sử dụng thuật toán IFFT/FFT, số phép nhân phức tạp đối với IFFT trong (1.12) và FFT trong (1.13) giảm từ N^2 còn $\{N \log_2(N)\}/2$ gần như tuyến tính với số sóng mang con N . Thứ hai, rất nhiều sóng mang con trực giao có thể được tạo ra và được giải điều chế mà không cần nhiều bộ dao động RF và bộ lọc phức tạp. Điều này dẫn đến một kiến trúc tương đối đơn giản cho thực hiện OFDM khi mà rất nhiều sóng mang con được yêu cầu. Tương ứng kiến trúc sử dụng DFT/IDFT và DAC/ADC như đã chỉ ra trong hình 1.5.

1.1.7. Tiền tố lặp đối với OFDM

Một trong những kỹ thuật cho phép đối với OFDM là chèn các tiền tố lặp. Chúng ta hãy xem xét hai ký hiệu OFDM liên tiếp trải qua một kênh phân tán với một độ trễ t_d . Để đơn giản, mỗi ký hiệu OFDM chỉ bao gồm hai sóng mang con với trễ nhanh và trễ chậm là t_d , đặc trưng bởi “sóng mang con nhanh” và “sóng mang con chậm” tương ứng. Hình 1.6a chỉ ra rằng bên trong mỗi ký tự OFDM, hai sóng mang con- sóng mang con nhanh và sóng mang con chậm được liên kết khi truyền. Hình 1.6b chỉ ra rằng các tín hiệu OFDM ở trên cùng đến phía thu, khi mà sóng mang con chậm trễ t_d so với sóng mang con nhanh. Chúng ta lựa chọn một cửa sổ DFT có chứa một ký tự OFDM hoàn chỉnh cho sóng mang con nhanh. Rõ ràng đó là do phân tán kênh, sóng mang con chậm đã vượt qua ranh giới ký hiệu dẫn đến nhiễu giữa các ký hiệu OFDM lân cận, nó được gọi là nhiễu liên ký tự (ISI). Hơn nữa, vì dạng sóng OFDM trong cửa sổ DFT đối với sóng mang chậm chưa được hoàn chỉnh, điều kiện trực giao quan trọng đối với mỗi sóng mang con phương trình (1.8) bị mất, kết quả là xảy ra nhiễu kênh lân cận.



Hình 1.6. Tín hiệu OFDM: (a) không có tiền tố lặp ở phía phát; (b) không có tiền tố lặp ở phía thu; (c) có tiền tố lặp ở phía phát; d) có tiền tố lặp ở phía thu

Hình 1.6c chỉ ra tín hiệu OFDM với tiền tố lặp ở phía phát và hình 1.6d chỉ ra tín hiệu OFDM với tiền tố lặp ở phía thu để nhận được khoảng bảo vệ. Nếu giả định các tín hiệu được đi qua các kênh phân tán giống nhau và cùng cửa sổ DFT được chọn bao gồm một ký tự OFDM hoàn chỉnh đối với sóng mang con nhanh. Có thể thấy được từ hình 1.6c và 1.6d một ký tự OFDM hoàn chỉnh đối với sóng mang con chậm cũng

được duy trì trong cửa sổ DFT bởi vì một tỷ lệ của tiền tố lặp đã được chuyển vào trong cửa sổ DFT để thay thế một phần giống hệt đã được chuyển ra.

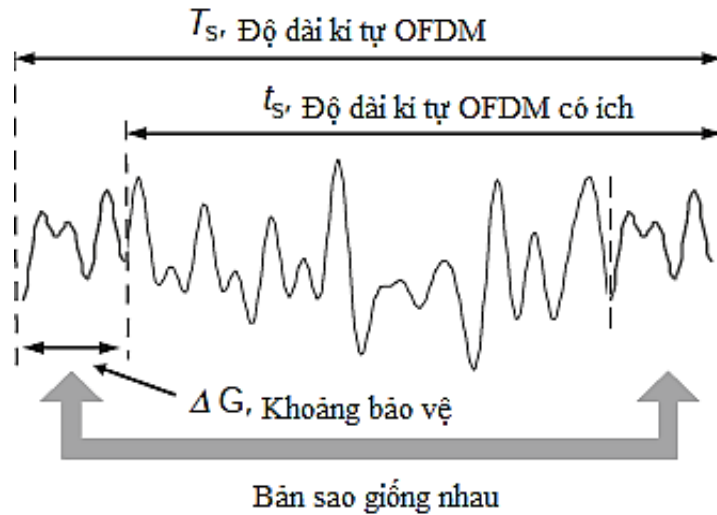
Như vậy, kí tự OFDM đối với sóng mang con chậm là một bản sao giống hệt dạng sóng truyền được thêm vào trong quá trình chuyển đổi giai đoạn. Chuyển đổi giai đoạn này được xử lý trong quá trình ước lượng kênh và sẽ được quyết định loại bỏ đối với kí tự. Do đó, điều kiện quan trọng đối với truyền OFDM để không xảy ra nhiễu ISI là:

$$t_d < \Delta_G \quad (1.15)$$

Một cách mô tả tiền tố lặp là một biểu thức giống như trong biểu thức (1.4) đối với truyền tín hiệu $s(t)$ nhưng được mở rộng dạng hàm xung (1.6) để chèn khoảng bảo vệ:

$$\Pi(t) = \begin{cases} 1, & (-\Delta_G < t \leq t_s) \\ 0, & (t \leq -\Delta_G, t > t_s) \end{cases} \quad (1.16)$$

Miền thời gian kí tự OFDM tương ứng được minh họa trong hình 1.7.



Hình 1.7. Tín hiệu OFDM trong miền thời gian cho một ký tự OFDM

Hình 1.7 chỉ ra rằng một kí tự OFDM hoàn chỉnh bao gồm thời gian quan sát và tiền tố lặp. Các dạng sóng trong thời gian quan sát sẽ được sử dụng để khôi phục kí tự thông tin trong miền tần số.

1.1.8. 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...).

Nếu gọi R_c là tỷ lệ mã, M là mức điều chế, N_{sc} là số sóng mang con, T_s là độ dài kí tự, B là độ rộng băng thông, t_s là độ dài kí tự có ích, khoảng cách giữa các sóng mang con là $\Delta f = 1/t_s$ và $\alpha = t_s/T_s$, tốc độ bit tổng được tính như sau:

$$\begin{aligned} R_{tb} &= \frac{(R_c \log_2(M)) N_{sc}}{T_s} = \frac{\left(R_c \log_2(M) \frac{B}{\Delta f} \right)}{T_s} \\ &= (R_c \log_2(M)) B \frac{t_s}{T_s} = (R_c \log_2(M)) B \alpha \end{aligned} \quad (1.17)$$

Từ công thức (1.17) cho thấy, đối với một sóng mang con hay một nhóm các sóng mang con, bốn thông số sau đây sẽ quyết định tốc độ bit: tỷ lệ mã, mức điều chế, độ rộng băng thông và α ($\alpha = t_s/T_s$).

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.

1.2. Công nghệ OFDM quang

1.2.1. Sơ đồ hệ thống truyền dẫn OFDM quang

Hình 1.8 là mô hình của một hệ thống OFDM quang [1], 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 lí 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.

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

1.2.2.1. Khối phát RF OFDM

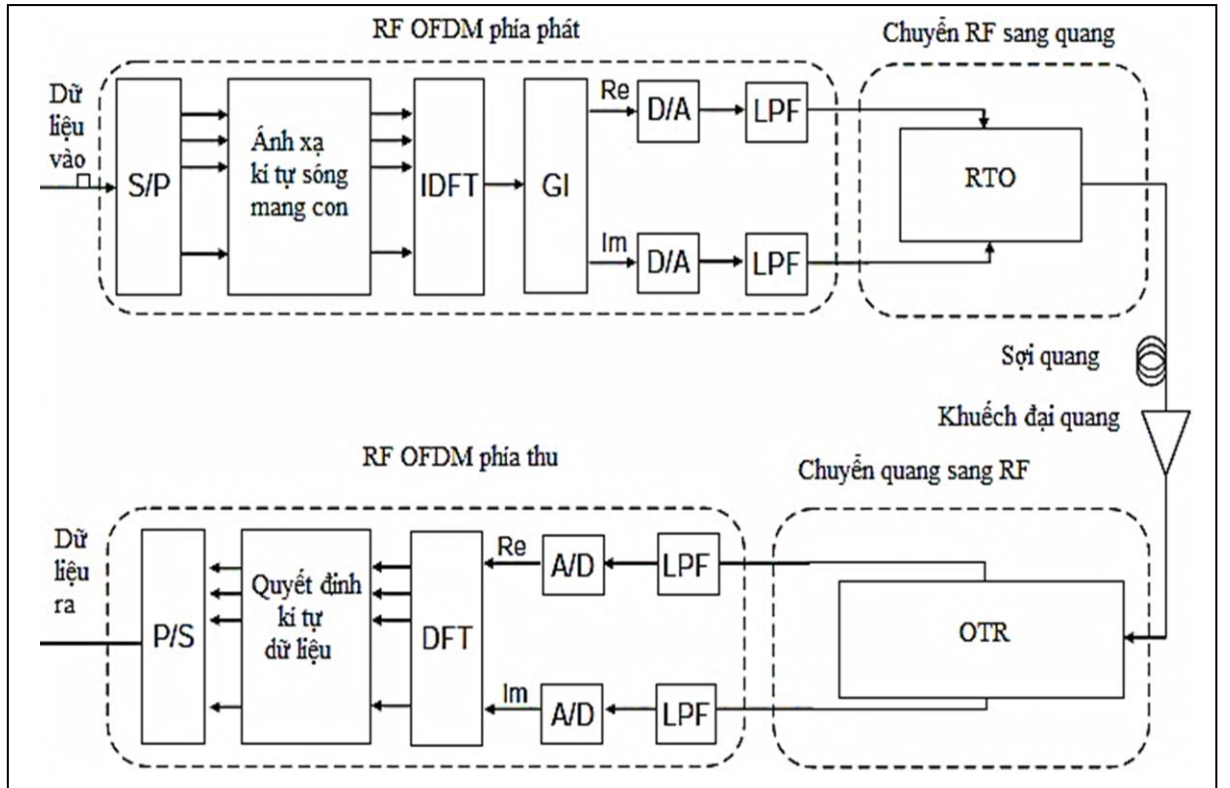
Dữ liệu đầu vào nối tiếp được đưa vào bộ S/P (chuyển đổi nối tiếp sang song song), tại đây dữ liệu sẽ được chuyển thành N_{sc} “kí tự thông tin” song song. Những kí

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 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 để tránh phân tán kênh, chống nhiễu ISI (nhiều liên ký tự) và nhiễu ISI (nhiều kênh lân cận). Khoảng bảo vệ sẽ được thêm vào dạng sóng của tín hiệu OFDM. Tín hiệu băng gốc trong miền thời gian có thể được biểu diễn [1]:

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-N_{sc}/2+1}^{k=N_{sc}/2} c_{ki} \Pi(t - iT_s) e^{j2\pi f_k(t - iT_s)} \quad (1.18)$$

$$f_k = \frac{k-1}{t_s} \quad (1.19)$$

$$\Pi(t) = \begin{cases} 1, & (-\Delta_G < t \leq t_s) \\ 0, & (t \leq -\Delta_G, t > t_s) \end{cases} \quad (1.20)$$



Hình 1.8. Kiến trúc hệ thống OFDM quang

Trong các công thức (1.18)-(1.20), c_{ki} là kí hiệu mang thông tin thứ i tại sóng mang con thứ k , f_k là tần số sóng mang con thứ k , N_{sc} là số sóng mang con, T_s là thời gian một kí hiệu OFDM, t_s là thời gian kí tự OFDM hiệu dụng, Δ_G là khoảng bảo vệ và

$\Pi(t)$ là hàm xung đơn vị. Phần mở rộng dạng sóng trong khoảng thời gian $(-\Delta_G, 0)$ trong phương trình (1.20) đại diện cho chèn tiền tố lặp hay khoảng bảo vệ. Tín hiệu sau đó sẽ được chuyển đổi từ số sang tương tự qua bộ DAC và được lọc bởi một bộ lọc thông thấp loại bỏ các tín hiệu không mong muốn.

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

Tín hiệu OFDM băng gốc có thể được chuyển đổi thành RF thông qua bộ trộn tần I/Q (không được chỉ ra trong hình). Hình 1.8 là một kiến trúc nâng tần trực tiếp, ở đó máy phát OFDM RF tạo ra tín hiệu OFDM băng gốc. Ở phía phát, bộ RTO sẽ chuyển tín hiệu băng gốc này sang miền quang sử dụng một bộ điều chế quang. Tín hiệu OFDM băng gốc được chuyển đổi trực tiếp tới miền quang sau đó đưa lên đường truyền quang.

Đường truyền quang sử dụng sợi đơn mode để truyền và trên đường truyền sử dụng các bộ khuếch đại để khuếch đại tín hiệu.

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

1.2.2.3. 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).

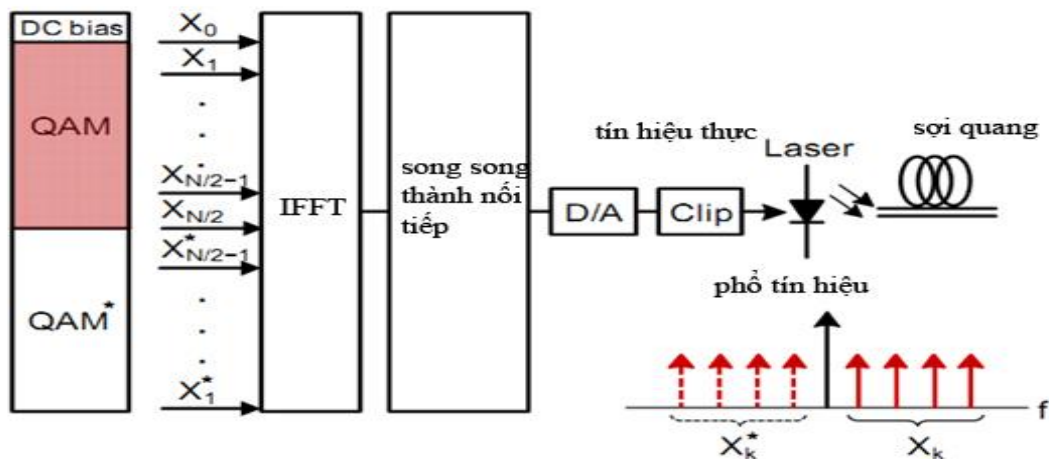
1.2.2.4. Phương pháp điều chế dùng cho O-OFDM

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 1.9A và hình 1.9B. 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 $X_{N/2}^* \div X_{N-1}^*$. Trong đó, N là số sóng mang con khả dụng.

Sơ đồ bộ phát:



1.9 A. Sơ đồ khối kỹ thuật DCO – OFDM bộ phát

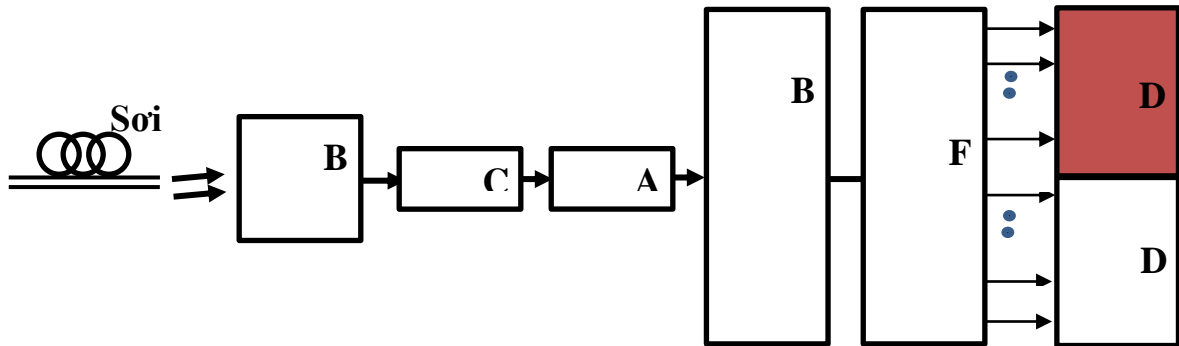
Các ký hiệu thông tin được gán vào tất cả các sóng mang con chẵn và lẻ. Tốc độ dữ liệu hệ thống sử dụng kỹ thuật DCO OFDM và ánh xạ M-QAM được sử dụng, được cho bởi công thức sau:

$$R^{\{DCO\}} = \left(\frac{N/2 - 1}{N + N_g} \right) B \log_2 M \quad \text{bit/s} \quad (1.21)$$

Trong đó B là băng thông kênh, N_g là số sóng mang con bảo vệ.

Điều đó có nghĩa là tối đa có $N/2 - 1$ sóng mang con trong số N sóng mang con được sử dụng để mang các thông tin hữu ích. Tín hiệu đầu ra bộ IFFT là tín hiệu thực và lưỡng cực. Kỹ thuật DCO OFDM sử dụng điện áp dịch DC cộng vào tín hiệu để thu được tín hiệu đơn cực cần thiết cho điều chế cường độ. Điện áp dịch DC phụ thuộc vào đặc tính của LED hay laser được sử dụng.

