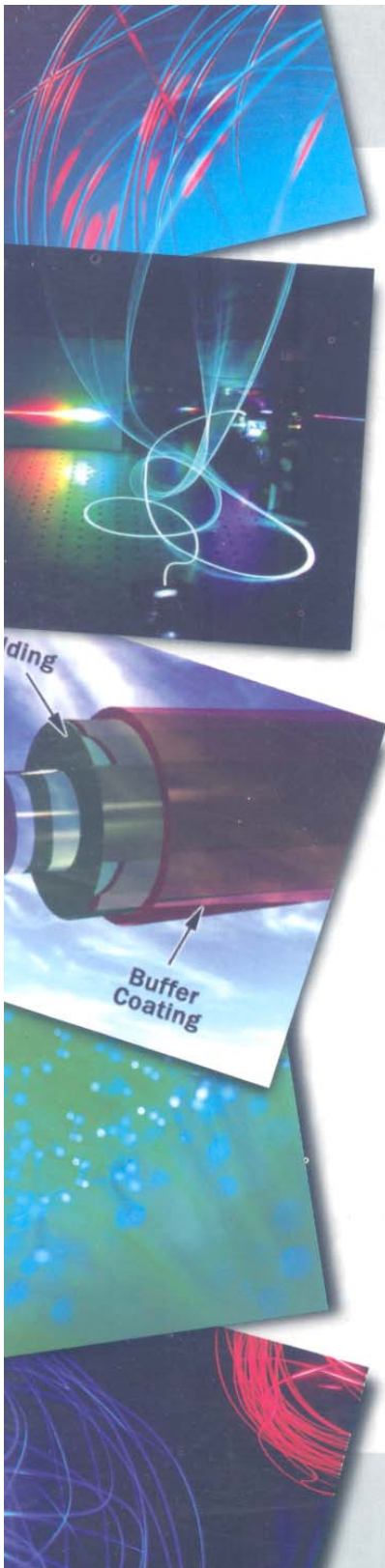


TS. VŨ VĂN SAN

HỆ THỐNG thông tin quang

TẬP 1



NHÀ XUẤT BẢN BƯU ĐIỆN

TS. VŨ VĂN SAN

HỆ THỐNG
thông
tin
quang
TẬP 1

NHÀ XUẤT BẢN BƯU ĐIỆN
Hà Nội - 2008

Tài liệu chỉ xem được một số trang đầu. Vui lòng download file gốc để xem toàn bộ các trang

TaiLieu.vn

Mã số: HV 01 HM 08

LỜI NÓI ĐẦU

Hiện nay, thông tin quang đã trở thành tuyến truyền dẫn trọng yếu trên mạng lưới viễn thông. Để đáp ứng nhu cầu truyền tải do bùng nổ thông tin, mạng truyền dẫn cần phải phát triển cả về quy mô và cấu trúc mạng. Do vậy để xây dựng được các hệ thống thông tin quang chúng ta cần phải tìm hiểu đầy đủ về hệ thống thông tin quang.

Nhằm giới thiệu một cách tổng quan và chi tiết về hệ thống thông tin quang và các vấn đề liên quan đến hệ thống thông tin quang, NXB Bưu điện xuất bộ sách (02 tập) "**Hệ thống thông tin quang**" do TS. Vũ Văn San biên soạn và GS.TSKH. Đỗ Trung Tá hiệu đính giới thiệu đến bạn đọc.

Bộ sách gồm 11 chương chia thành 02 tập:

Tập 1: gồm các chương từ chương 1 đến chương 6, giới thiệu cụ thể về lịch sử ra đời thông tin quang, quá trình phát triển hệ thống thông tin quang, các thành phần chính của hệ thống thông tin quang, và tác giả đi sâu vào phân tích các thành phần của hệ thống thông tin quang như: sợi và cáp quang, thiết bị phát quang, thiết bị thu quang. Ngoài ra tác giả giới thiệu cách thiết kế hệ thống thông tin quang mang lại hiệu suất cao. Bên cạnh đó chương 6 giới thiệu về hệ thống thông tin quang coherent, là một hệ thống tối ưu: như hoạt động, các dạng điều chế, phương pháp giải điều chế, tỉ số lỗi BER, các yếu tố ảnh hưởng đến độ nhạy thu, hiện trạng và ưu điểm của hệ thống này.