Sơ đồ bộ thu:



Hình 1.9 B. Sơ đồ khối kỹ thuật DCO – OFDM bộ thu

Nguyên lý bộ thu

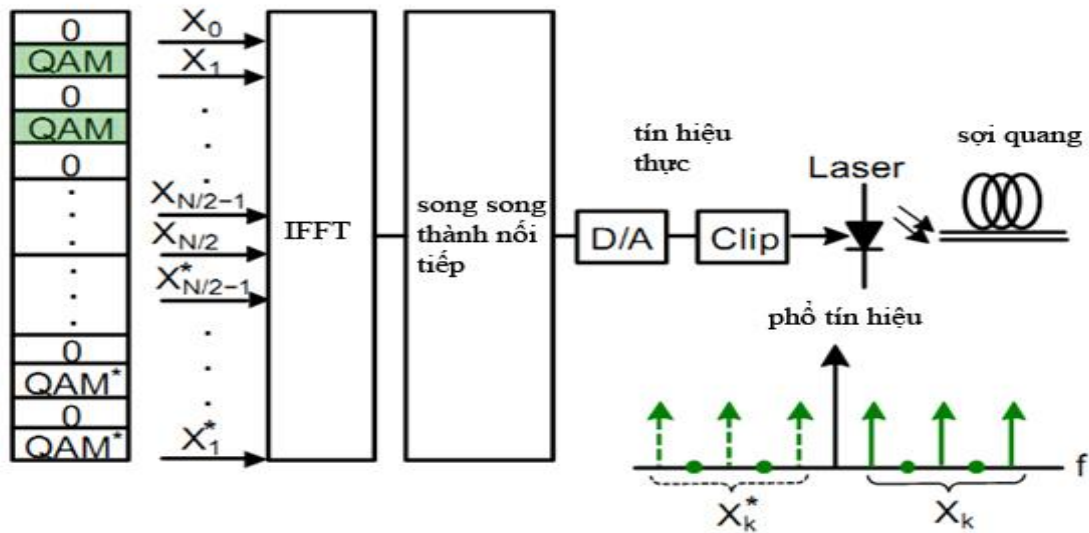
- Tín hiệu từ sợi quang (như đầu ra phía phát) được đưa đến bộ thu quang để tách sóng quang và tạo ra tín hiệu có dạng như đầu vào Laser phía phát,
- Sau đó tín hiệu đến bộ Clip để tạo ra tín hiệu lưỡng cực tạo ra tín hiệu có dạng như đầu vào bộ Clip phía phát,
- Sau đó tín hiệu đến bộ biến đổi tương tự/số A/D để tạo ra tín hiệu lưỡng cực có dạng như đầu vào bộ số/tương tự D/A phía phát,
- Sau đó tín hiệu đến bộ biến đổi nối tiếp thành song song để tạo ra tín hiệu dạng như đầu vào bộ biến đổi song song thành nối tiếp phía phát),

- Sau đó tín hiệu đến bộ biến đổi FFT để tạo ra tín hiệu dạng như đầu vào bộ biến đổi IFFT phía phát,

Sau đó tín hiệu đến bộ giải điều chế DQAM và $DQAM^*$ để tạo ra tín hiệu dạng như đầu vào bộ giải điều chế DQAM và $DQAM^*$ phía phát.

❖ Kỹ thuật ACO OFDM

Sơ đồ khối kỹ thuật ACO – OFDM được mô tả ở hình 1.10.



Hình 1.10. Sơ đồ khối hệ thống sử dụng kỹ thuật ACO OFDM.

Trong hệ thống sử dụng kỹ thuật ACO OFDM, chỉ các sóng mang lẻ được gán các thông tin hữu ích: $X_0 \div X_{N/2-1}$ và $X_1^* \div X_{N/2}^*$

Và do đó, tốc độ dữ liệu của hệ thống sử dụng kỹ thuật ACO OFDM với ánh xạ M-QAM được sử dụng, được cho bởi công thức sau:

$$R_{\{ACO\}} = \left(\frac{N/4 - 1}{N + N_g} \right) B \log_2 M \quad \text{bit/s} \quad (1.22)$$

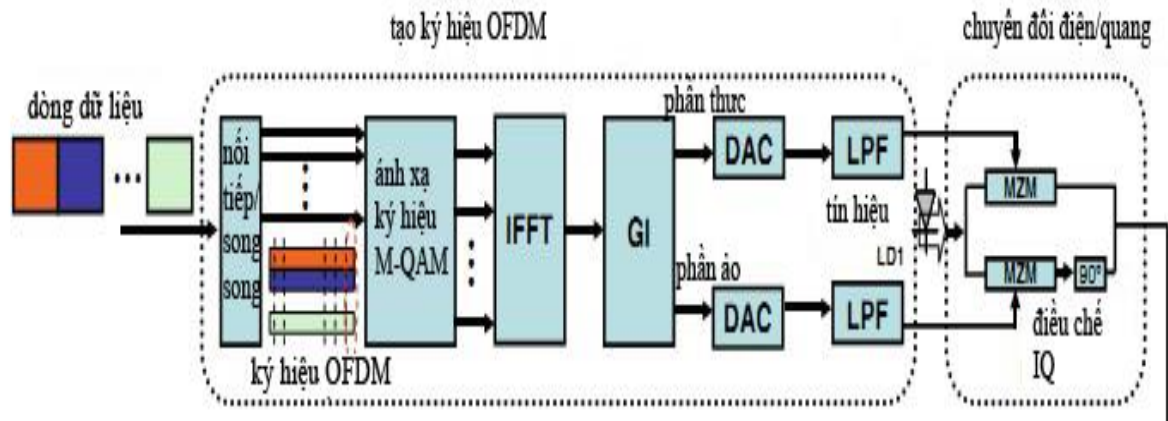
So với hệ thống sử dụng kỹ thuật DCO OFDM, hệ thống sử dụng kỹ thuật ACO OFDM chỉ sử dụng nửa số sóng mang con để mang thông tin, tức là có $N/4 - 2$ sóng mang con mang thông tin hữu ích. Khác với hệ thống sử dụng kỹ thuật DCO OFDM, hệ thống sử dụng kỹ thuật ACO OFDM tạo tín hiệu lưỡng cực thành tín hiệu đơn cực bằng cách cắt tất cả các giá trị âm trước khi điều chế bằng LED hoặc Lazer.

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 1.11.



Hình 1.11. 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 thêm 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.

1.2.2.5. 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.

1.3. 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 ngoài).

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 Laser. Độ phát sáng của laser 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 laser mà được thực hiện bởi một linh kiện quang bên ngoài gọi là bộ điều chế ngoài (external modulator). Ánh sáng do laser 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 laser 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).

1.1. 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. CÔNG NGHỆ COHERENT- OFDM QUANG

Chương 2 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; công nghệ kết hợp 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.

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.

Giữa các dạng của hệ thống thông tin quang ghép kênh phân chia theo tần số trực giao (OFDM), CO-OFDM nổi lên vượt trội bởi nó mang lại hiệu quả về phổ, độ nhạy máy thu, và sự phân cực hoặc độ dung sai tán sắc màu. Kể từ khi xuất hiện khái niệm CO-OFDM, các nghiên cứu lý thuyết và các thí nghiệm được tiến hành rộng rãi. Trong đó phải kể đến công trình nghiên cứu và thí nghiệm 100 Gb/s CO-OFDM truyền dẫn qua 1000 Km được chứng minh bởi nhóm nghiên cứu từ đại học Melbourne [5] và NTT [6]. Bởi vì CO-OFDM sử dụng bộ chuyển đổi số sang tương tự (DAC) ở phía phát và cũng duy nhất thí điểm một kênh sóng mang con cơ bản và ước lượng pha, nên rất thuận lợi để đạt được truyền dẫn hiệu suất phổ cao thông qua điều chế bậc cao. Kết quả nghiên cứu 64-QAM trong phân cực đơn và 16-QAM trong phân cực kép đã cho thấy đạt hiệu suất phổ cao cho cả hai loại phân cực này. Như vậy, CO-OFDM được xem là dạng điều chế hiệu quả cho 100Gb/s thậm chí đạt tốc độ cao hơn do đạt hiệu

suất phổ cao. Theo nghiên cứu, CO-OFDM có thể cho tốc độ dữ liệu lên tới 400 Gb/s hoặc cao hơn. Điều quan trọng hơn, CO-OFDM là một dạng điều chế tốc độ mà phần cứng và phần mềm có thể tương thích từ thế hệ hiện hành tới thế hệ tiếp theo bất kể tốc độ truyền dẫn được nâng cấp. Đây là sự tương phản với các dạng điều chế đơn sóng mang thông thường khác.

2.2. Công nghệ thông tin quang Coherent

2.2.1. Tổng quan về công nghệ thông tin quang Coherent

Trong kỹ thuật thông tin quang truyền thống, người ta thường sử dụng công nghệ IM-DD, tức là sử dụng công nghệ điều chế cường độ ánh sáng ở phía phát và tách sóng quang trực tiếp ở phía thu. Công nghệ này có những hạn chế như:

- Khi các phần tử phát quang (LED, LD) và thu quang (PIN photodiode, APD) hoạt động ở tốc độ cao sẽ xuất hiện méo biên độ và méo pha (trong truyền dẫn analog) và méo sườn trước và sườn sau của xung tín hiệu truyền dẫn (trong truyền dẫn digital)
- 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-Zehnder 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 thi 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.

Như vậy, sẽ có 2 loại bộ thu quang coherent:

- Bộ thu Homodyne khi $\lambda_1 = \lambda_2$
- Bộ thu Heterodyne khi $\lambda_1 \neq \lambda_2$

Tương ứng, sẽ có 2 loại hệ thống thông tin quang coherent:

- Hệ thống thông tin quang Homodyne khi $\lambda_1 = \lambda_2$
- Hệ thống thông tin quang Heterodyne khi $\lambda_1 \neq \lambda_2$

2.2.2. Các khái niệm cơ bản trong công nghệ Coherent

2.2.2.1. 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. Để xem sự pha trộn của tín hiệu quang nhận được với đầu ra LO có thể được cải thiện hiệu suất thu, chúng ta hãy viết các kí hiệu quang bằng cách sử dụng kí hiệu phức tạp như :

$$E_s = A_s \exp[- i(\omega_0 t + \Phi_s)] \quad (2.1)$$

Trong đó, ω_0 là tần số sóng mang, A_s là biên độ, và Φ_s là pha. Trường quang liên quan với các nội dao động được đưa ra bởi một biểu thức tương tự

$$E_{LO} = A_{LO} \exp[- i(\omega_{LO} t + \Phi_{LO})] \quad (2.2)$$

Trong đó, A_{LO} , ω_{LO} , Φ_{LO} là biên độ, tần số và pha của nội dao động tương ứng. Từ khi bộ tách sóng quang phản ứng với cường độ quang học, năng lượng quang của

bộ tách sóng được cho bởi : $P = K |E_s + E_{LO}|^2$, trong đó K là một hằng của cân đối. Sử dụng phương trình (2.1) và (2.2)

$$P(t) = P_s + P_{LO} + 2\sqrt{P_s P_{LO}} \cos(\omega_{IF} + \Phi_s - \Phi_{LO}) \quad (2.3)$$

Trong đó:

$$P_s = KA_s^2, \quad P_{LO} = KA_{LO}^2, \quad \omega_{IF} = \omega_o - \omega_{LO} \quad (2.4)$$

Tần số $\nu \equiv \omega_{IF} / 2\pi$ được gọi là tần số trung gian (IF). Khi $\omega_o \neq \omega_{LO}$, tín hiệu quang học được giải điều chế trong hai giai đoạn, tần số sóng mang của nó lần đầu tiên chuyển đổi sang một tần số trung gian ν_{IF} (thường là 0.1- 5 GHz) trước khi tín hiệu được giải điều chế sang dải gốc. Nó không phải luôn luôn cần thiết để sử dụng một tần số trung gian.

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.

2.2.2.2. 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_o để $\omega_{IF} = 0$. Từ phương trình (2.3) dòng quang điện ($I=RP$, trong đó R là responsivity phát hiện) và được cho bởi :

$$I(t) = R(P_s + P_{LO}) + 2R\sqrt{P_s P_{LO}} \cos(\phi_s - \phi_{LO}) \quad (2.5)$$

Thông thường, $P_{LO} \geq P_s$ và $P_s + P_{LO} \approx P_{LO}$. Số hạng cuối cùng trong phương trình (2.5) chứa các thông tin truyền và được sử dụng bởi các mạch. Chú ý trong trường hợp pha của bộ tạo dao động tại máy bị khóa thành pha tín hiệu để $\phi_s = \phi_{LO}$ tín hiệu dao động đồng tần được đưa ra bởi công thức:

$$I_p(t) = 2R\sqrt{P_s P_{LO}} \quad (2.6)$$

Ưu điểm chính của dao động đồng tần được chỉ rõ ở phương trình (2.6.). Nếu chúng ta chú ý tín hiệu dòng điện trong trường hợp trực tiếp được đưa ra bởi $I_{dd}(t) = RP_s(t)$. Ký hiệu công suất quang trung bình là \bar{P}_s , năng lượng điện trung bình được tăng lên bởi yếu tố $4P_{LO} / \bar{P}_s$ với việc sử dụng bộ dao động đồng tần. Khi P_{LO} lớn hơn nhiều \bar{P}_s , việc tăng cường năng lượng có thể vượt quá 20 dB. Mặc dù sự đo ngắt tiếng

ồn được nâng cao, nó được hiển thị trong phần của bộ dao động đồng tần cải thiện tín hiệu nhiễu (SNR) bởi một yếu tố lớn.

Điều kiện khác của bộ dao động đồng tần được đưa ra từ phương trình (2.5) bởi vì số hạng cuối trong phương trình này bao gồm tín hiệu pha rõ ràng, nó có thể truyền dẫn thông tin bằng pha và tần số điều chế của người sóng mang quang. Sự phát hiện trực tiếp không cho phép điều chế pha và tần số khi tất cả các thông tin về pha tín hiệu bị mất. Các dạng điều chế mới cho các hệ thống thống nhất được thảo luận trong mục 2.3.

Một bất lợi của bộ tạo dao động đồng tần cũng là kết quả từ độ nhạy về pha. Từ số hạng cuối cùng trong biểu thức (2.5) 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.

2.2.2.3. 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:

$$I(t) = R(P_s + P_{LO}) + 2R\sqrt{P_s P_{LO}} \cos(\omega_{IF}t + \phi_s - \phi_{LO}) \quad (2.7)$$

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:

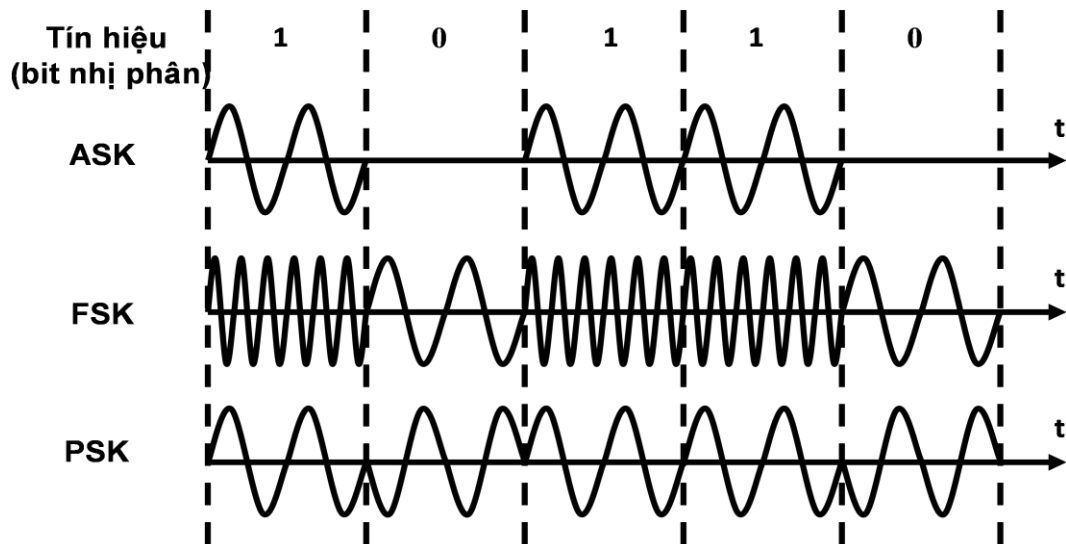
$$I_{ac}(t) = 2R\sqrt{P_s P_{LO}} \cos(\omega_{IF}t + \phi_s - \phi_{LO}) \quad (2.8)$$

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 kì đầy đủ ở tần số trung gian.

2.2.2.4. 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.

Sóng ánh sáng $p(t)$ của LD có dạng:

$$p(t) = P \cos(\omega t + \phi) \quad (2.9)$$

Khi đó, tín hiệu điều biên quang có dạng:

$$p_{ASK}(t) = P[i(t)] \cos(\omega t + \phi) \quad (2.10)$$

Đối với điều chế nhị phân tương tự, P lấy một trong hai giá trị cố định trong từng thời kì bit, phụ thuộc vào bit 1 hay bit 0 được truyền dẫn.

❖ 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.

Khi sóng ánh sáng $p(t)$ của LD có dạng (2.9), khi đó tín hiệu điều tần quang có dạng:

$$p_{FSK}(t) = P \cos\{\omega[i(t)]t + \phi\} \quad (2.11)$$

Đối với tín hiệu nhị phân ω lấy hai giá trị $\omega + \Delta\omega$ và $\omega - \Delta\omega$, điều đó phụ thuộc vào bit 0 hoặc bit 1 được truyền đi. Sự thay đổi $\Delta f = \Delta\omega/2\pi$ được gọi là độ lệch tần số. Số lượng 2 đôi khi còn được gọi là sự giãn cách âm, vì nó đại diện cho sự giãn cách giữa bit 0 và bit.

Khi đó, tín hiệu điều tần quang có dạng:

$$p_{FSK}(t) = P \cos\{[\omega \pm \Delta\omega]t + \phi\} \quad (2.12)$$

Trong đó kí hiệu $+$ và $-$ tương ứng với bit 1 và 0. chú ý đối số của hàm cos có thể được viết dưới dạng:

$$\omega t + (\Phi \pm \Delta\omega t) \quad (2.13)$$

Khi đó, điều chế FSK cũng có thể được xem như một loại điều chế PSK như tăng hoặc giảm tuyến tính pha sóng mang trên bit.

❖ Định dạng PSK

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

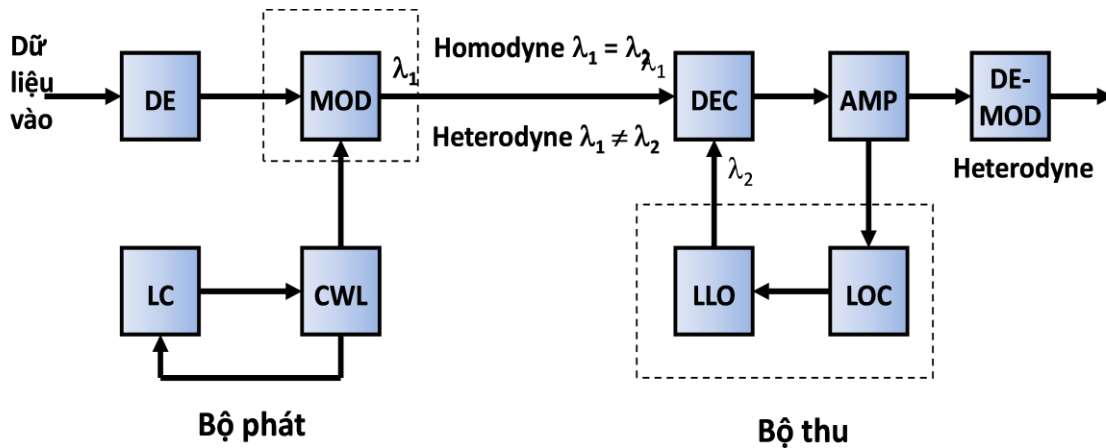
Trong điều chế PSK, người ta thực hiện điều chế pha Φ của sóng mang quang $p(t)$ là sóng ánh sáng phát xạ của LD (LD là phần tử phát quang khi điều chế trực tiếp, hay LD là phần tử tạo sóng ánh sáng dao động nội khi điều chế ngoài) với tín hiệu cần truyền dẫn $i(t)$. Còn biên độ P và tần số ω của sóng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

Khi sóng ánh sáng $p(t)$ của LD có dạng (2.9), khi đó tín hiệu điều pha quang có dạng:

$$p_{\text{PSK}}(t) = P \cos \{ \omega t + \phi[i(t)] \} \quad (2.14)$$

2.2.3. 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.

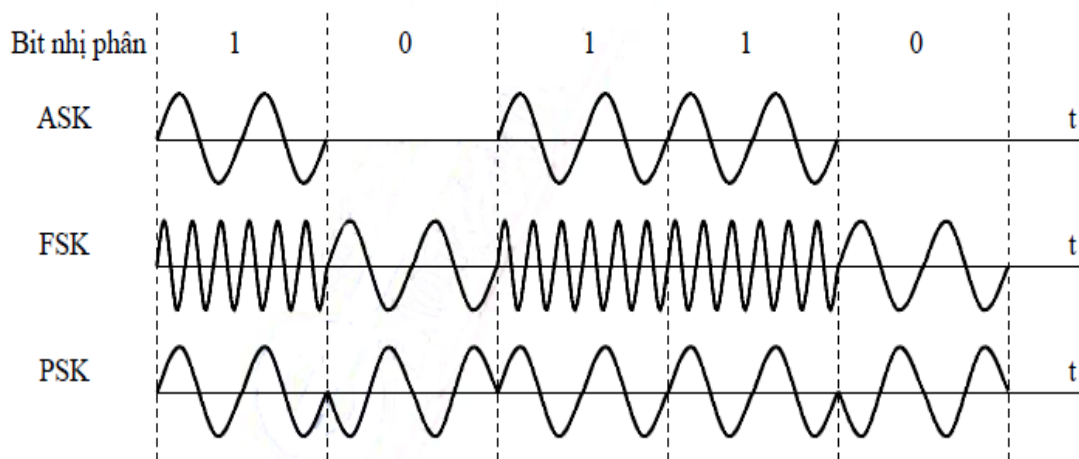


Hình 2.2. Sơ đồ hệ thống thông tin quang coherent

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.

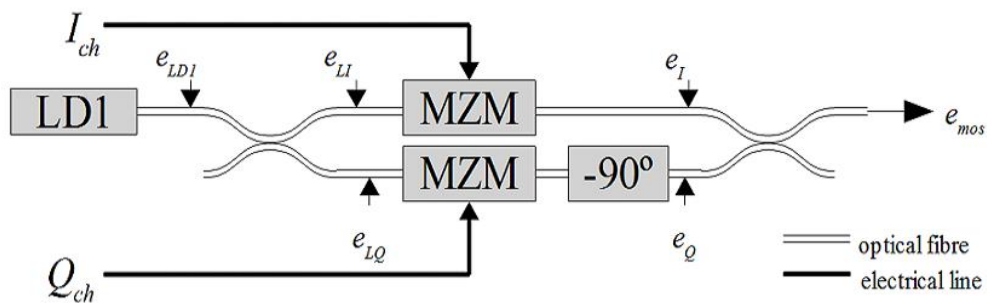
- DEMOD (Demodulator): khối này chỉ cần thiết khi bộ thu hoạt động ở chế độ Heterodyne.

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

2.2.4.1. 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

2.2.4.2. Bộ thu quang

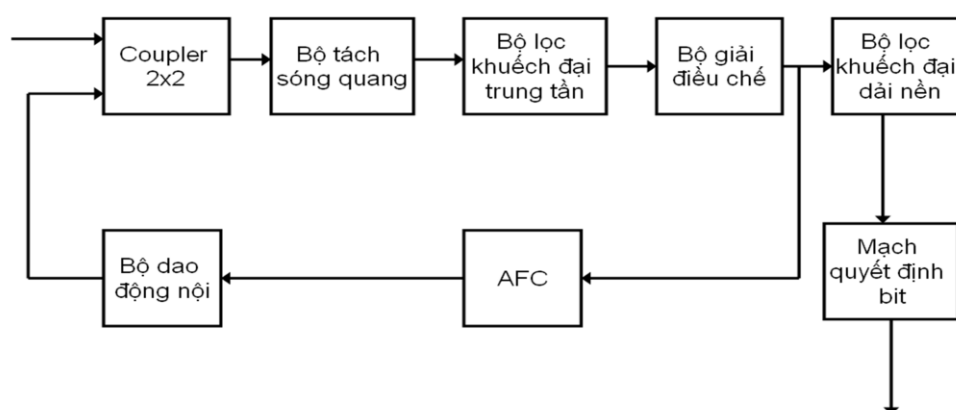
Trong kỹ thuật thông tin quang coherent người ta thường sử dụng các bộ thu quang sau:

- 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.

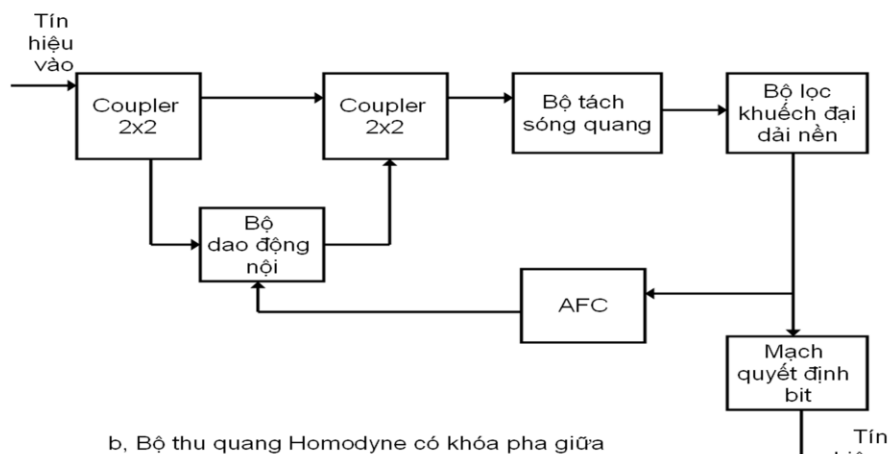
Tách sóng Heterodyne đồng bộ được sử dụng cho giải điều chế PSK. Do đó với tách sóng này cần phải đánh giá được pha của tín hiệu IF để chuyển tín hiệu này thành tín hiệu dải nền. Do đó kỹ thuật khóa pha được sử dụng ở bộ thu để dò sự dao động pha giữa tín hiệu vào và tín hiệu của bộ dao động nội. Vì 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.

Kỹ thuật tách sóng không đồng bộ có thể áp dụng cho ASK và FSK với yêu cầu tối thiểu về sự ổn định độ rộng phổ và pha của laser. Tách sóng đường bao Heterodyne của tín hiệu ASK có thể thực hiện bằng cách sử dụng bộ lọc thông dải để nhận được tín hiệu trung tần, sau đó cho tín hiệu này qua bộ tách sóng đỉnh để khôi phục tín hiệu nền.

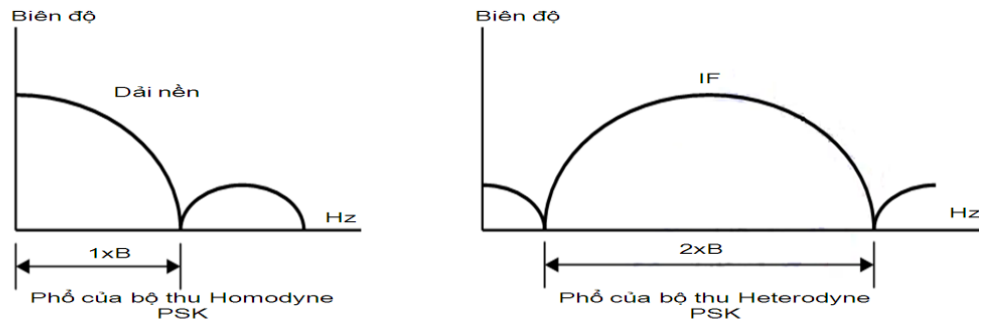
❖ Bộ thu quang tách sóng Homodyne

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.

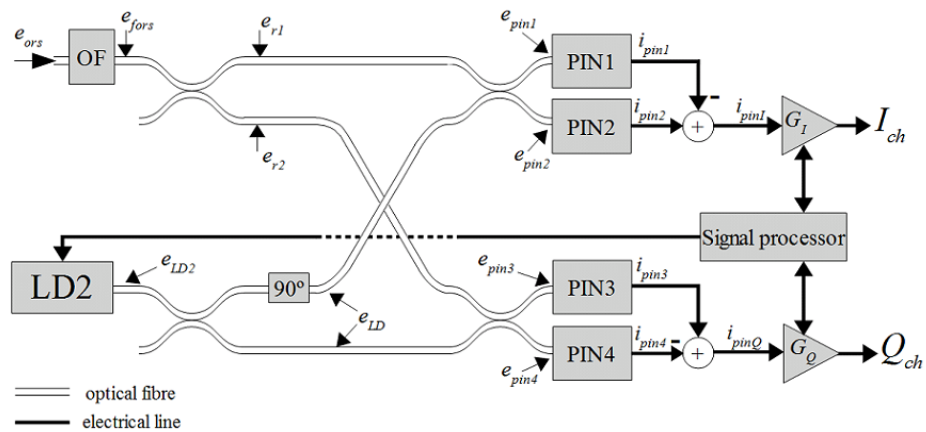


Hình 2.7. So sánh phổ của tín hiệu PSK ở ngõ ra của bộ tách sóng quang Homodyne và Heterodyne.

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

Quá trình hoạt động bộ thu quang kết hợp được mô tả như sau :

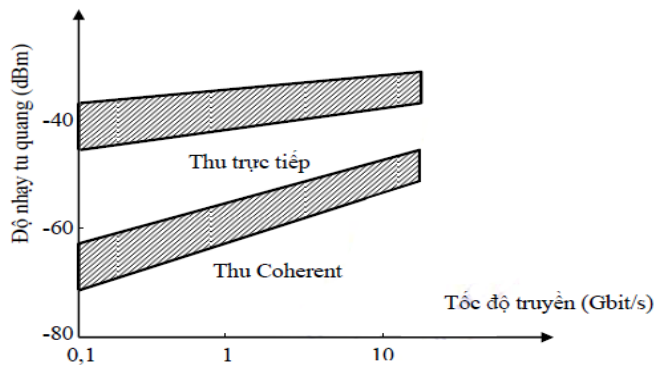
1. Một Lazer LD2 phát ra ánh sáng với tần số giao động nội. Tín hiệu do Lazer LD2 phát ra sau đó được chia làm hai nhánh, pha của một trong hai nhánh sẽ được lệch đi 90°
2. Tín hiệu quang nhận được cũng được chia làm hai nhánh.
3. Nhánh thứ nhất của tín hiệu quang nhận được sẽ trộn với sóng quang đã bị lệch 90° do LD2 phát ra, sau đó được dò bởi 2 photo-detector. Dòng điện sau mỗi photo-detector sẽ được tổng hợp lại và trả về thành phần I tương ứng bên phát.
4. Nhánh thứ hai của tín hiệu quang nhận được sẽ trộn với sóng quang do LD2 phát ra, sau đó cũng được dò bởi 2 photo-detector. Dòng điện sau mỗi photo-detector sẽ được tổng hợp lại và trả về thành phần Q tương ứng bên phát.

Hai thành phần I/Q lúc này là tín hiệu điện trong miền thời gian. Sẽ được xử lý hoàn toàn trong miền điện.

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

2.2.5.1. Nâng cao độ nhạy thu

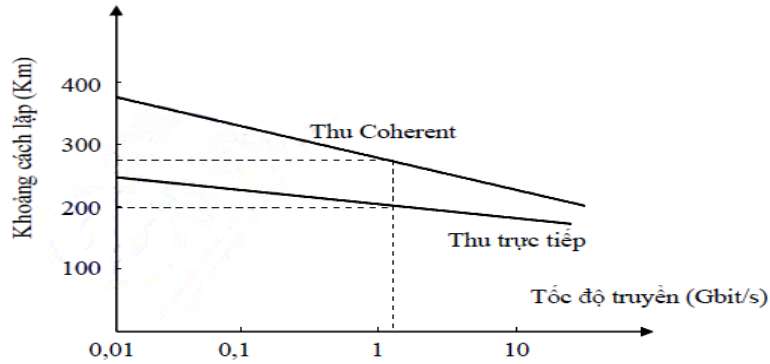
Về mặt lý thuyết, hệ thống thông tin quang coherent có nhiều đặc điểm hấp dẫn mà mấu chốt là sự cải thiện độ nhạy thu. Do đó nếu hệ thống quang coherent sử dụng phương pháp tách sóng heterodyne hay homodyne sẽ cho phép kéo dài khoảng cách giữa hai trạm lặp, tăng tốc độ truyền dẫn trong các tuyến thông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

2.2.5.2. 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

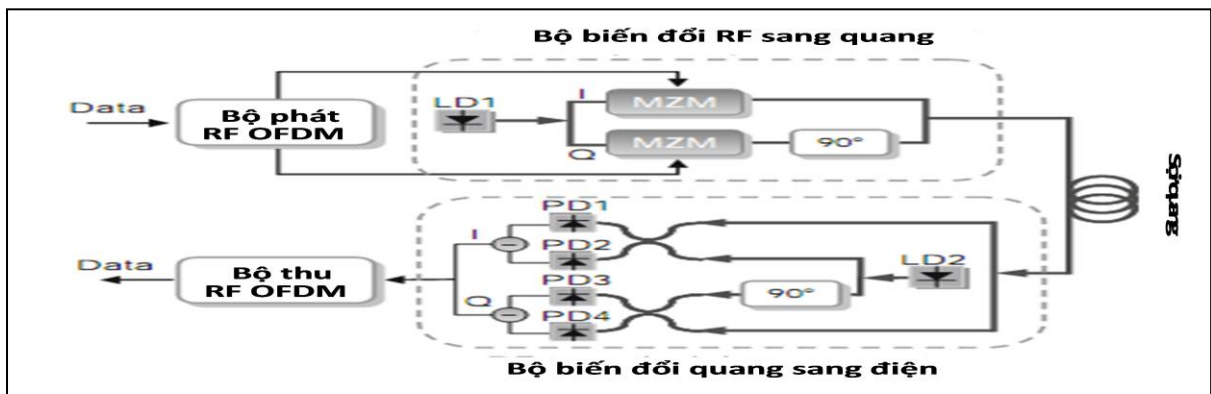
2.2.5.3. Khả năng kết hợp thu coherent với kỹ thuật khuếch đại quang

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.

2.3. Công nghệ Coherent OFDM quang

2.3.1. 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 điển hình

Một hệ thống CO-OFDM quang điển 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.

2.3.2. Các khối chức năng cơ bản và nguyên lý trong hệ thống CO-OFDM quang

2.3.2.1. Các khối phát và thu RF OFDM

Kiến trúc của bộ phát và bộ thu RF OFDM đã được chỉ ra như trên hình 1.7 (chương 1). 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.

Nguyên lý hoạt động của bộ phát RF OFDM đã được trình bày kỹ trong phần 1.2.2.1 và nguyên lý hoạt động của bộ thu RF OFDM đã được trình bày kỹ trong phần 1.2.2.3 chương 1.

2.3.2.2. 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 bằng 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 phân ảo trong cả bộ phát và bộ thu.
- Giảm đáng kể yêu cầu băng thông điện cho cả bộ phát và bộ thu.

2.3.2.3. Bộ điều chế I/Q quang cho biến đổi RF sang quang đường lên và biến đổi quang sang RF đường xuống

Tín hiệu OFDM trước khi đi vào bộ điều chế MZM là các tín hiệu mô tả ở các công thức 1.4, 1.5 và 1.6. Trong kiến trúc bộ biến đổi RF sang quang đường lên và biến đổi quang sang RF đường xuống trực tiếp (hình 2.11), hai sóng mang $V_1 = V \cdot e^{j\omega_1 t}$, $V_2 = V \cdot e^{j\omega_2 t}$ được đưa đến đầu vào của bộ điều chế I/Q. Tín hiệu quang tại đầu ra của bộ điều chế I/Q là:

$$E(t) = A \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_I + V_{DC}}{V_\pi}\right) \cdot \exp(j\omega_{LD1}t + j\phi_{LD1}) + A \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_Q + V_{DC}}{V_\pi}\right) \cdot \exp(j\omega_{LD1}t + \pi/2 + j\phi_{LD1}) \quad (2.15)$$

V_I và V_Q lần lượt là phần thực và phần ảo của tín hiệu liên tục OFDM, thể hiện như $V_I = V \cdot (\cos\omega_1 t + \cos\omega_2 t)$, $V_Q = V \cdot (\sin\omega_1 t + \sin\omega_2 t)$; V_{DC} là điện thế phân cực bộ điều chế MZM, V_π là điện thế phân cực nửa bước sóng; và ω_{LD1}, ϕ_{LD1} lần lượt là tần số góc và pha của tín hiệu quang do laser phát ra. Tín hiệu ở đầu ra của bộ điều chế I/Q quang sẽ là:

$$E(t) = \exp(j\omega_{LD1}t + j\phi_{LD1}) \cdot E^B(t) \quad (2.16)$$

$$E^B(t) = \cos\left[\frac{M}{2}(\cos\omega_1 t + \cos\omega_2 t + \frac{\phi}{2})\right] + j \cos\left[\frac{M}{2}(\sin\omega_1 t + \sin\omega_2 t + \frac{\phi}{2})\right] \quad (2.17)$$

Với $M = V\pi/V_\pi$ là chỉ số điều chế, $\phi = V_{DC}\pi/V_\pi$ là một sự đổi pha tĩnh, và $E^B(t)$ là một tần số dịch của $E(t)$ trong miền quang.

Trong điều kiện phân cực tối ưu, $V_{DC} = V_{\pi}$ giả sử V_I và V_Q là nhỏ và tính phi tuyến là không có ý nghĩa. Công thức (2.15) trở thành:

$$E(t) = -\frac{AM}{2}(V_I + jV_Q) \cdot \exp(j\omega_{LD1}t + j\phi_{LD1}) = -\frac{AM}{2}S(t)\exp(j\omega_{LD1}t + j\phi_{LD1}) \quad (2.18)$$

Với $S(t) = V_I + jV_Q$ là tín hiệu liên tục OFDM băng tần cơ bản. A là biên độ sóng quang do Laser LD1 phát ra.