Tập 2: gồm các chương từ chương 7 đến chương 11 giới thiệu về hệ thống thông tin quang nhiều kênh, khuếch đại sợi quang pha tạp Erbium, kỹ thuật bù tán sắc và mạng thông tin quang. Phần cuối có chương hệ thống thông tin quang Soliton.

Bộ sách là tài liệu tham khảo hữu ích cho những chuyên gia, kỹ sư, kỹ thuật viên để có thêm những thông tin hữu hiệu trong việc hoạch định phát triển mạng, tính toán thiết kế cấu hình tuyến và lựa chọn áp dụng những tiến bộ kỹ thuật, công nghệ mới về thông tin quang. Ngoài ra bộ sách cũng giúp cho sinh viên đại học và học viên sau đại học chuyên ngành Điện tử - Viễn thông muốn tìm hiểu một cách hệ thống về thông tin quang đang được sử dụng hiệu quả trên mạng lưới viễn thông Việt Nam cũng như trên thế giới.

Nhà xuất bản rất mong nhận được ý kiến đóng góp của bạn đọc. Mọi ý kiến góp ý xin gửi về **Nhà xuất bản Bưu điện** - 18 Nguyễn Du, Hà Nội hoặc gửi trực tiếp cho tác giả theo địa chỉ email: vvsan@mic.gov.vn.

Trân trọng giới thiệu./.

Hà Nội, tháng 01 năm 2008

NHÀ XUẤT BẢN BƯU ĐIỆN

LỜI GIỚI THIỆU

Hơn 10 năm đổi mới, cơ sở hạ tầng viễn thông và công nghệ thông tin của Việt Nam có những bước phát triển đột phá góp phần rất quan trọng vào việc thúc đẩy quá trình phát triển kinh tế của đất nước.

Từ một mạng lưới viễn thông với công nghệ analog lạc hậu, Viễn thông Việt Nam đã tiến hành một cuộc cách mạng khoa học và công nghệ chưa từng có, đi thẳng vào hiện đại, bằng chiến lược tăng tốc để chuyển toàn bộ mạng lưới cũ sang mạng mới linh hoạt với kỹ thuật số tiên tiến, đáp ứng mọi nhu cầu về dịch vụ viễn thông cho đất nước. Mạng viễn thông Việt Nam đã có mạng đường trục cáp sợi quang hiện đại kết nối với các mạng cáp quang quốc tế trên biển và lục địa và hệ thống các đài vệ tinh để liên lạc với các quốc gia trên thế giới.

Trong sự phát triển của mạng viễn thông Việt Nam, thông tin quang đã có những đóng góp đầu tiên và rất quan trọng về cả quy mô phát triển cũng như nâng cao chất lượng toàn mạng. Hệ thống thông tin bằng cáp sợi quang là hệ thống truyền dẫn với kỹ thuật và công nghệ tiên tiến nhất, cho phép tạo ra các tuyến truyền dẫn dài và dung lượng rất lớn, nó tiềm tàng khả năng truyền tải lưu lượng băng rộng và cung cấp cùng lúc nhiều dịch vụ linh hoạt, chất lượng cao. Vì vậy, thông tin quang sẽ đáp ứng nhu cầu phát triển mạng truyền dẫn trong thời gian tới đây, đặc biệt là phục vụ cho phát triển đột phá Internet tốc độ cao và các dịch vụ IP.

Các hệ thống thông tin quang đang khai thác hiện nay mới chỉ tận dụng được một phần nhỏ khả năng của nó. Công nghệ thông tin sợi quang vẫn đang tiếp tục phát triển rất mạnh ở trình độ cao và vì thế cần tiếp tục tìm hiểu, khai phá và có giải pháp áp dụng nó có hiệu quả hơn trên mạng lưới.

Là một cán bộ nghiên cứu với nhiều năm chuyên sâu về lĩnh vực thông tin quang, với kiến thức và kết quả thu được trong quá trình làm việc tại Viện Khoa học kỹ thuật Bưu điện thuộc Học viện công nghệ Bưu chính Viễn thông của mình, Tiến sĩ Vũ Văn Sơn đã tâm huyết biên soạn bộ sách "*Hệ thống thông tin quang*" này. Bộ sách gồm hai tập có nội dung phong phú mang tính hiện đại tiếp cận với công nghệ cáp sợi quang, hệ thống thông tin quang, và cấu trúc mạng quang. Các phần nội dung được dẫn dắt và phân tích khá sâu sắc theo hướng gắn liền với thực tiễn. Bộ sách sẽ rất bổ ích cho người làm công tác kỹ thuật chuyên ngành để có thêm những thông tin hữu hiệu trong việc hoạch định phát triển mạng, tính toán thiết kế cấu hình tuyến và lựa chọn áp dụng

Chương 1

GIỚI THIỆU

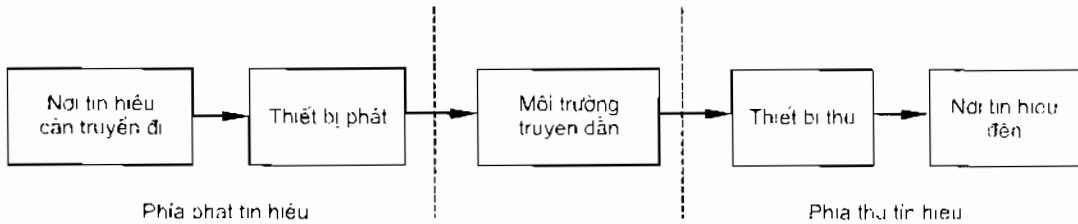
Hệ thống thông tin được hiểu một cách đơn giản là hệ thống để truyền thông tin từ nơi này đến nơi khác. Khoảng cách giữa các nơi có thể từ vài trăm mét tới hàng trăm kilômét, và thậm trí tới hàng chục ngàn kilômét, chẳng hạn như là cự ly cần thông tin qua các đại dương. Thông tin có thể được truyền thông qua các sóng điện với các dải tần số khác nhau từ vài mê-ga-héc (MHz) tới hàng trăm tê-ra-héc (THz). Còn thông tin quang được thực hiện trên hệ thống sử dụng tần số sóng mang cao trong vùng nhìn thấy hoặc gần hồng ngoại của phổ sóng điện từ. *Hệ thống thông tin quang sợi* là hệ thống thông tin bằng sóng ánh sáng, và sử dụng các sợi quang để truyền thông tin. Các hệ thống này được phát triển rất nhanh và đang được ứng dụng rộng rãi trên các mạng truyền dẫn từ những năm 1980. Trong những năm tới và tương lai, các *hệ thống thông tin quang sợi* - hay thường gọi là các hệ thống thông tin quang - vẫn là các hệ thống thông tin chủ đạo. Chúng còn tiềm tàng khả năng rất lớn trong việc hiện đại hoá các mạng lưới viễn thông trên thế giới.

1.1. KHÁI QUÁT VỀ LỊCH SỬ RA ĐỜI THÔNG TIN QUANG

Nói về lịch sử thông tin quang, ta không thể không nói tới việc sử dụng thông tin bằng ánh sáng của nhân loại trước đây vốn là một trong những hình thức thông tin sớm nhất. Ngay từ xa xưa để thông tin cho nhau, con người đã biết sử dụng ánh sáng để báo hiệu. Qua thời gian dài của lịch sử phát triển nhân loại, các hình thức thông tin phong phú dần và ngày càng được phát triển thành những hệ thống thông tin hiện đại như ngày nay, giúp cho mọi nơi trên thế giới có thể liên lạc được với nhau một cách thuận lợi và nhanh chóng. Ở trình độ phát triển cao về thông tin như hiện nay, các hệ thống thông tin quang đã nổi lên và là các hệ thống thông tin tiên tiến bậc nhất, nó đã được triển khai nhanh trên mạng lưới viễn thông các nước trên thế giới với đủ mọi cấu hình linh hoạt, ở các tốc độ và cự ly truyền dẫn phong phú, bảo đảm chất lượng dịch vụ viễn thông tốt nhất.

Thông tin quang có tổ chức hệ thống cũng tương tự như các hệ thống thông tin khác, vì thế mà thành phần cơ bản nhất của hệ thống thông tin quang luôn tuân thủ theo một hệ thống thông tin chung như hình 1.1. Đây là nguyên lý thông tin mà loài người đã sử dụng ngay từ thời kỳ khai sinh ra các hình thức thông tin. Trong sơ đồ này, tín

hiệu cần truyền đi sẽ được phát vào môi trường truyền dẫn tương ứng, và ở đầu thu sẽ thu lại tín hiệu cần truyền. Như vậy, tín hiệu đã được thông tin từ nơi gửi tín hiệu đi tới nơi nhận tín hiệu đến. Đối với hệ thống thông tin quang thì môi trường truyền dẫn ở đây chính là sợi dẫn quang, nó thực hiện truyền ánh sáng mang tín hiệu thông tin từ phía phát tới phía thu. Để khảo sát một cách có hệ thống về thông tin quang, ta hãy xem xét một cách khái quát bối cảnh hình thành các hệ thống thông tin nói chung, từ đó sẽ thấy được hệ thống thông tin quang ra đời như thế nào.