2.3.2.4. Tách sóng coherent cho chuyển đổi đường xuống và triết pha

Có hai kỹ thuật tách sóng Coherent: Tách sóng heterodyne và tách sóng homodyne. Sơ đồ khối tách sóng heterodyne và tách sóng homodyne đã chỉ ra trong phần 2.2.3.2.

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.

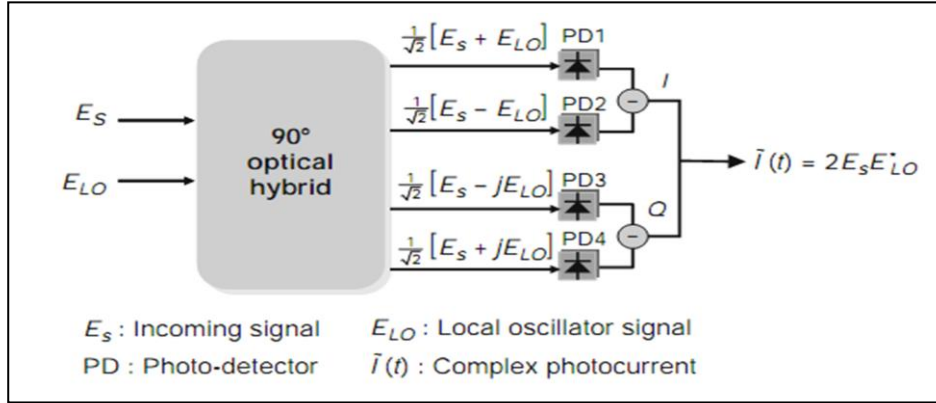
Trong tách sóng homodyne, sóng mang quang sử dụng một bộ điều chế điện – quang bao gồm hai bộ MZM riêng biệt được sử dụng để điều chế hai thành phần I/Q của tín hiệu OFDM. Ở phía thu, tín hiệu quang OFDM được tách làm hai phần I/Q ngay trong miền quang nhờ sử dụng hai bộ thu cân bằng (gồm 4 photo-detector 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.

Mục đích của 4 cổng đầu ra của bộ ghép lai 90° là để tạo ra một sự lệch pha 90° cho các thành phần I và Q , và lệch pha 180° cho tách sóng cân bằng. Bỏ qua sự không cân bằng và tổn thất của ghép lai quang, các tín hiệu đầu ra E_{1-4} có thể được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{1}{\sqrt{2}}[E_S + E_{LO}], E_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}[E_S - E_{LO}] \\ E_3 &= \frac{1}{\sqrt{2}}[E_S - jE_{LO}], E_4 = \frac{1}{\sqrt{2}}[E_S + jE_{LO}], \end{aligned} \quad (2.19)$$

Với E_S và E_{LO} tương ứng là tín hiệu đến và tín hiệu do bộ dao động nội LO tạo ra. Phân tích tín hiệu đến làm hai thành phần: (i) tín hiệu thu được khi không có nhiễu ASE, $E_r(t)$ và (ii) nhiễu ASE, $n_o(t)$ như sau:

$$E_S = E_r + n_o \quad (2.20)$$

Đầu tiên nghiên cứu làm cách nào mà thành phần I của photo tách sóng được sinh ra, và thành phần Q có thể được nhận. Thành phần I đạt được bằng cách sử dụng một cặp photo-detector, PD1 và PD2 trong hình 2.12. I_{1-2} có thể được biểu diễn như sau:

$$I_1 = |E_1|^2 = \frac{1}{2} \left\{ |E_S|^2 + |E_{LO}|^2 + 2\text{Re}\{E_S E_{LO}^*\} \right\} \quad (2.21)$$

$$I_2 = |E_2|^2 = \frac{1}{2} \left\{ |E_S|^2 + |E_{LO}|^2 - 2\text{Re}\{E_S E_{LO}^*\} \right\} \quad (2.22)$$

$$|E_2|^2 = |E_r|^2 + |n_o|^2 + 2\text{Re}\{E_r n_o^*\} \quad (2.23)$$

$$|E_{LO}|^2 = I_{LO}(1 + I_{RIN}(t)) \quad (2.24)$$

Với I_{LO} và $I_{RIN}(t)$ là công suất trung bình và nhiễu cường độ tương đối (RIN) của laser LO, “Re” hoặc “Im” là biểu diễn phần thực và phần ảo của tín hiệu. Bởi vì tách sóng cân bằng, từ các công thức (2.21), (2.22), thành phần I của dòng quang điện trở:

$$I_I(t) = I_1 - I_2 = 2\text{Re}\{E_S E_{LO}^*\} \quad (2.25)$$

Nhận thấy nhờ tách sóng cân bằng, kỹ thuật loại nhiễu thực hiện một cách triệt để vì ba thành phần nhiễu trong công thức (2.23) được xóa bỏ hoàn toàn. Tuy nhiên, nó cho thấy rằng tách sóng coherent có thể thực hiện bằng cách sử dụng một bộ tách sóng đơn, nhưng sẽ bị giảm phạm vi hoạt động.

Thành phần Q từ cặp bộ tách sóng cân bằng khác có thể được suy ra như sau:

$$I_Q(t) = I_3 - I_4 = 2\text{Im}\{E_S E_{LO}^*\} \quad (2.26)$$

Từ các công thức (2.25) và (2.26), dòng quang điện $\tilde{I}(t)$ tổng cộng bao gồm cả thành phần I và Q tại ngõ ra:

$$\tilde{I}(t) = I_I(t) + jI_Q(t) = 2E_S E_{LO}^* \quad (2.27)$$

2.3.3. Độ nhạy máy thu của hệ thống CO-OFDM

Giả sử hệ thống CO-OFDM là lý tưởng, sử dụng phép điều chế QPSK, tỉ số lỗi bit BER được tính [1]:

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{\gamma}{2}}\right), \quad (2.28)$$

$$\gamma = \frac{\sigma_r^2}{\sigma_n^2} \quad (2.29)$$

Với γ là tỉ số tín hiệu trên nhiễu, σ_r^2 và σ_n^2 lần lượt là phương sai của tín hiệu thu được với phương sai của nhiễu. Và erfc là hàm lỗi.

Đối với hệ thống tách sóng coherent, nhiễu chủ yếu là nhiễu đập phát xạ tự phát ASE. Tỉ số lỗi bit BER, hệ số phản chất Q, tỉ số tín hiệu trên nhiễu quang OSRN, và γ cho QPSK CO-OFDM trong điều kiện lý tưởng như sau:

$$\gamma = 2.OSNR.\frac{B_0}{R} \quad (2.30)$$

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{OSNR \frac{B_0}{R}} \right) \quad (2.31)$$

$$Q = 10 \log_{10} (2.OSNR.\frac{B_0}{R}) \quad (2.32)$$

Với B_0 là băng thông nhiễu ASE sử dụng để đo OSNR. $R = N_{sc}.\Delta f$ là tốc độ truyền ký hiệu hệ thống của băng thông tín hiệu OFDM.

2.4. 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 Coheren.

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. CÔNG NGHỆ COHERENT- OFDM-WDM QUANG VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CHO VNPT

Chương 3 sẽ nghiên cứu về công nghệ Coherent- OFDM-WDM quang (CO-OFDM-WDM) với các nội dung: nguyên lý ghép băng trực giao của hệ thống CO-OFDM - WDM quang, giải pháp thực thi ghép băng trực giao của hệ thống CO-OFDM - WDM quang, hệ thống truyền dẫn CO-OFDM-WDM quang, đánh giá hiệu quả hệ thống truyền dẫn CO-OFDM-WDM quang và khả năng ứng dụng cho mạng VNPT.

3.1. 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.

Cốt lõi của công nghệ Coherent OFDM quang dung lượng lớn ghép băng trực giao OBM-OFDM là công nghệ OFDM quang dung lượng lớn ghép băng trực giao và trong đó công nghệ Coherent đã được tích hợp với mỗi tần số trực giao của 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.

3.2. 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).

Khái niệm về OBM-OFDM được đưa ra giống như tên gọi của nó. Về bản chất hoạt động của OBM-OFDM là chia toàn bộ phổ OFDM vào trong nhiều băng [10], và các băng này được ghép trực giao với nhau. Vì các băng có tính trực giao, các băng OFDM không cần băng bảo vệ hoặc các băng bảo vệ nhỏ có thể được ghép và tách mà không xảy ra nhiễu giữa các băng. Với kỹ thuật này, truyền dẫn 100 Gb/s CO-OFDM qua 1000 Km sợi quang đơn mode tiêu chuẩn (SSMF) sử dụng một bộ khuếch đại sợi quang pha tạp Erbium (EDFA) sẽ không cần sự bù tán sắc quang.

Hệ thống OBM-OFDM 100 Gb/s có thể được xem như 5 x 20 Gb/s ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) mà không sử dụng băng bảo vệ tần số. Mỗi bước sóng trong WDM truyền dẫn 20 Gb/s và được ghép 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.

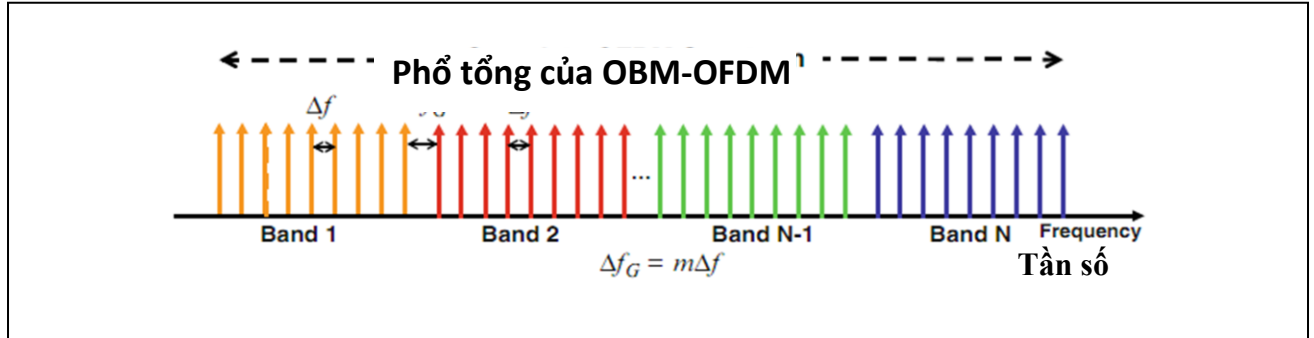
3.3. Nguyên lý OBM-OFDM

Nguyên tắc cơ bản của OBM-OFDM là chia OFDM vào trong các băng con mà vẫn duy trì tính trực giao của chúng. Như miêu tả trên hình 3.1, toàn bộ phổ OFDM bao gồm N băng OFDM, với khoảng cách giữa các sóng mang con là Δf và khoảng băng tần bảo vệ là Δf_G . Khoảng cách giữa các sóng mang con Δf là bằng nhau trong các băng bởi vì do sự giống nhau về xung lấy mẫu trong mỗi mạch được sử dụng. Điều kiện trực giao giữa các băng khác nhau được cho bởi:

$$\Delta f_G = m\Delta f \quad (3.1)$$

Như vậy, băng bảo vệ là một bội số khoảng cách giữa các sóng mang con (m lần). Do đó, điều kiện trực giao được thỏa mãn cho bất kỳ hai sóng mang con trong

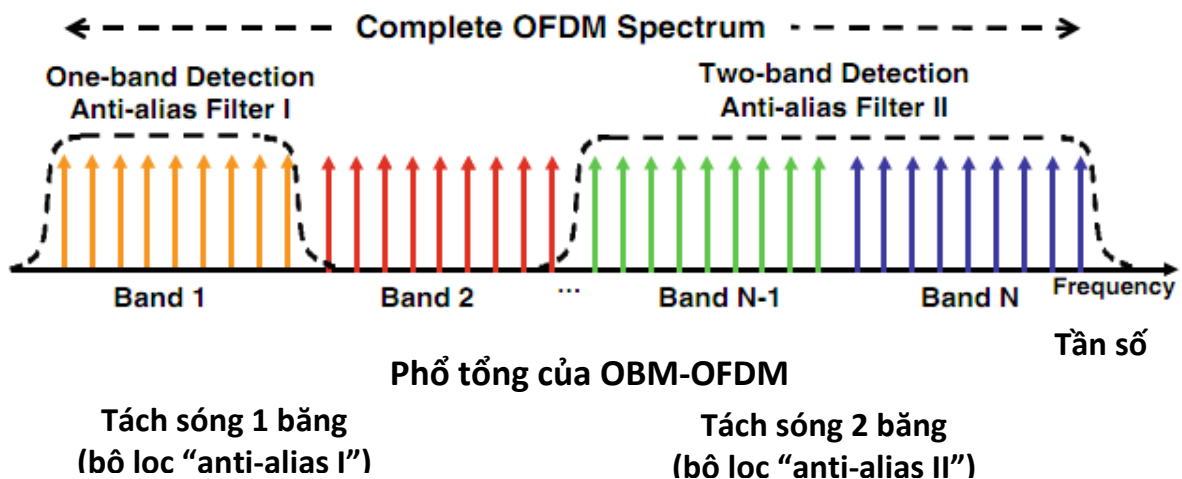
toàn bộ phổ OFDM. Ví dụ, sóng mang con f_i trong băng 1 là trực giao với sóng mang con f_j khác trong một băng OFDM khác (băng 2). Khi $m=1$ trong công thức (3.1), các băng OFDM có thể được ghép/tách mà thậm chí không có băng bảo vệ, mặc dù trên thực tế chúng bắt đầu hình thành từ các băng khác nhau.



Hình 3.1. 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 3.2).



Hình 3.2. Minh họa tách sóng một băng và hai băng trong OBM-OFDM

Cụ thể, để tách sóng OBM-OFDM, có hai phương án có thể thực hiện:

- Phương án thứ nhất, laser phía thu được đặt ở vị trí trung tâm của mỗi băng. Mỗi băng được tách riêng biệt bằng cách sử dụng một bộ lọc “Anti-alias I”, bộ lọc này sẽ lọc thông thấp duy nhất các tín hiệu trong một băng RF, nên mỗi băng sẽ được tách riêng biệt.
- Phương án thứ hai, laser phía thu được đặt ở vị trí trung tâm của băng bảo vệ. Hai băng được tách sóng bằng cách sử dụng một bộ lọc “Anti-alias II”, bộ lọc này sẽ lọc thông thấp hai băng tín hiệu RF, do đó hai băng được tách đồng thời.

Trong mỗi trường hợp tách như đã nêu ở trên, nhiễu giao thoa giữa các băng có thể tránh được bởi vì tính trực giao giữa các băng lân cận, mặc dù để lọc các sóng mang con từ các băng lân cận. Bằng cách sử dụng OBM-OFDM, CO-OFDM 100 Gb/s có thể thực hiện mà không phải sử dụng thiết bị DAC/ADC hoạt động ở tốc độ lấy mẫu cao.

3.4. Phổ quang của OBM-OFDM

Phổ quang của OBM-OFDM được chỉ ra trên hình 3.3. Trong đó, hình 3.3a là phổ quang của ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) với điều chế CO-OFDM, hình 3.3b là sự thu nhỏ phổ quang đối với mỗi kênh bước sóng, hình 3.3c là phổ quang của OFDM mà kênh không có khoảng bảo vệ.

Trong hệ thống DDO-OFDM, phổ quang thường không phải là bản sao tuyến tính của phổ RF, do đó hiệu quả phổ quang phụ thuộc vào sự thực thi chi tiết. Chúng ta chuyển hướng tập trung vào hiệu quả phổ quang của hệ thống CO-OFDM. Trong hệ thống CO-OFDM, sóng mang con N_{sc} được truyền trong mỗi thời gian ký tự OFDM T_s . Do đó tổng tốc độ ký hiệu R đối với CO-OFDM được tính bởi:

$$R = N_{sc} / T_s \quad (3.2)$$

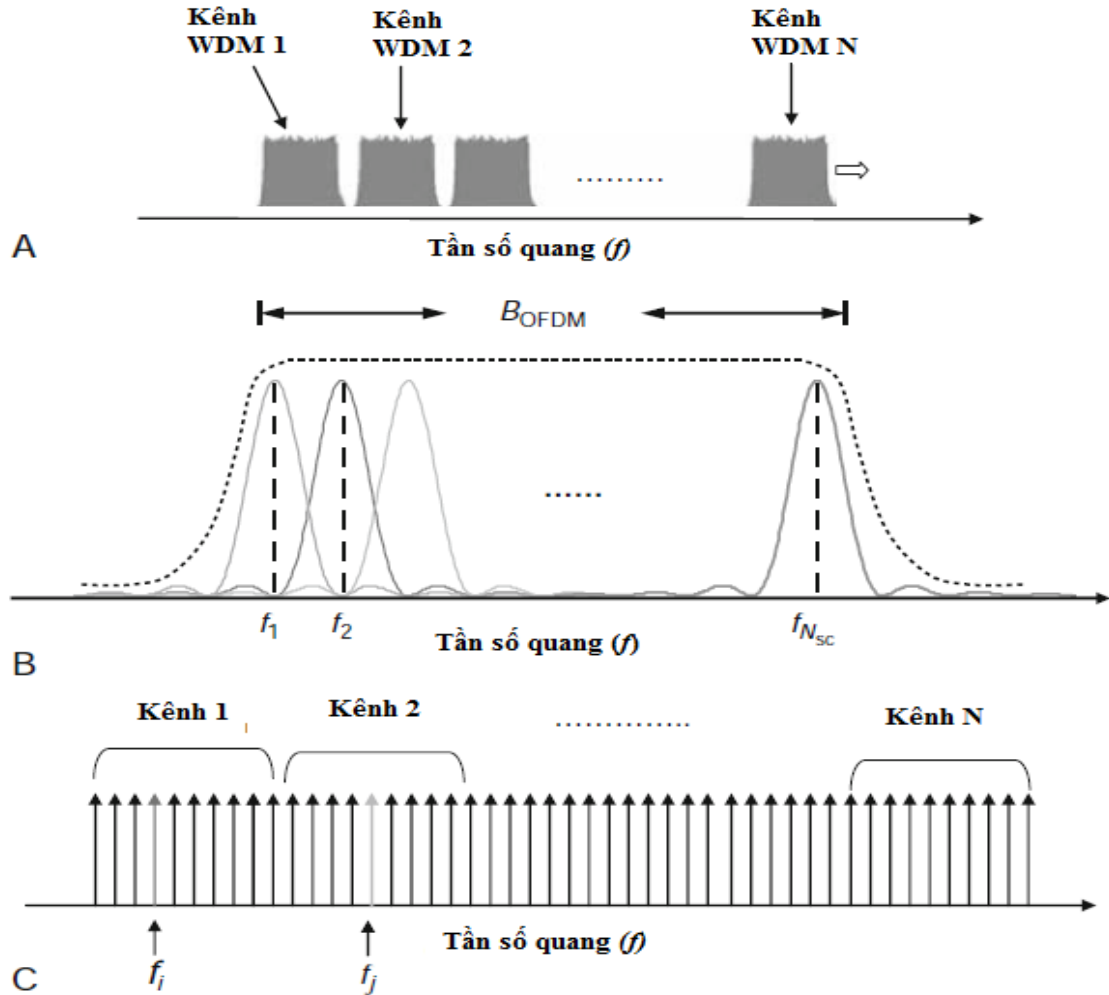
Người ta sử dụng băng thông của những ký tự rỗng đầu tiên để biểu thị ranh giới của mỗi kênh bước sóng. Băng thông OFDM, B_{OFDM} được tính bởi công thức:

$$B_{OFDM} = \frac{2}{T_s} + \frac{N_{sc} - 1}{t_s} \quad (3.3)$$

Khi t_s là độ rộng một ký tự có ích (nhìn hình 1.6). Giả sử rằng một phần lớn sóng mang con được sử dụng, băng thông hiệu dụng của OFDM là η được tính bởi:

$$\eta = 2 \frac{R}{B_{OFDM}} = 2\alpha, \quad \alpha = \frac{t_s}{T_s} \quad (3.4)$$

Khi mà sử dụng giá trị khoảng bảo vệ là $8/9$ thì chúng ta sẽ tính được hệ số phổ hiệu dụng η là 1,8. Phổ hiệu dụng là 3., bit/s/Hz nếu sử dụng điều chế QPSK đối với mỗi sóng mang. Phổ hiệu dụng có thể được tăng lên bằng việc sử dụng điều chế QAM. Để triển khai thực tế hệ thống CO-OFDM, phổ hiệu dụng sẽ phải giảm do cần một khoảng bảo vệ giữa các kênh WDM.