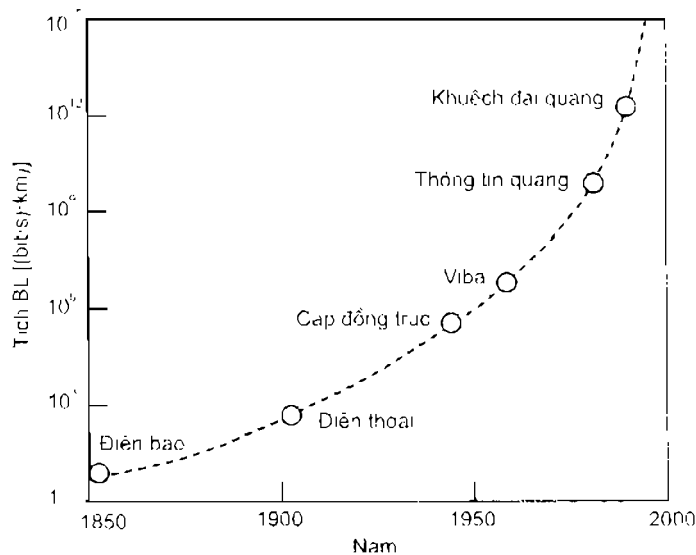
Hình 1.1: Các thành phần cơ bản của một hệ thống thông tin

Cho tới nay, đã có rất nhiều các hệ thống thông tin dưới các hình thức đa dạng. Các hệ thống thông tin này được gán cho các tên gọi nhất định theo môi trường truyền dẫn và đôi khi theo cá tính chất dịch vụ của hệ thống. Thông thường thì các hệ thống sau đều là sự kế thừa từ các hệ thống trước. Các hệ thống mới được cải tiến và hoàn thiện hơn các hệ thống trước nó, chúng thường có cự ly xa hơn, tốc độ cao hơn, độ linh hoạt và chất lượng hệ thống cũng được cải thiện nhằm thỏa mãn yêu cầu của con người. Sau thời kỳ phát minh ra máy điện báo của Samuel F.B. Morse năm 1838, dịch vụ điện báo thương mại đầu tiên được đưa vào khai thác năm 1844 và dần dần tăng lên với số lượng đáng kể. Năm 1878, người ta đã tiến hành đặt các cáp kim loại để nối với tổng đài điện thoại đầu tiên tại New Haven bang Connecticut. Giai đoạn sử dụng cáp kim loại để truyền dẫn tín hiệu kéo dài cho tới năm 1887, khi mà Heinrich Hertz phát minh ra sự phát xạ sóng điện từ có bước sóng dài, và Guglielmo Marconi thực hiện màn trình diễn vô tuyến vào năm 1895.

Những năm tiếp sau và trong thế kỷ 20, mạng lưới điện thoại đã được phát triển rộng khắp trên thế giới, và liên tiếp xuất hiện những công nghệ tiên tiến trong việc thiết kế các hệ thống thông tin điện. Trước tiên phải kể đến sự cống hiến của các loại cáp đồng trục đã làm tăng dung lượng đáng kể. Năm 1940, hệ thống cáp đồng trục đầu tiên đã được đặt có băng tần 3 MHz để truyền dung lượng 300 kênh thoại hoặc một kênh truyền hình. Các hệ thống sau đó có băng tần 10 MHz, nhưng đây cũng là giới hạn của hệ thống này vì suy hao cáp bị phụ thuộc vào tần số. Giới hạn này nhanh chóng được giải quyết do sự xuất hiện của các hệ thống thông tin vô tuyến.

Xu hướng sử dụng phổ sóng điện từ để biến đổi tín hiệu truyền dẫn tăng lên, ở đây tín hiệu mang thông tin thường được chồng lên một sóng điện từ khác có dạng hình sin,

mà người ta thường gọi là sóng mang, trước khi đưa vào đường truyền. Ở phía thu, tín hiệu chứa thông tin sẽ được tách ra khỏi sóng mang và được xử lý lại theo yêu cầu. Lượng thông tin được phát đi có liên quan trực tiếp tới băng tần mà sóng mang hoạt động, như vậy tăng tần số sóng mang tức là tăng băng tần truyền dẫn, lúc đó sẽ có được dung lượng thông tin lớn hơn. Xuất phát từ đây, các hệ thống thông tin điện có được cơ hội phát triển và sau này lần lượt ra đời các lĩnh vực truyền hình, radar, các tuyến viba. Hệ thống thông tin viba đầu tiên hoạt động với tần số sóng mang 4 GHz đã được đưa vào khai thác năm 1948, và sau đó các hệ thống có băng tần cao hơn tiếp tục được lắp đặt trên mạng lưới. Cùng với sự phát triển của các hệ thống viba, các hệ thống cáp đồng trục cũng được lắp đặt để hoạt động với tốc độ bit ~ 100 Mbit/s. Năm 1975, hệ thống cáp đồng trục tiên tiến nhất có tốc độ bit là 274 Mbit/s. Các hệ thống có tốc độ bit cao như vậy có cự ly khoảng lặp rất ngắn (xấp xỉ 1 km) và giá thành rất đắt. Các hệ thống viba có tốc độ bit tương tự có thể cho cự ly xa hơn, nhưng cũng bị hạn chế bởi tần số sóng mang. Nhìn chung, hình ảnh cố ý nghĩa khi đề cập tới khả năng của hệ thống thông tin là tích tốc độ bit - cự ly BL (Bit rate - Distance), trong đó B là tốc độ bit và L là cự ly khoảng lặp. Hình 1.2 mô tả tích BL tăng lên theo tính hiện đại của công nghệ thông tin trong một thế kỷ rưỡi vừa qua. Ta nhận thấy rằng trong một nửa thế kỷ 20, tích BL tăng mạnh theo cấp thập phân nếu sử dụng sóng ánh sáng làm sóng mang.