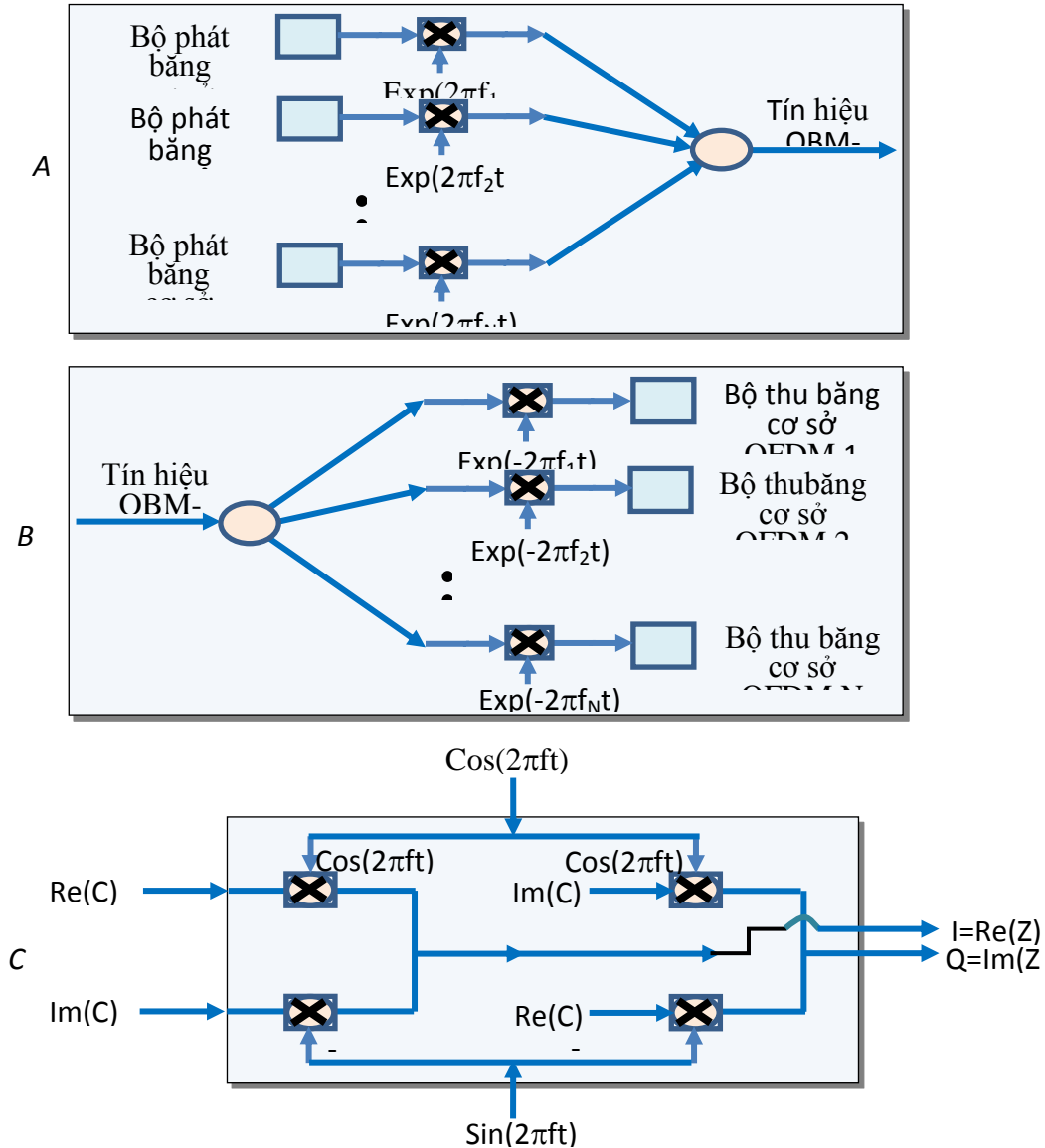
Hình 3.3. Phổ quang: (a) Ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) N kênh CO-OFDM; (b) Tín hiệu OFDM thu nhỏ đối với một bước sóng; (c) OFDM kênh không có khoảng bảo vệ

3.5. 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.

3.5.1. Thực hiện OFDM trong miền điện

Hình 3.4 là sơ đồ thực hiện OBM-OFDM. Trong đó, hình 3.4a là sơ đồ trộn tín hiệu cho bộ phát, hình 3.4b là sơ đồ mạch trộn tín hiệu cho bộ thu và hình 3.4c là sơ đồ mạch trộn tín hiệu cho bộ điều chế/giải điều chế IQ. Trong hình 3.4a, mỗi nguồn phát băng gốc OFDM được thực hiện bằng cách sử dụng thiết kế IC số. Sau đó tín hiệu được đưa đến bộ chuyển đổi đường lên, tiếp theo đến bộ lọc băng, và bộ khuếch đại RF (có thể được thực hiện trong thiết kế RF IC).



Hình 3.4. 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.

Đầu ra của bộ phát băng gốc OFDM sẽ được lọc thông qua một bộ lọc anti-alias và chuyển đổi đường lên tới băng RF thích hợp với tần số trung tâm từ f_1 tới f_N sử dụng một bộ điều chế I/Q hoặc một bộ ghép phức tạp, cấu trúc của nó được chỉ trên hình 3.4C. Sơ đồ mạch trộn tín hiệu cho bộ điều chế/giải điều chế I/Q mô tả cho cả đầu ra từ bộ phát trong hình 3.4a và đầu vào tới bộ thu trong hình 3.4B là các tín hiệu phức chứa cả phần thực và phần ảo. Sự sắp xếp các tần số từ f_1 đến f_N xung quanh vị trí trung tâm zero, được cho bởi biểu thức sau:

$$f_l = l \cdot \Delta f_b \quad l \in [-L, L] \quad (3.5)$$

Với f_l là tần số trung tâm của băng OFDM thứ l , Δf_b là khoảng cách băng, và L là số lượng băng cực đại. Đầu ra của mỗi bộ điều chế IQ là một giá trị phức tạp mà có chứa cả phần thực và phần ảo, như trên hình 2.4c. Các tín hiệu phức tạp được cộng ở phía đầu ra, gồm cả phần thực và phần ảo được đưa vào các đường song song riêng biệt tương ứng.

Một bộ điều chế IQ quang có nhiệm vụ chuyển đổi đường lên các tín hiệu OFDM phức tạp tổ hợp lên miền quang. Ở phía thu như trong hình 3.4B, tín hiệu đến được tách vào trong các băng con và chuyển đổi đường xuống thành tín hiệu băng tần gốc bằng cách sử dụng các bộ giải điều chế I/Q . Các bộ lọc Anti-alias được sử dụng để di chuyển các thành phần tần số cao không mong muốn tại đầu ra của các bộ giải điều chế. Bằng cách này, bộ DAC/ADC chỉ cần hoạt động ở băng thông của mỗi băng OFDM. Ví dụ, băng thông tốc độ dữ liệu 100 Gb/s với điều chế QPSK và ghép phân cực xấp xỉ là 35 GHz. Nếu số băng con là 5, mỗi băng OFDM sẽ chỉ cần khoảng 7 GHz băng thông quang. Băng thông điện yêu cầu là 3,5 GHz, hoặc một nửa quang phổ băng OFDM nếu biến đổi trực tiếp được sử dụng tại đầu cuối phát và thu.

3.5.2 Thực hiện OBM-OFDM trong miền quang

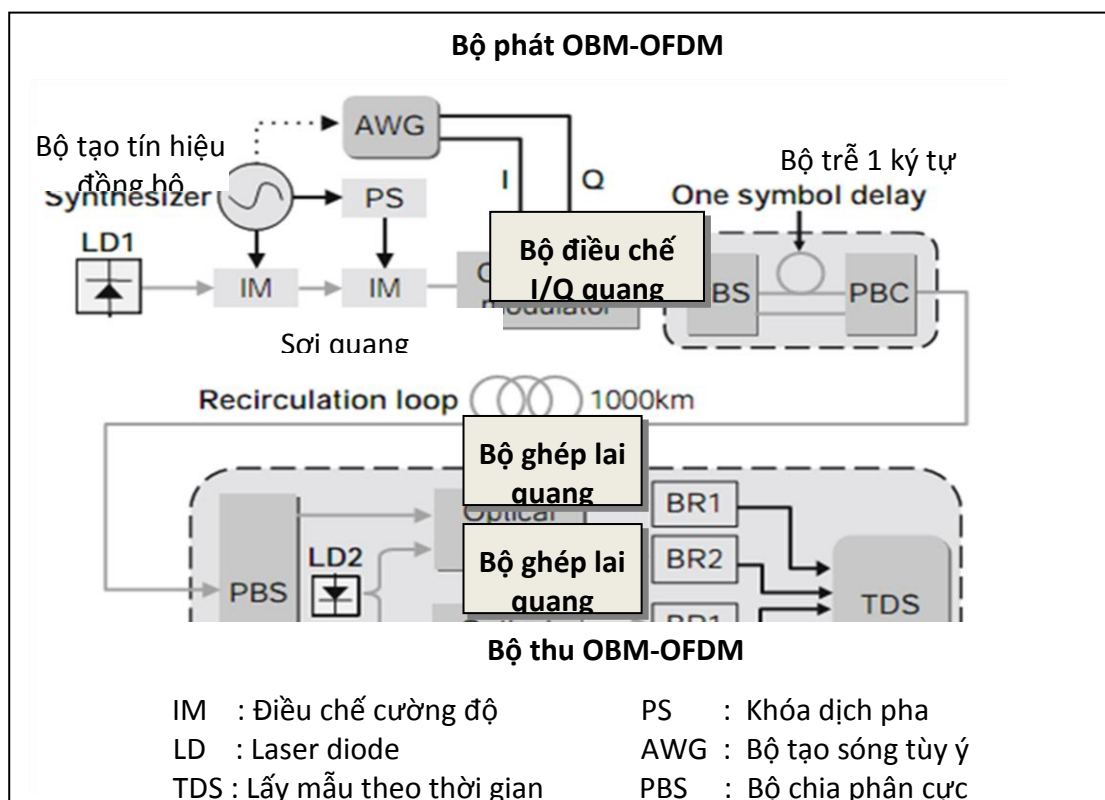
OBM-OFDM có thể được thực hiện bằng cách sử dụng hoặc ghép các sóng mang con [3] hoặc ghép các bước sóng để nối các băng trực giao vào trong một phổ OFDM hoàn chỉnh như hình 3.2. OBM-OFDM cũng có thể thực hiện trong miền quang bằng cách trực tiếp sử dụng một quang kết hợp hoặc truyền dữ liệu OFDM qua 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 3.4. Tuy nhiên, các thành phần điện

trong hình 3.4 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.

3.6. Hệ thống OB-OFDM 100Gb/s (hệ thống thí nghiệm)

3.6.1. 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 3.5 [8].



Hình 3.5 mô hình hệ thống OBM-OFDM 100Gb/s

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

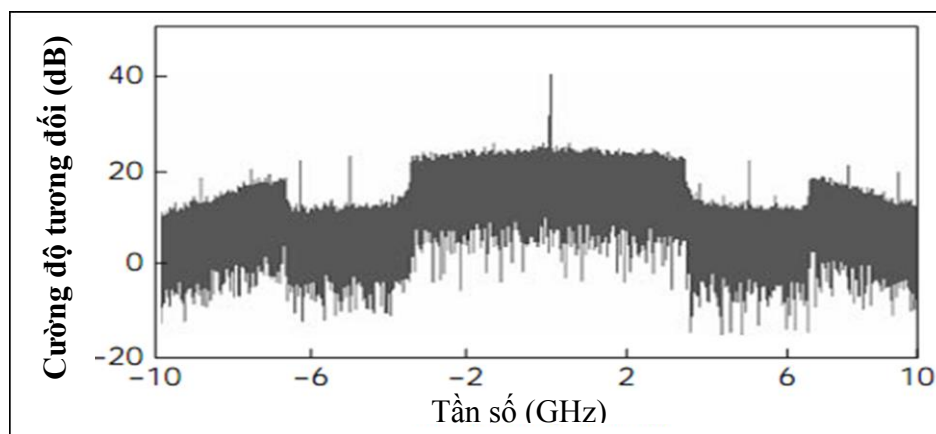
3.6.2.1. Bộ phát OBM-OFDM

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 3.1).

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.

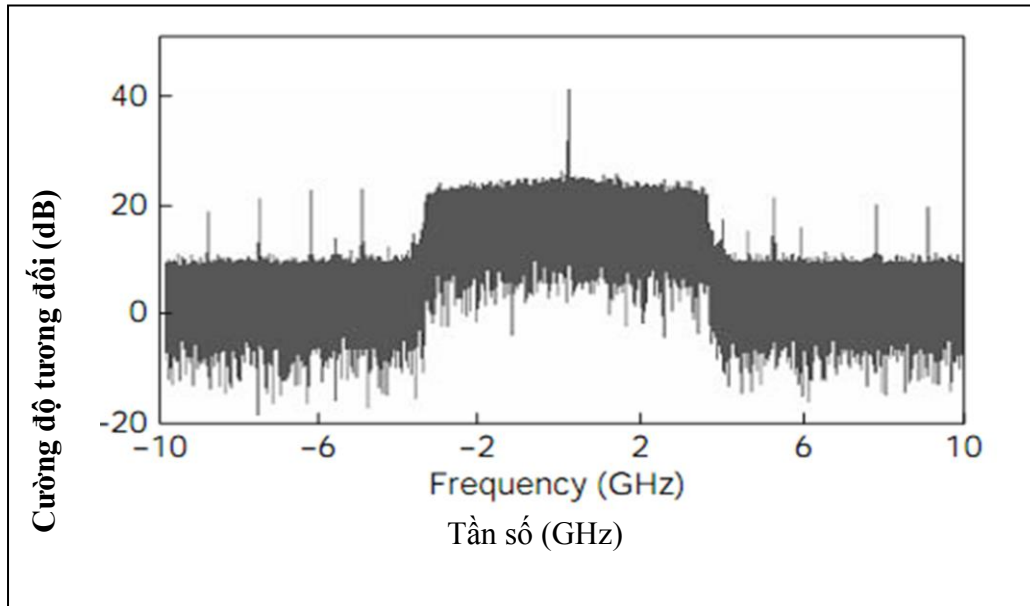
Hình 3.6 chỉ ra phổ điện của kênh I/Q ở đầu ra của bộ AWG.



Hình 3.6. Phổ điện trực tiếp tại đầu ra của AWG

Từ hình 3.6, 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 rãng cưa. Hình 3.7 chỉ ra phổ điện sau khi qua bộ lọc thông thấp, với các thành phần phổ rãng cưa đã được loại bỏ.



Hình 3.7. 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 2×2 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.

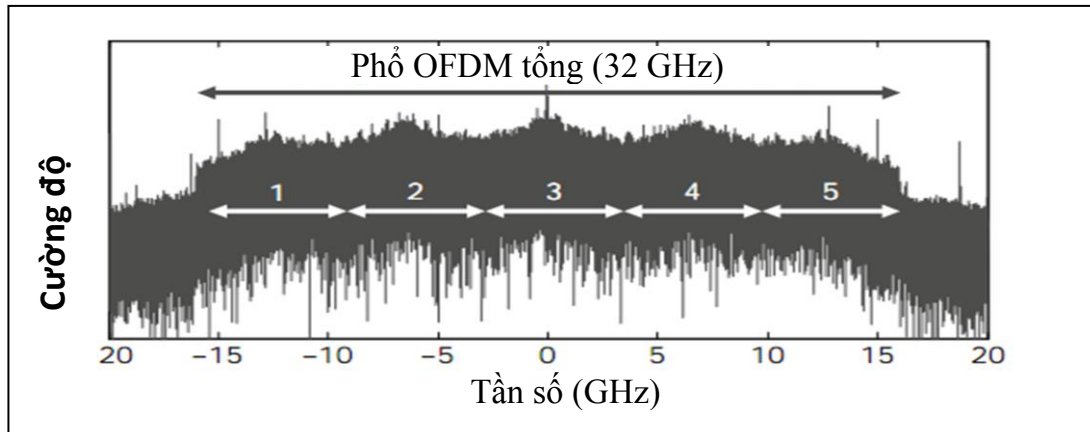
3.6.2.2. Sợi quang kết nối

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.