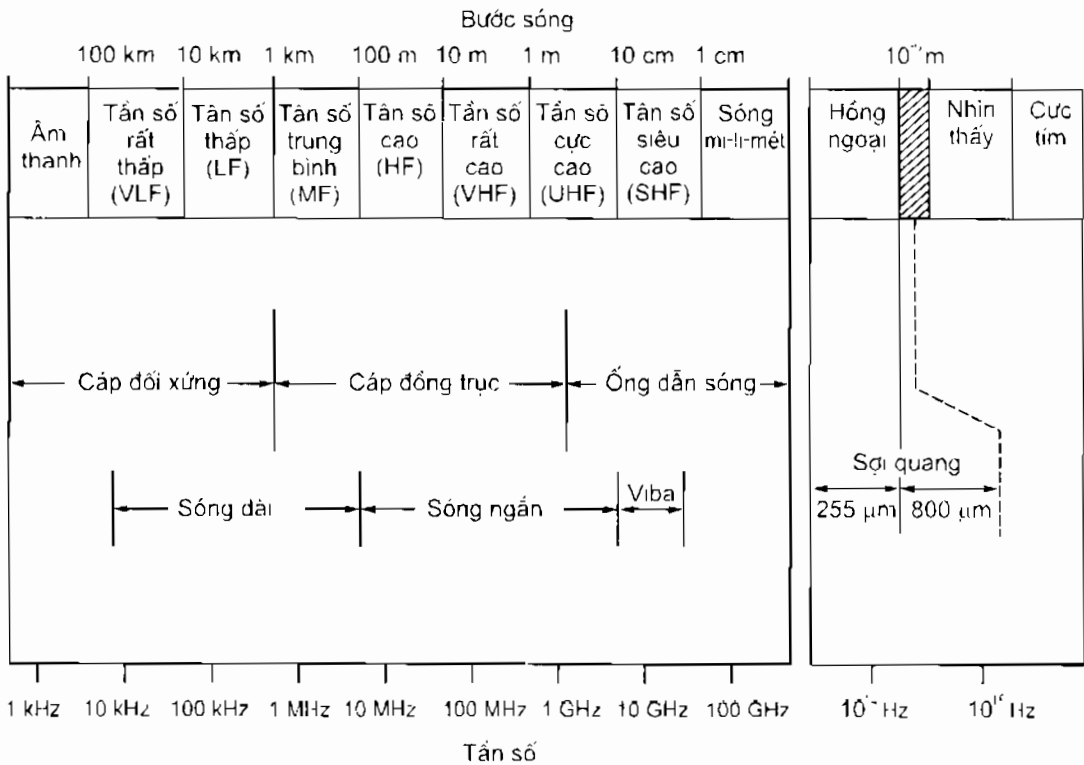


Hình 1.2: Sự tăng của tích tốc độ bit - cự ly

Để thấy được quá trình sử dụng phổ sóng điện từ cho các hệ thống thông tin điện, có thể khảo sát bảng phân cấp phổ sóng điện từ như được đưa ra ở bảng 1.1, trong đó môi trường truyền dẫn được thể hiện rất phong phú từ các đôi dây kim loại cho tới ống dẫn sóng, từ sóng dài cho tới sóng viba, đã cho phép thực hiện mọi dịch vụ. Một điều rất quan trọng được thể hiện trong bảng này mà ta cần lưu ý là vùng tần số ánh sáng.

Trong vùng này, rất dễ dàng có thể nhận thấy được dải băng phù hợp dưới dạng bước sóng, thay cho việc nhận biết tần số như trong vùng sóng vô tuyến. Phổ của ánh sáng trải từ 50 nm (cực tím) cho tới khoảng 100 μm (hồng ngoại), phổ ánh sáng nhìn thấy nằm trong dải từ 400 nm cho tới 700 nm. Cũng giống phổ tần số sóng vô tuyến, có hai lớp phân cấp môi trường truyền dẫn có thể được dùng là kênh truyền dẫn trong khí quyển và kênh truyền dẫn trong ống dẫn sóng.

Bảng 1.1: Phân cấp theo phổ sóng điện từ cho các hệ thống thông tin



Vào năm 1960, việc phát minh ra Laser để làm nguồn phát quang đã mở ra một thời kỳ mới có ý nghĩa rất to lớn trong lịch sử của kỹ thuật thông tin sử dụng dải tần số ánh sáng. Sự kiện này gây ra một sự cuốn hút đặc biệt các nhà nghiên cứu hàng đầu về thông tin trên thế giới, và tạo ra các ý tưởng tập trung tìm tòi giải pháp sử dụng ánh sáng Laser cho thông tin quang. Đó là điểm xuất phát của sự ra đời các hệ thống thông tin quang.

1.2. QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG

Như ở trên đã nhắc đến ở trên rằng các hệ thống thông tin quang chỉ khác về nguyên lý so với các hệ thống viba ở dải tần số sóng mang dùng để mang thông tin. Theo lý thuyết thì hệ thống thông tin quang có thể cho phép con người thực hiện thông tin với lượng kênh rất lớn vượt gấp nhiều lần các hệ thống viba hiện có. Hàng loạt các

thực nghiệm về thông tin trên bầu khí quyển được tiến hành ngay sau đó. Một số kết quả ban đầu đã thu được nhưng tiếc rằng chi phí cho các công việc này quá tốn kém. Kinh phí tập trung cho việc sản xuất các thành phần thiết bị để vượt qua được các cản trở do điều kiện thời tiết (mưa, sương mù, tuyết, bụi, v.v...) gây ra là con số khổng lồ. Chính vì vậy, chưa thu hút được sự chú ý của mạng lưới.