3.6.2.3. Bộ thu OBM-OFDM

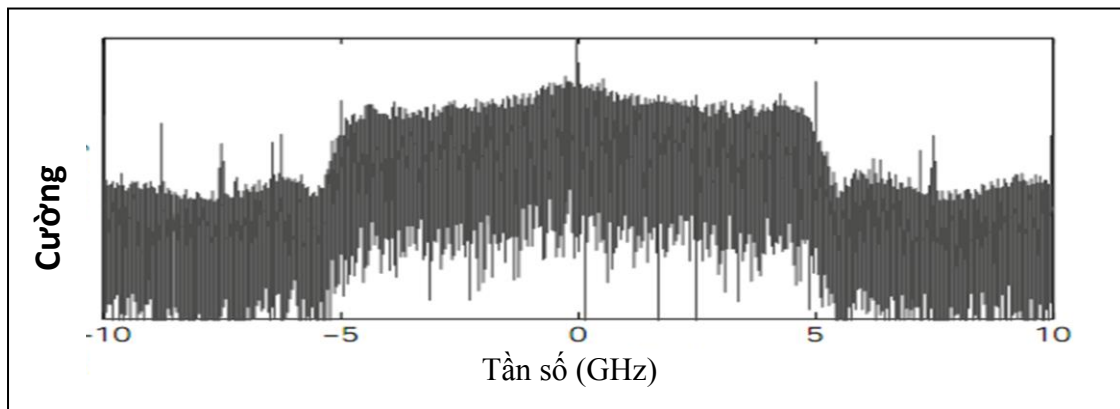
Tín hiệu từ đầu ra bộ phát OBM-OFDM qua đường quang kết nối đến đầu vào bộ thu OBM-OFDM. Bộ thu OBM-OFDM là một bộ thu coherent đa phân cực bao gồm một bộ tách chùm tia phân cực, một laser nội, hai bộ ghép lai và 4 bộ thu cân bằng.

Phổ OFDM tổng gồm 5 băng được chỉ ra như trên hình 3.8. Toàn bộ băng thông cho 100 Gb/s tín hiệu OFDM chỉ là 32 GHz.



Hình 3.8. 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 3.9.



Hình 3.9. Phổ RF ở bộ thu sau 3.8 GHz lọc anti-alias.

3.6.3. 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 (tức là $m=1$ ở công thức 3.1) quang phổ của tín hiệu tổng 100 Gb/s sau khi truyền dẫn 1000 km được chỉ ra ở hình

3.8 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 3.9. 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 3.9 có thể dễ dàng lấy mẫu ở tốc độ 20 GS/s (tốc độ thấp hơn 10 Gb/s).

3.7. Khả năng ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho VNPT

3.7.1. Nhu cầu phát triển các dịch vụ của VNPT

Ngày nay, thế giới cũng như ở Việt Nam đang bước sang kỷ nguyên của nền kinh tế tri thức, trong đó thông tin là động lực thúc đẩy sự phát triển của xã hội. Do đó, nhu cầu truyền thông ngày càng lớn với nhiều dịch vụ mới băng rộng/tốc độ cao, các dịch vụ tích hợp và các dịch vụ đa phương tiện trong đời sống kinh tế – xã hội của từng quốc gia cũng như kết nối toàn cầu.

3.7.1.1 Phát triển các dịch vụ băng rộng

Để đáp ứng được vai trò động lực thúc đẩy sự phát triển của kỷ nguyên thông tin, VNPT, là một trong những nhà cung cấp hạ tầng truyền thông lớn nhất của nước ta, cần phải phát triển hạ tầng truyền thông với khả năng linh hoạt cao, tốc độ truyền dẫn lớn/ băng thông rộng, dung lượng lớn, đa dịch vụ đáp ứng mọi nhu cầu trao đổi thông tin của xã hội. Do đó, các dịch vụ băng rộng/ tốc độ cao và chất lượng cao ngày càng phát triển.

Một số các dịch vụ băng rộng hay tốc độ cao điển hình như sau: truyền hình qua Internet, thương mại điện tử, các ứng dụng y tế từ xa, chăm sóc sức khỏe và nghiên cứu y học, chính phủ điện tử, nghiên cứu và giảng dạy từ xa, thư viện kỹ thuật số, ứng dụng trong khoa học vũ trụ, thiên văn học và vật lý học, các ứng dụng nâng cao khả năng nhận thức của con người.

3.7.1.2. Tích hợp dịch vụ thoại và dữ liệu

Với những ưu điểm vượt trội của chuyển mạch gói, VNPT cần phải phát triển mạng mạng truyền tải chuyển mạch gói thay thế dần các hệ thống chuyển mạch kênh lỗi thời. Trên cơ sở đó, VNPT cần phải phát triển mạng Internet dung lượng lớn, tốc

độ cao cho phép hội tụ giữa số liệu và thoại với kiến trúc mạng tích hợp các mạng thoại và dữ liệu riêng rẽ thành một mạng duy nhất hội tụ cả thoại và dữ liệu.

Mạng hội tụ băng rộng ra đời cần phải đáp ứng các yêu cầu về QoS bảo đảm thời gian thực để cho phép cung cấp dịch vụ thoại chất lượng cao và cho phép mở rộng từ thoại truyền thống sang đa phương tiện. Mạng hội tụ băng rộng cần có băng thông mở rộng gấp 100 – 1000 lần so với PSTN truyền thống, không chỉ cung cấp các dịch vụ nhanh chóng mà còn cung cấp các dịch vụ hội tụ cố định và di động.

Một vấn đề nữa là nguyên nhân cho hội tụ thoại và dữ liệu đó là tính kinh tế. các nhà cung cấp dịch vụ đều muốn giảm chi phí đầu tư cũng như vận hành mạng. Việc đưa vào mạng các phần tử công nghệ mới hiện đại chất lượng cao cũng như việc phát triển các công nghệ mạng lõi cho phép cung cấp cả thoại và dữ liệu sẽ làm giảm các chi phí về công nghệ.

3.7.1.3. Tích hợp dịch vụ truyền thông quảng bá và viễn thông

Với xu hướng hội tụ về cung cấp dịch vụ vào một thiết bị đầu cuối trên cơ sở mạng băng rộng sử dụng IPv6, người sử dụng có thể xem trực tiếp các chương trình truyền hình quảng bá trên máy điện thoại di động hoặc tại ti vi thông qua mạng cáp CATV, qua hộp settop-box thu các chương trình DMB hoặc qua chính máy tính/PDA đời mới.

Truyền hình di động đã được đưa ra trên thế giới. Cả thế giới mạng và truyền hình sẽ nằm gọn trong túi người sử dụng. Ngày càng có nhiều chương trình truyền hình có thể download được về và xem trên thiết bị liên lạc cá nhân. Thậm chí một số show còn công chiếu trên di động trước cả truyền hình. Cùng với việc ngày càng nhiều nhà cung cấp dịch vụ tham gia vào sân chơi này, cước phí của truyền hình di động sẽ giảm dần. Công nghệ Wi-Fi phát triển mạnh cũng sẽ giúp kéo giá thành thấp xuống.

Đối với Internet TV (truyền hình phân phát qua Internet), có khả năng cung cấp đồng thời nhiều dịch vụ cho một hộ gia đình (các thành viên khác nhau trong gia đình phải có cơ hội xem các chương trình khác nhau cùng một lúc cũng như có khả năng khi lại chương trình trên VCR), do đó dung lượng cần thiết sẽ là 40-60 Mbit/s cho HDTV và 8-12 Mbit/s cho SDTV. Ngoài ra, dịch vụ Web-TV (các trang World-Wide-Web được phân phát qua TV quảng bá) sẽ cùng phát triển với TV số.

Trên cơ sở đó, VNPT cần phải phát triển mạng hội tụ băng rộng để các khách hàng có thể sử dụng các dịch vụ như :

- Thông tin liên lạc thấy hình thông qua máy điện thoại cố định: các máy điện thoại tại nhà riêng và công sở sẽ được phát triển sang kiểu mới. Chỉ cần chạm vào màn hình máy tính/ti vi trong khi đang xem ti vi hoặc đang làm việc trên máy tính để thực hiện cuộc gọi. Người bị gọi sẽ xuất hiện trên màn hình để trả lời bạn.
- 3 trong 1: không cần thiết phải có 3 thiết bị ti vi, Internet và máy điện thoại riêng lẻ. Người sử dụng chỉ cần 1 máy PDA để xem ti vi, lướt web hoặc thực hiện cuộc gọi.
- Dịch vụ ở phòng ngủ: Máy tính và điện thoại trong phòng ngủ sẽ được tích hợp vào ti vi. Với ti vi người sử dụng có thể thực hiện cuộc gọi thấy hình hay lướt web hay xem ti vi cùng một lúc. Do vậy, mọi người có thể dành nhiều thời gian hơn cho gia đình và sẽ dễ dàng giám sát hoạt động của con cái từ xa. Toàn gia đình có thể lướt trên mạng và chuyện trò với nhau.
- Không có sự khác biệt giữa thông tin cố định và di động: ti vi và điện thoại sẽ hợp nhất thành một thiết bị. Khách hàng có thể thực hiện cuộc gọi thấy hình hay lướt web trong khi đang xem ti vi. WiBro sẽ huỷ bỏ hàng rào ngăn cách giữa kết nối Internet cố định và vô tuyến.
- Mọi thứ đều được nối mạng: người sử dụng sẽ không cần máy tính tốc độ cao với bộ nhớ lớn nữa. Chỉ cần có một số chức năng cơ bản trên máy tính vì có thể xem phim trên Internet mà không phải download hay cất giữ file trên máy tính riêng nữa. Người sử dụng cũng có thể dễ dàng truy nhập tất cả các file trên mạng vì mọi thứ đều được lưu trữ trên mạng.

3.7.1.4. Các dịch vụ đa phương tiện (Multimedia Services)

Các dịch vụ đa phương tiện là các dịch vụ thông tin sử dụng các máy tính để thể hiện văn bản, đồ họa, hình ảnh-video và âm thanh theo cách tích hợp trong truyền thông.

Dịch vụ này cho phép nhiều người dùng có thể tương tác với nhau qua thoại, video và hoặc dữ liệu. Nó vừa cho phép vừa nói chuyện vừa hiển thị hình ảnh người đối thoại, vừa hiển thị thông tin.

Các thiết bị đầu cuối sử dụng trong các dịch vụ đa phương tiện đòi hỏi các đầu cuối đa phương tiện, tức là phải có khả năng hỗ trợ hình ảnh, âm thanh, dạng ký tự tích hợp. Để đáp ứng các dịch vụ đa phương tiện cần phải có:

- Dải thông và chất lượng đường truyền.
- Cổng đa phương tiện Media gateway.
- Chuyển mạch mềm, router.
- Thiết bị điều khiển đa điểm.

3.7.1.5. Phát triển các dịch vụ tương tác (Interactiveservices)

Các dịch vụ tương tác quan trọng đã sử dụng trong hiện tại và phát triển mạnh tương lai sẽ là:

- Dịch vụ đàm thoại thời gian thực
- Tương tác đa phương tiện kiểu điểm-điểm
- Thông tin tương tác (Collaborative interactive communication)
- Game tương tác
- Các ứng dụng trực tuyến,

Để đáp ứng khả năng truyền tải các dịch vụ băng rộng, tích hợp, đa phương tiện, VNPT đã và đang phát triển hạ tầng truyền dẫn với khả năng linh hoạt cao, tốc độ truyền dẫn lớn, băng thông rộng, dung lượng lớn và đa dịch vụ. Tuy nhiên, hạ tầng truyền dẫn hiện tại của VNPT vẫn còn nhiều hạn chế, đặc biệt để đáp ứng cho nhu cầu truyền tải của tương lai.

3.7.2. *Tình hình triển khai các dịch vụ ở VNPT*

Hiện nay, VNPT vẫn còn triển khai nhiều các dịch vụ băng hẹp và đã triển khai một số dịch vụ băng rộng.

Các dịch vụ băng hẹp cơ bản đang được triển khai ở VNPT, chủ yếu là các dịch vụ thoại truyền thống, thoại VoIP, truyền dữ liệu tốc độ thấp, Frame Relay, Internet tốc độ thấp, thuê kênh, các dịch vụ bổ sung, các dịch vụ giá trị gia tăng.

Các dịch vụ băng rộng hay tốc độ cao đã được triển khai ở VNPT theo một số hướng cơ bản sau:

a) Các dịch vụ băng rộng

Các dịch vụ băng rộng đã được triển khai ở VNPT tập trung vào nhóm các dịch vụ truy nhập Internet băng rộng (HSI): Là nhóm các dịch vụ truy nhập Internet trên

mạng của VNPT sử dụng các công nghệ xDSL, FTTx, Leased line để triển khai cung cấp. Các dịch vụ internet băng rộng của VNPT chủ yếu là các dịch vụ MegaVNN, Fiber VNN và VNN Internet trực tiếp. Trong đó:

- Dịch vụ MegaVNN: dịch vụ truy nhập internet tốc độ cao qua cáp đồng xDSL
- Dịch vụ FiberVNN: dịch vụ truy nhập internet tốc độ cao sử dụng cáp quang
- Dịch vụ MyTV: dịch vụ truyền hình tương tác qua mạng internet
- Dịch vụ MegaWan: dịch vụ cung cấp mạng riêng ảo (VPN) trên nền mạng cáp đồng xDSL và cáp quang để kết nối các mạng máy tính tại các vị trí địa lý khác nhau.
- Dịch vụ Metronet: (dịch vụ truyền dữ liệu thông qua cổng Ethernet của mạng MAN-E công nghệ IP/MPLS và trên cáp sợi quang.

b) Các dịch vụ đa phương tiện

Hiện nay các dịch vụ đa phương tiện chưa được sử dụng ở VNPT, người sử dụng mới chỉ download các file multimedia, các file nhạc mp3 và phim ảnh... Tuy nhiên, các dịch vụ này cũng đã chiếm được nhiều sự quan tâm của người sử dụng. VNPT cung cấp một số dịch vụ multimedia khác như video trực tuyến, multimedia chat và multimedia conference đã được VNPT cung cấp.

c) Các dịch vụ NGN trên mạng viễn thông của VNPT

Hiện nay, VNPT cung cấp và kinh doanh viễn thông đang cung cấp các dịch vụ mạng thế hệ sau NGN. Từ 2006, NGN đã triển khai xuống các tổng đài và truyền dẫn nội hạt, từ 2010 mạng viễn thông đã chuyển hoàn toàn sang NGN.

Các dịch vụ sẽ triển khai trên mạng NGN là:

- Dịch vụ Freephone (1800)
- Kết nối liên mạng máy tính qua VPN: dịch vụ MegaWAN
- Dịch vụ số gọi duy nhất - Global Virtual Private Number
- Gọi điện thoại từ trang Web – WebdialPage
- Dịch vụ IP/VPN qua hệ thống NGN bằng hình thức cung cấp trực tiếp.
- Dịch vụ hội thoại từ xa qua truyền hình (video conference),...

Một số nhận xét đánh giá:

Hiện nay, VNPT vẫn còn triển khai nhiều các dịch vụ băng hẹp, còn tình hình triển khai các dịch vụ băng rộng chưa thật nhiều.

Tuy nhiên, 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.

3.7.3. Hiện trạng mạng truyền tải của VNPT

Trong phần này, luận văn chỉ tìm hiểu hiện trạng mạng truyền tải quang của VNPT để xem xét khả năng ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM quang.

Mạng truyền tải của VNPT được xây dựng dựa trên mô hình kiến trúc phân lớp, gồm 3 lớp:

1. Mạng truyền dẫn quốc tế,
2. Mạng đường trục và
3. Mạng mạng truyền tải của các VNPT tỉnh/thành phố

Sau đây luận văn sẽ tóm tắt hiện trạng của các lớp mạng này.

3.7.3.1. Mạng truyền tải quốc tế của VNPT

Mạng truyền tải quốc tế của VNPT gồm các tuyến sau:

❖ Hệ thống cáp quang biển SMW-3 cập bờ tại Đà Nẵng

Tuyến cáp quang biển SMW-3 cập bờ tại Đà Nẵng, sử dụng công nghệ ghép bước sóng quang (DWDM) có tổng dung lượng hệ thống 320 Gbps nối liền Việt Nam với 39 nước trên thế giới, từ Nhật Bản, Hàn Quốc, Trung Quốc, Đông Nam Á tới Châu Âu.

❖ Hệ thống cáp quang biển SMW-3 cập bờ tại Vũng Tàu

Tuyến cáp quang biển AAG, trạm cập bờ tại Vũng Tàu, tổng dung lượng 29,5 Tbps, là tuyến cáp đầu tiên kết nối giữa Đông Nam Á và Hoa Kỳ, sử dụng công nghệ DWDM, kết nối lưu lượng giữa Việt Nam với các nước vùng lãnh thổ Malaysia, Singapore, Thái Lan, Brunei, Hồng Kông, Philippines và Hoa Kỳ.

❖ Hệ thống cáp quang biển APG cập bờ tại Đà Nẵng

Tuyến cáp quang biển APG cập bờ tại Đà Nẵng, kết nối lưu lượng giữa các nước và vùng lãnh thổ trong khu vực Châu Á - Thái Bình Dương gồm Trung Quốc, Hồng Kông, Nhật Bản, Hàn Quốc, Malaysia, Đài Loan, Thailand, Việt Nam và Singapore. Tuyến APG cập bờ tại Đà Nẵng với dung lượng thiết kế lên tới 43,8 Tbps.

❖ **Hệ thống cáp quang biển APG cập bờ tại Vũng Tàu**

Tuyến cáp quang APG cập bờ tại Vũng Tàu, kết nối Hồng Kông, Việt Nam, Campuchia, Malaysia, Singapore, Thái Lan, Ấn Độ, Pakistan, Oman, các tiểu vương quốc Ả Rập, Qatar, Yemen, Djibouti, Saudi Arabia, Ai Cập, Hy Lạp, Ý và Pháp. Dung lượng thiết kế là 40 Terabytes và công nghệ 100Gpbs/bước sóng, dung lượng của VNPT đang sử dụng là 298 Gbps.

❖ **Hệ thống cáp quang quốc tế trên đất liền**

Hệ thống cáp quang đất liền qua biên giới kết nối trực tiếp với nhiều đối tác khác nhau thuộc các quốc gia Trung Quốc, Lào, Campuchia gồm hệ thống cáp quang biên giới Việt Nam - Trung Quốc với tổng dung lượng trên 120 Gbps; Hệ thống cáp quang Việt Nam - Lào và Việt Nam - Campuchia với tổng dung lượng hơn 200 Gbps.

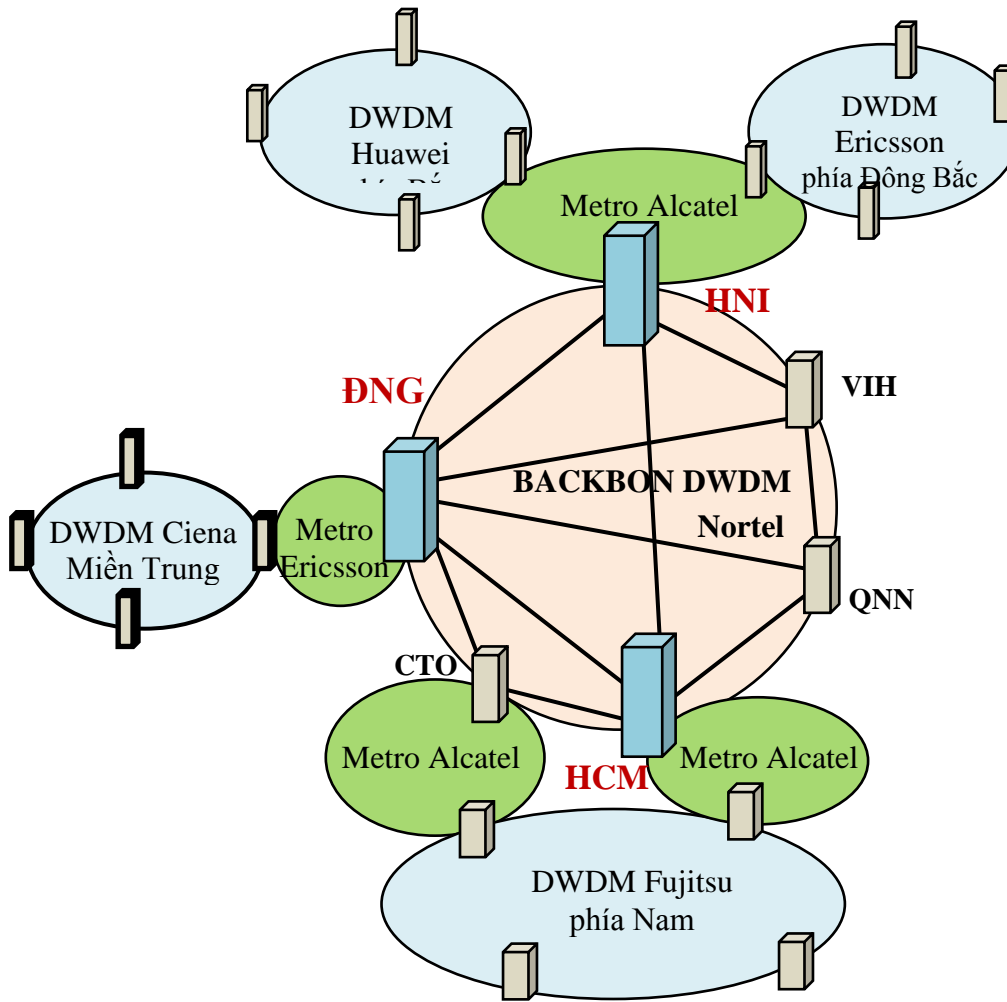
3.7.3.2. Mạng truyền tải đường trục của VNPT

3.7.3.2.1. Mô hình cấu trúc mạng truyền tải đường trục của VNPT

Mạng truyền tải đường trục của VNPT bao gồm:

- Mạng đường trục Backbon Bắc-Nam,
- Các mạng vùng và
- Các mạng metro (mạng trung kế) kết nối giữa mạng đường trục Backbon Bắc-Nam với các mạng vùng,

Mô hình mạng truyền tải đường trục của VNPT được chỉ ra ở hình 3.10



Hình 3.10. 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

3.7.3.2.2. Mạng truyền tải đường trực Backbon Bắc-Nam của VNPT

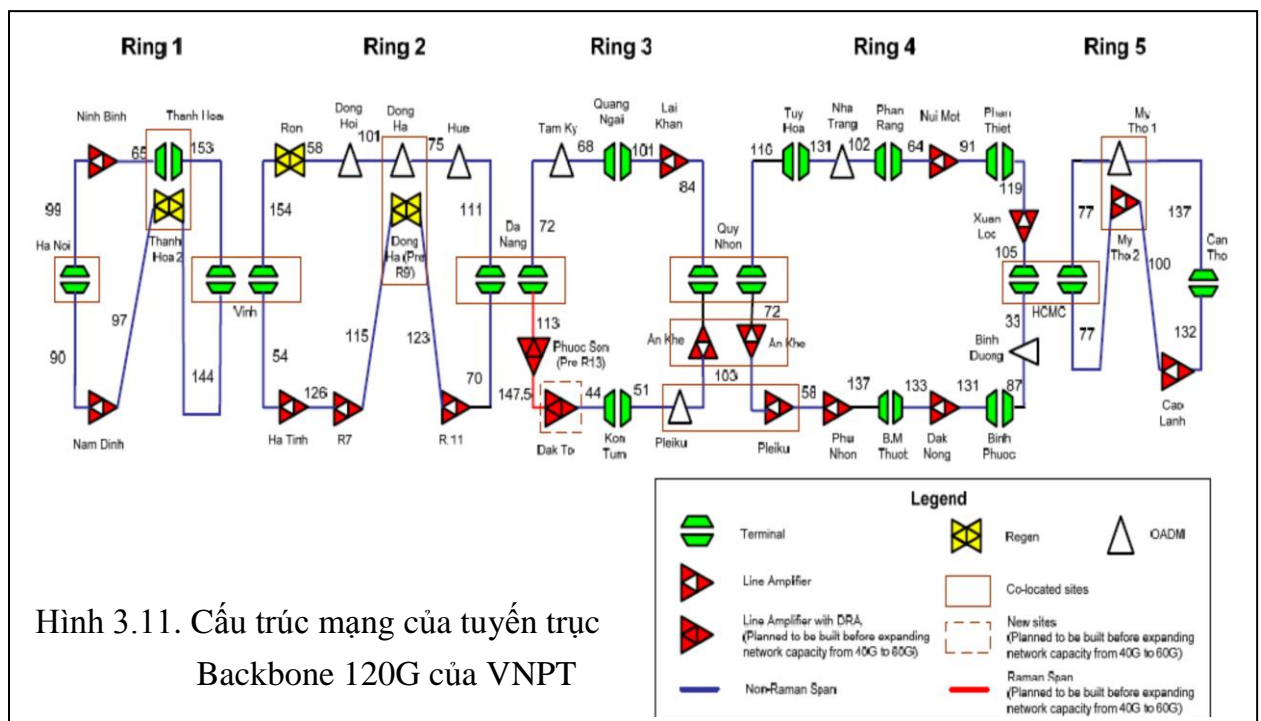
Hiện nay, mạng truyền tải đường trực Backbon Bắc-Nam của VNPT là mạng truyền tải quang ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) có dung lượng tổng là 360 Gb/s với cấu hình Ring. Các nút chính của mạng truyền tải đường trực này là Hà Nội (HNI), Đà Nẵng (ĐNG), thành phố Hồ Chí Minh (HCM), Vinh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

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 3.11.



Hình 3.11. Cấu trúc mạng của tuyến trục Backbone 120G của VNPT

Hình 3.11. Cấu trúc mạng của tuyến trục Backbone 120G của VNPT

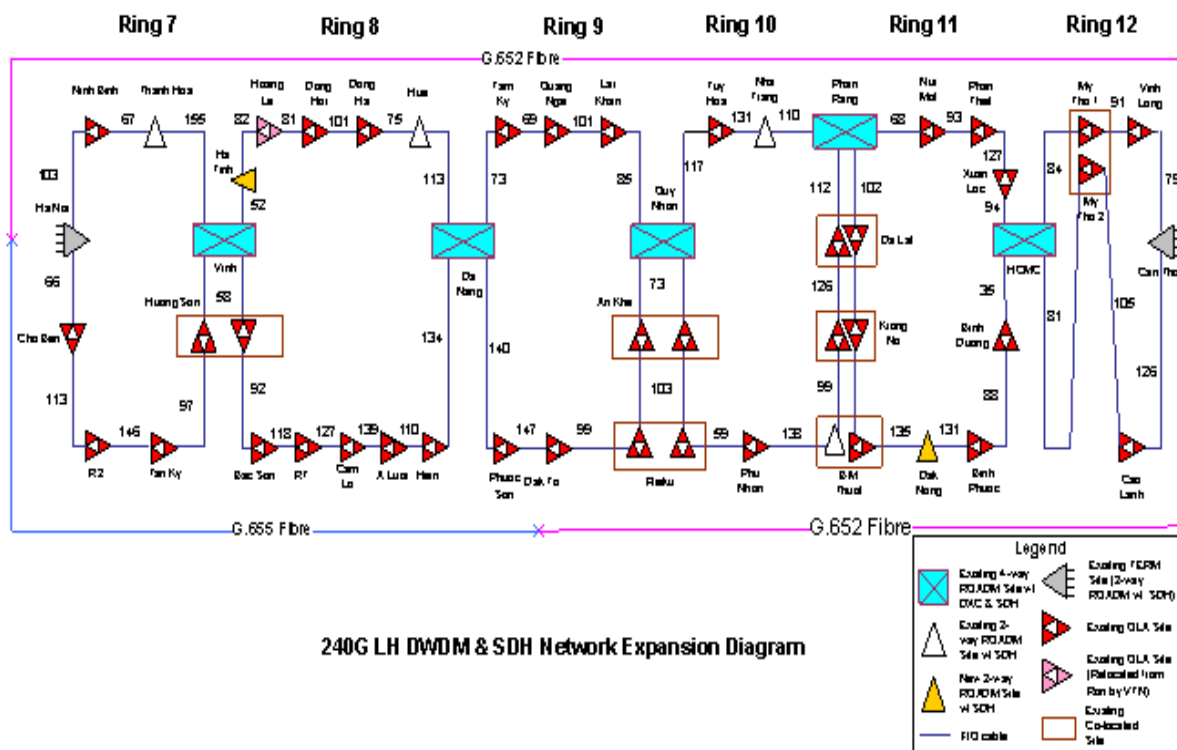
Hệ thống thiết bị bao gồm hai lớp: lớp thiết bị DWDM (thực hiện chức năng ghép/tách các bước sóng, bù suy hao công suất, bù tán sắc, tối ưu OSNR); lớp thiết bị SDH (thực hiện chức năng ghép các luồng tín hiệu bậc thấp lên các luồng tín hiệu SDH bậc cao, chuyển mạch bảo vệ thiết bị, chuyển mạch bảo vệ 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.

2. Hệ thống DWDM đường trục Bắc-Nam 360G 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 3.12).



Hình 3.12. 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.

3.7.3.2.3. Các mạng truyền tải vùng của VNPT

Hiện nay, mạng truyền tải vùng của VNPT gồm 4 mạng truyền tải vùng tương ứng với các khu vực của Việt Nam. Các mạng truyền tải vùng cho các khu vực của VNPT đều là các mạng truyền tải quang ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) có cấu hình Ring hoặc Mesh. Các nút chính của các mạng truyền tải vùng cho các khu vực kết nối với mạng truyền tải đường trục Backbone Bắc-Nam của VNPT tương ứng là Hà Nội (HNI), Đà Nẵng (ĐNG), thành phố Hồ Chí Minh (HCM), Vinh (VIH), Quy Nhơn (QNN) và Cần Thơ (CTO).

1. Mạng truyền tải vùng phía Bắc

Mạng truyền tải vùng phía Bắc của VNPT là mạng truyền tải quang ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) với bước sóng 10cGb/s, có tổng dung lượng là 380Gb/s và cấu hình Mesh, sử dụng công nghệ của Huawei với các công nghệ chuyển mạch quang tự động ASON/GMPLS và công nghệ ghép kênh SDH. Nút mạng truyền đường trục của mạng này là Hà Nội (HNI).

2. Mạng truyền tải vùng phía Đông Bắc

Mạng truyền tải vùng phía Đông Bắc của VNPT là mạng truyền tải quang ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) với bước sóng 40Gb/s có tổng dung lượng là 320Gb/s và có cấu hình Mesh, sử dụng công nghệ của Nortel với các công nghệ chuyển mạch quang tự động ASON và công nghệ ghép kênh SDH. Nút mạng truyền đường trục của mạng này là Hà Nội (HNI).

3. Mạng truyền tải vùng Miền Trung

Mạng truyền tải vùng miền Trung của VNPT là mạng truyền tải quang ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) với bước sóng 40Gb/s có tổng dung lượng là 320Gb/s và có cấu hình Mesh, sử dụng công nghệ của Ciena (Nortel) với các công nghệ chuyển mạch bước sóng quang tự động WSON lớp WDM. Nút mạng truyền đường trục của mạng này là Đà Nẵng (ĐNG).

4. Mạng truyền tải vùng phía Nam

Mạng truyền tải vùng phía Nam của VNPT là mạng truyền tải quang ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) với bước sóng là 10G/s và 40Gb/s, có tổng dung lượng là 600Gb/s và có cấu hình Mesh, sử dụng công nghệ của Fujitsu với các công nghệ chuyển mạch nhãn quang đa giao thức GMPLS. Có 2 nút mạng truyền

đường trục của mạng này là thành phố Hồ Chí Minh Hà Nội (HCM) và Cần Thơ (CTO).

3.7.3.2.4. Các mạng trung kế đường trục của VNPT

Để kết nối mạng đường trục Backbon Bắc-Nam với các mạng vùng của VNPT, VNPT sử dụng 3 mạng metro (mạng trung kế) tại 4 nút chính của mạng truyền tải đường trục là Hà Nội (HNI), Đà Nẵng (ĐNG), thành phố Hồ Chí Minh (HCM) và Cần Thơ (CTO).

1. Mạng Metro trung kế nút HNI với mạng vùng phía Bắc và mạng vùng phía Đông Bắc

Mạng Metro trung kế nút HNI và mạng vùng phía Bắc và mạng vùng phía Đông Bắc của VNPT là mạng truyền tải quang ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) có tổng dung lượng là 630Gb/s và cấu hình Ring, sử dụng công nghệ của Huawei. Nút mạng truyền đường trục của mạng này là Hà Nội (HNI).

2. Mạng Metro trung kế nút HNI và mạng vùng Miền Trung

Mạng Metro trung kế nút ĐNG và mạng vùng miền Trung của VNPT là mạng truyền tải quang ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) có tổng dung lượng là 500Gb/s và có cấu hình Ring, sử dụng công nghệ của Alcatel. Nút mạng truyền đường trục của mạng này là Đà Nẵng (ĐNG).

3. Mạng Metro trung kế nút HCM và mạng vùng phía Nam

Mạng Metro trung kế nút HCM và mạng vùng phía Nam của VNPT là mạng truyền tải quang băng rộng ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) có tổng dung lượng là 640Gb/s và có cấu hình Ring, sử dụng công nghệ của Alcatel. Nút mạng truyền đường trục của mạng này là thành phố Hồ Chí Minh (HCM).

4. Mạng Metro trung kế nút CTO và mạng vùng phía Nam

Mạng Metro trung kế nút CTO và mạng vùng phía Nam của VNPT là mạng truyền tải quang ghép kênh quang theo bước sóng mật độ cao (DWDM) có tổng dung lượng là 150Gb/s và có cấu hình Mesh, sử dụng công nghệ của Alcatel. Nút mạng truyền đường trục của mạng này là Cần Thơ (CTO).

3.7.3.3. 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.

3.7.3.3.1. Các 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.

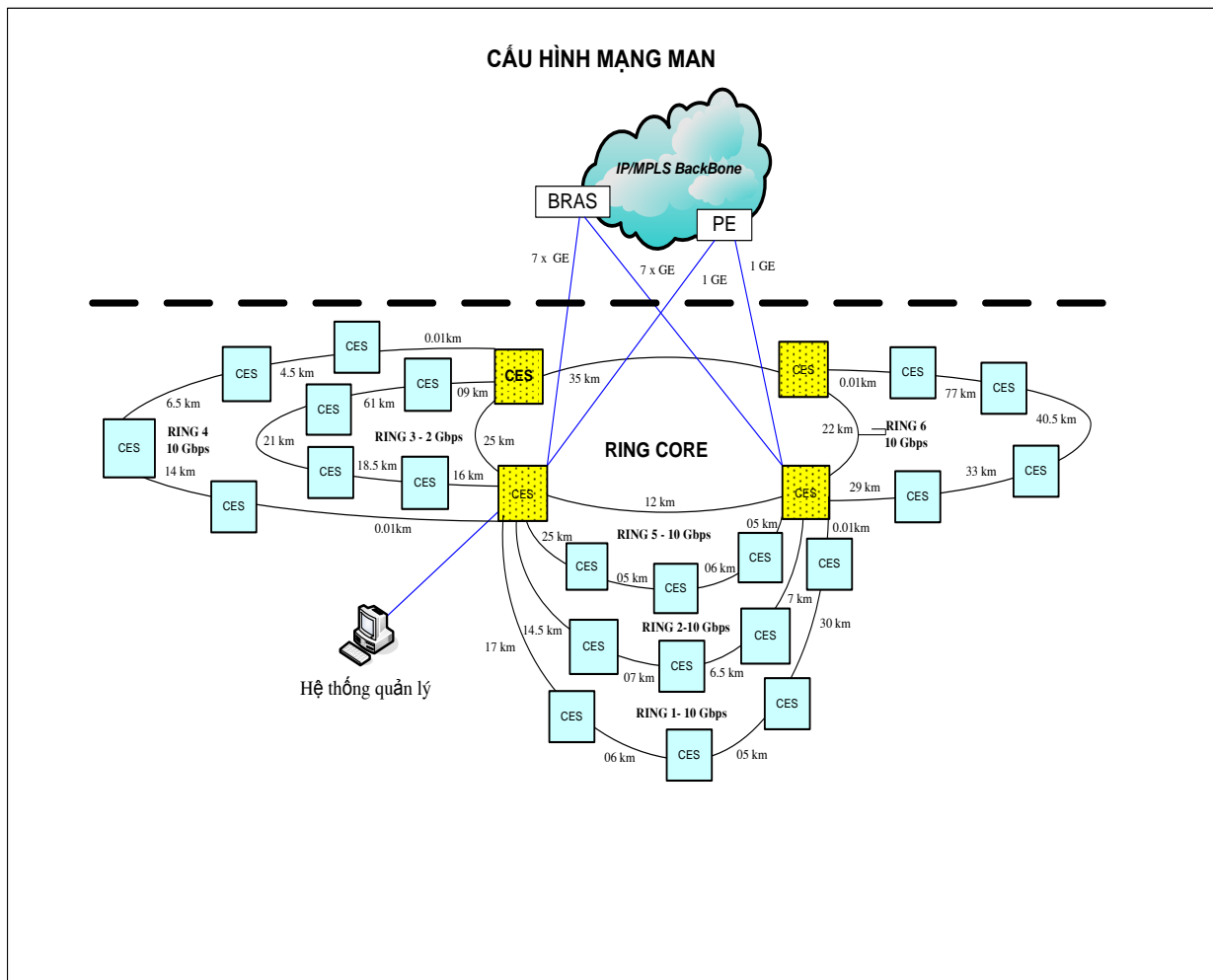
❖ Cấu trúc các mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố

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 được chỉ ra ở hình 3.13.

Từ hình 3.13 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 3.13. Mô hình mạng MAN-E cho một tỉnh/thành phố của VNPT

3.7.3.3.2. 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.

Một số nhận xét đánh giá:

Mạng mạng truyền tải của VNPT hiện nay là mạng truyền tải có băng tương đối rộng và dung lượng tương đối lớn có thể đáp ứng được nhu cầu truyền tải các dịch vụ hiện tại của xã hội (như đã chỉ ra ở phần 3.7.2)

Tuy nhiên, 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.

Do đó, VNPT cần phải có giải pháp phát triển mạng truyền tải với 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, đó là ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền tải của VNPT.

3.7.4. Khả năng ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền tải 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.

3.7.4.1. Ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng đường trục của VNPT

Như phần trên đã trình bày mạng truyền tải đường trục băng rộng của VNPT bao gồm 3 lớp mạng: Mạng đường trục Backbon Bắc-Nam, các mạng vùng và các mạng

metro (mạng trung kế) kết nối giữa mạng đường trục Backbone Bắc-Nam với các mạng vùng. Cả 3 lớp mạng này đều là mạng truyền tải quang ghép kênh theo bước sóng mật độ cao DWDM. Do đó, việc ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho 3 lớp mạng này, về nguyên tắc, là hoàn toàn tương tự nhau.

Do đó, luận văn sẽ trình bày phương án chung cho cả 3 lớp mạng: Mạng đường trục Backbone Bắc-Nam, các mạng vùng và các mạng metro (mạng trung kế) kết nối giữa mạng đường trục Backbone Bắc-Nam với các mạng vùng với tiêu chí “ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng đường trục của VNPT”.

Để đạt được dung lượng 240 Gb/s, hệ thống hệ thống DWDM tuyến trục Backbone 240G của Nortel đã sử dụng 8 bước sóng 10Gb/s và 4 bước sóng 40Gb/s. Như vậy hệ thống này đã sử dụng tổng cộng 12 bước sóng. Tức là sử dụng 12 băng con tương ứng với 12 tần số trung tâm tương ứng với 12 bước sóng trung tâm của các băng con.

Để đạt được dung lượng 240 Gb/s, hệ thống hệ thống DWDM tuyến trục Backbone 240G của Nortel đã sử dụng 4 bước sóng 40Gb/s. Tức là tốc độ đầu vào của hệ thống là 40 Gb/s. Khi đó, khả năng xuyên nhiễu giữa các xung quang (ISI) trong quá trình truyền dẫn trong sợi quang là khá lớn (do tán sắc của sợi quang gây ra). Nếu sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho tuyến trục của VNPT với tín hiệu đầu vào có tốc độ cao thì tốc độ tín hiệu truyền dẫn trong sợi quang vẫn có thể rất nhỏ, do sử dụng công nghệ OFDM. Giả sử tín hiệu đầu vào có tốc 40 Gb/s và sử dụng OFDM với 8 tần số trực giao, thì tốc độ tín hiệu truyền dẫn trong sợi quang chỉ là $40 \text{ Gb/s} : 8 = 5 \text{ Gb/s}$. Khi đó, khả năng xuyên nhiễu giữa các xung quang (ISI) trong quá trình truyền dẫn trong sợi quang do tán sắc của sợi quang gây ra là rất nhỏ. Do đó, chất lượng truyền dẫn của hệ thống CO-OFDM-WDM sẽ rất cao.

Nếu tín hiệu truyền dẫn trong sợi quang có tốc độ là 10 Gb/s và vẫn sử dụng OFDM với 8 tần số trực giao, thì tín hiệu đầu vào hệ thống sẽ có tốc độ $10 \text{ Gb/s} \times 8 = 80 \text{ Gb/s}$. Khi đó, dung lượng tổng của hệ thống CO-OFDM-WDM sẽ tăng lên rất nhiều và khả năng xuyên nhiễu giữa các xung quang (ISI) trong quá trình truyền dẫn trong sợi quang do tán sắc của sợi quang gây ra là khá nhỏ. Do đó, ta sẽ có hệ thống CO-OFDM-WDM với dung lượng lớn và chất lượng truyền dẫn của hệ thống CO-OFDM-WDM cao.

Để đạt được dung lượng 240 Gb/s, hệ thống DWDM tuyến trực Backbone 240G của Nortel đã sử dụng 12 bước sóng, tức là sử dụng 12 băng con tương ứng với 12 tần số trung tâm tương ứng với 12 bước sóng trung tâm của các băng con. Giả sử, hệ thống sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng đường trực của VNPT cũng sử dụng 12 băng con tương ứng với 12 tần số trung tâm tương ứng với 12 bước sóng trung tâm của các băng con như của hệ thống DWDM tuyến trực Backbone 240G của Nortel, thì dung lượng tổng của hệ thống sẽ là $40 \text{ Gb/s} \times 12 = 480 \text{ Gb/s}$. Do đó, dung lượng tổng của hệ thống CO-OFDM-WDM sẽ gấp 2 lần dung lượng tổng của hệ thống DWDM tuyến trực Backbone của Nortel. Tuy nhiên, tùy theo nhu cầu truyền dẫn trong tương lai ta có thể sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng đường trực của VNPT với nhiều băng con hơn nữa tương ứng với nhiều tần số trung tâm cũng như nhiều bước sóng trung tâm của các băng con. Khi đó, dung lượng tổng của hệ thống CO-OFDM-WDM sẽ tăng lên nhiều lần hơn nữa.

Trong hệ thống DWDM tuyến trực Backbone 240G của Nortel, người ta có sử dụng các bộ xen/rẽ để tách các luồng quang cho một số VNPT tỉnh/thành phố. Khi sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho tuyến trực của VNPT, thì việc tách các luồng quang cho một số VNPT tỉnh/thành phố từ luồng OFDM quang tổng sẽ được thực hiện thông qua sử dụng một bộ lọc “Anti-alias” và để ghép các luồng quang từ một số VNPT tỉnh/thành phố vào luồng OFDM quang tổng được thực hiện thông qua các bộ ghép OFDM quang như chỉ ra ở phần 3.7.4.1.

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

3.7.4.2. Ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền tải quang của các VNPT tỉnh/thành phố

Như phần 3.7.3.3 đã trình bày: mạng truyền tải quang của các VNPT tỉnh/thành phố của VNPT bao gồm: Mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố và các mạng truy nhập quang của các VNPT tỉnh/thành phố.

Do đó, việc ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền tải quang của các VNPT tỉnh/thành phố sẽ thực hiện ở 2 lớp mạng này.

3.7.4.2.1. 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.

Từ cấu trúc hiện tại của các mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố (như đã chỉ ra ở phần 3.7.3.3.1), thì các mạng này là các mạng truyền tải lõi (mạng đường trục) của các VNPT tỉnh/thành phố. Do đó, việc sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho các mạng MAN-E của các VNPT tỉnh/thành phố cũng hoàn toàn tương tự như việc sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền tải đường trục của VNPT đã trình bày ở phần 3.7.4.1.

3.7.4.2.2. Ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho các mạng truy nhập quang của VNPT

Như đã chỉ ra ở phần 3.7.3.3.2, mạng truy nhập quang hiện nay của VNPT chủ yếu sử dụng công nghệ GPON.

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 (như đã chỉ ra ở phần 3.7.1) của xã hội.

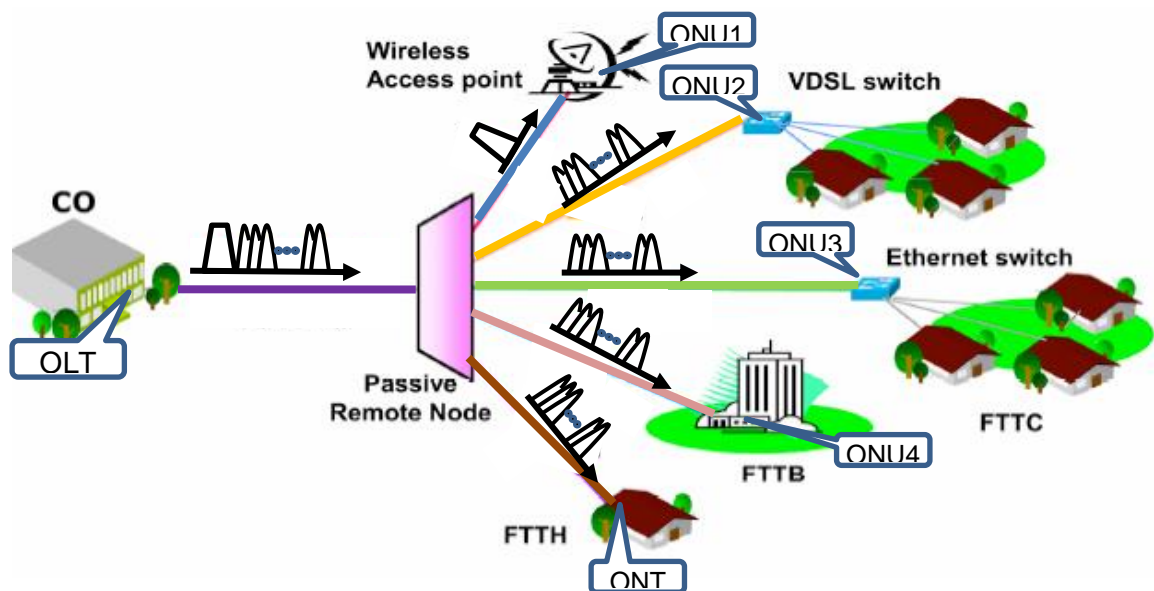
Từ sự phát triển công nghệ truyền tải quang đã được trình bày công nghệ OFDM quang ở chương 1, công nghệ CO-OFDM ở chương 2 và công nghệ CO-OFDM-WDM quang ở chương 3, em xin kiến nghị việc phát triển các mạng truy nhập cho VNPT trong tương lai tùy theo nhu cầu sử dụng các dịch vụ băng rộng/tốc độ cao, dịch vụ hội

tụ, dịch vụ đa phương tiện và các dịch vụ tương tác của xã hội mà các mạng truy nhập quang của VNPT sử dụng các công nghệ sau:

- Công nghệ OFDM-PON là sự sử dụng công nghệ OFDM trong mạng PON.
- Công nghệ CO-OFDM-PON là sử dụng kết hợp công nghệ quang Coherent với OFDM trong mạng PON.
- Công nghệ OBM-OFDM-PON là sử dụng công nghệ CO-OFDM với công nghệ WDM trong mạng WDM PON.

❖ Ứng dụng công nghệ OFDM trong PON

Ứng dụng công nghệ OFDM trong PON, các nhà nghiên cứu đưa ra mô hình OFDM-PON được minh họa trong hình 3.14. 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 3.14. 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.

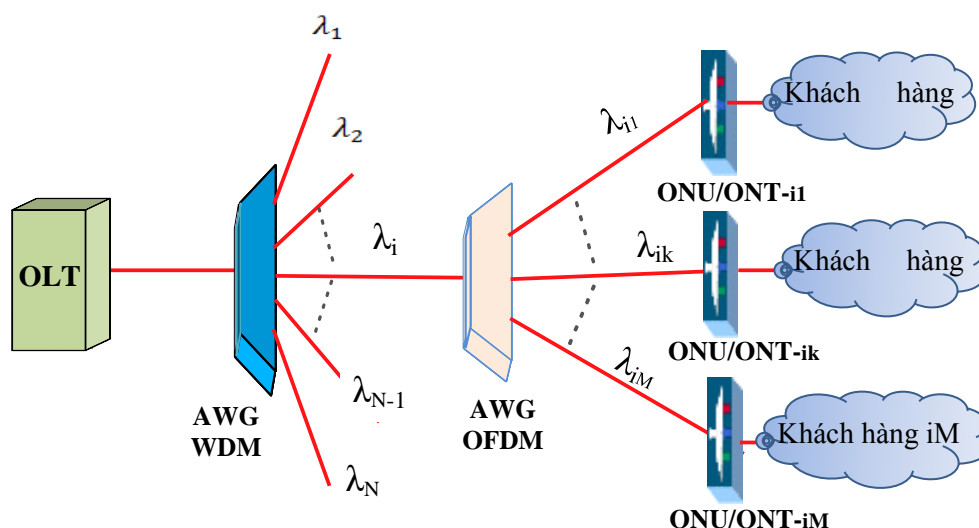
Bộ biến đổi điện-quang sử dụng công nghệ điều chế ngoài và bộ tách sóng quang Coherent quang đã được trình bày trong phần 2.2.4 của chương 2, tương ứng với các bộ phát quang CO-OFDM và các bộ thu quang CO-OFDM được trình bày ở phần 2.3.2 chương 2.

❖ 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 3.15. 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.

Các ONU/ONT tương ứng nhận được các sóng mang con tương ứng thực hiện tách sóng quang và viễn 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 3.15. Mô hình CO-OFDM-WDM 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.

Kết luận chương 3

Trong chương 3, luận văn đã nghiên cứu về công nghệ Coherent- OFDM-OFDM quang (CO-OFDM-WDM) với các nội dung: nguyên lý ghép băng trực giao của hệ thống CO-OFDM - WDM quang, giải pháp thực thi ghép băng trực giao của hệ thống CO-OFDM - WDM quang, hệ thống truyền dẫn CO-OFDM-WDM quang, đánh giá hiệu quả hệ thống truyền dẫn CO-OFDM-WDM quang và khả năng ứng dụng cho mạng VNPT.

Việc ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền tải quang của VNPT được trình bày ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng đường trục và ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM mạng mạng truyền tải của các VNPT tỉnh/thành phố của VNPT.

Việc sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng đường trục và mạng mạng truyền tải của các VNPT tỉnh/thành phố của VNPT 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.

KẾT LUẬN

Một giải pháp công nghệ viễn thông có khả năng truyền tải tốc độ siêu cao khả năng đáp ứng được nhu cầu trao đổi thông tin của xã hội hiện tại, đó là công nghệ thông tin quang Coherent ghép kênh theo tần số trực giao (CO-OFDM). Trong đó, giải pháp công nghệ thông tin quang CO-OFDM không chỉ có khả năng truyền tải tốc độ cao, mà còn có dung lượng lớn. Đó là giải pháp công nghệ truyền tải thông tin của xã hội hiện tại và trong tương lai.

Chính vì vậy, em đã chọn đề tài đồ án tốt nghiệp của mình là: **“Nghiên cứu công nghệ thông tin quang Coherent ghép kênh theo tần số trực giao (CO- OFDM)”** để nắm bắt công nghệ và nghiên cứu áp dụng trong tương lai.

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

- Chương 1: Công nghệ OFDM quang với các nội dung chính sau khái niệm OFDM, Tính trực giao trong OFDM, mô hình và nguyên lý của kỹ thuật OFDM, công nghệ OFDM quang: mô hình hệ thống truyền dẫn OFDM quang, các khối chức năng, sự khác biệt của hệ thống OFDM quang và hệ thống OFDM vô tuyến và phân loại hệ thống OFDM quang: CO-OFDM, DD-OFDM.

Chương 2: 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 Coheren, 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: Công nghệ Coherent- OFDM-OFDM quang (CO-OFDM-WDM) với các nội dung: nguyên lý ghép băng trực giao của hệ thống CO-OFDM - WDM quang, giải pháp thực thi ghép băng trực giao của hệ thống CO-OFDM - WDM quang, hệ thống truyền dẫn CO-OFDM-WDM quang, đánh giá hiệu quả hệ thống truyền dẫn CO-OFDM-WDM quang và khả năng ứng dụng cho mạng VNPT. Trong đó, luận văn tập trung vào ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng truyền tải quang của VNPT bao gồm: ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng đường trục và ứng dụng công nghệ CO-OFDM-WDM mạng mạng truyền tải của các VNPT tỉnh/thành phố của VNPT.

Việc sử dụng công nghệ CO-OFDM-WDM cho mạng đường trục và mạng mạng truyền tải của các VNPT tỉnh/thành phố của VNPT 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.

Đánh giá chung, em đã hoàn thành được các nội dung của đề tài theo đề cương đã được duyệt. Tuy nhiên, với năng lực và thời gian hạn chế nên bản đồ án tốt nghiệp của em không thể tránh khỏi những khiếm khuyết. Em mong muốn nhận được sự chỉ bảo, góp ý chân thành của các Thầy Cô giáo cùng các bạn để hoàn thiện.

Một lần nữa em xin chân thành cảm ơn thầy TS. Hoàng Văn Võ và các thầy cô trong khoa Sau Đại học của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông đã giúp đỡ, chỉ bảo tận tình cho em và giúp em hoàn thành tốt luận văn này!

Em xin chân thành cảm ơn!

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đỗ Việt Em Kỹ thuật thông tin quang 2, Học viện CN BC VT, 2007
- [2] Hoàng Văn Võ Bài giảng ” Thông tin quang”, Viện Đại học Mở Hà Nội
- [3] Arthur James Lowery Orthogonal-frequency-division multiplexing for dispersion compensation of long-haul optical systems” Department of Electrical & Computer Systems Engineering, Monash University, Clayton, 3800, Australia, 2006.
- [4] Dixon BJ, Pollard Orthogonal frequency-division multiplexing in wireless communication systems with multimode fiber feeds. IEEE Trans Microwave Theory Tech 2001;49(8):1404–9.
- [5] Ma Y, Shieh W, Yang 100 Gb/s Coherent Optical OFDM Reception Using Q Orthogonal Band Multiflexing, Opt. Fiber Commun. Conf 16, pp. 6378-86. 2008.
- [6] Markus Mayrock, OFDM in Optical Long-Haul Transmission, 2007
- [7] Fasshauer, H. : Optische Nachrichtensysteme: Eigenschaften und Projektierung. Dr Alfred Verlag Heidelberg, 1984.
- [8] Prasad R. OFDM for wireless communications systems. Boston: Artech House; 2004.
- [9] Shieh W. Coherent optical MIMO-OFDM for optical fibre communication systems. Berlin, Germany. In: Eur. Conf. Opt. Commun., Berlin, Germany; 2007