Một hướng nghiên cứu khác cùng thời gian này đã tạo được hệ thống truyền tin đáng tin cậy hơn hướng thông tin qua khí quyển ở trên là sự phát minh ra sợi dẫn quang. Các sợi dẫn quang lần đầu tiên được chế tạo mặc dù có suy hao rất lớn (tối khoảng 1000 dB/km), đã tạo ra được một mô hình hệ thống có xu hướng linh hoạt hơn. Tiếp sau đó, năm 1966 Kao, Hockman và Werts đã nhận thấy rằng suy hao của sợi dẫn quang chủ yếu là do tạp chất có trong vật liệu chế tạo sợi gây ra. Họ nhận định rằng có thể làm giảm được suy hao của sợi và chắc chắn sẽ tồn tại một điểm nào đó trong dải bước sóng truyền dẫn quang có suy hao nhỏ. Những nhận định này đã được sáng tỏ khi Kapron, Keck và Maurer chế tạo thành công sợi thủy tinh có suy hao 20 dB/km tại Corning Glass vào năm 1970. Suy hao này nhỏ hơn nhiều so với thời điểm đầu chế tạo sợi và cho phép tạo ra cự ly truyền dẫn tương đương với các hệ thống truyền dẫn bằng cáp đồng. Với sự cố gắng không ngừng của các nhà nghiên cứu, các sợi dẫn quang có suy hao nhỏ hơn lần lượt ra đời. Cho tới đầu những năm 1980, các hệ thống thông tin trên sợi dẫn quang đã được phổ biến khá rộng với vùng bước sóng làm việc 1300 nm. Cho tới nay, sợi dẫn quang đã đạt tới mức suy hao rất nhỏ, giá trị suy hao dưới 0,154 dB/km tại bước sóng 1550 nm đã cho thấy sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ sợi quang trong gần ba thập niên qua. Giá trị suy hao này đã gần đạt tới tính toán lý thuyết cho các sợi đơn mode là 0,14 dB/km. Cùng với công nghệ chế tạo các nguồn phát và thu quang, sợi dẫn quang đã tạo ra các hệ thống thông tin quang với nhiều ưu điểm trội hơn hẳn so với các hệ thống thông tin cáp kim loại là:

- Suy hao truyền dẫn rất nhỏ
- Băng tần truyền dẫn rất lớn
- Không bị ảnh hưởng của nhiễu điện từ
- Có tính bảo mật tín hiệu thông tin cao
- Có kích thước và trọng lượng nhỏ
- Sợi có tính cách điện tốt
- Tin cậy và linh hoạt
- Sợi được chế tạo từ vật liệu rất sẵn có.

Do có các ưu điểm trên mà các hệ thống thông tin quang nhanh chóng được áp dụng rộng rãi trên mạng lưới. Chúng có thể được xây dựng làm các tuyến đường trục, trung kế, liên tỉnh, thuê bao kéo dài cho tới cả việc truy nhập vào mạng thuê bao linh

hoạt và đáp ứng được mọi môi trường lắp đặt từ trong nhà, trong các cấu hình thiết bị cho tới xuyên lục địa, vượt đại dương v.v... Các hệ thống thông tin quang cũng rất phù hợp cho các hệ thống truyền dẫn số không loại trừ tín hiệu dưới dạng ghép kênh nào, các tiêu chuẩn Bắc Mỹ, châu Âu hay Nhật Bản, như ở bảng 1.2.

Bảng 1.2: Tốc độ truyền dẫn tiêu chuẩn ở Bắc Mỹ, châu Âu và Nhật Bản

Phân cấp	Khối Bắc Mỹ		Khối châu Âu		Nhật bản	
	Tốc độ bit Mbit/s	Số kênh thoại	Tốc độ bit Mbit/s	Số kênh thoại	Tốc độ bit Mbit/s	Số kênh thoại
1	1,544	24	2,048	30	1 544	24
2	6,312	96	8,448	120	6.312	96
3	44,736	672	34,368	480	32.064	480
4	274,176	4032	139.264	1920	97.728	1440
5	-	-	565,148	7680	396 200	5760

Ngoài các tốc độ trên, có một tiêu chuẩn mới phát triển trong những năm gần đây gọi là SONET (Synchronous Optical NETwork), tốc độ truyền dẫn ở đây có hơi khác chút ít, nó xác định cấu trúc khung đồng bộ để gửi một lưu lượng ghép kênh số trên sợi quang. Khối cấu trúc cơ bản và mức đầu tiên của phân cấp tín hiệu SONET gọi là "tín hiệu truyền tải đồng bộ - cấp 1" STS-1 (Synchronous Transport Signal - Level 1) và có tốc độ bit 51.84 Mbit/s. Các tín hiệu SONET cấp cao hơn là tín hiệu OC-N (Optical Carrier -Level N). Tín hiệu OC-N sẽ có tốc độ đường truyền gấp N lần tín hiệu OC-1. Bảng 1.3 là các mức OC-N của SONET.

Bảng 1.3: Các mức phân cấp tín hiệu SONET

Mức	OC-1	OC-3	OC-9	OC-12	OC-18	OC-24	OC-36	OC-48
Tốc độ truyền (Mbit/s)	51.84	155.52	466,56	622.08	933.12	1244,16	1866,24	2488.32

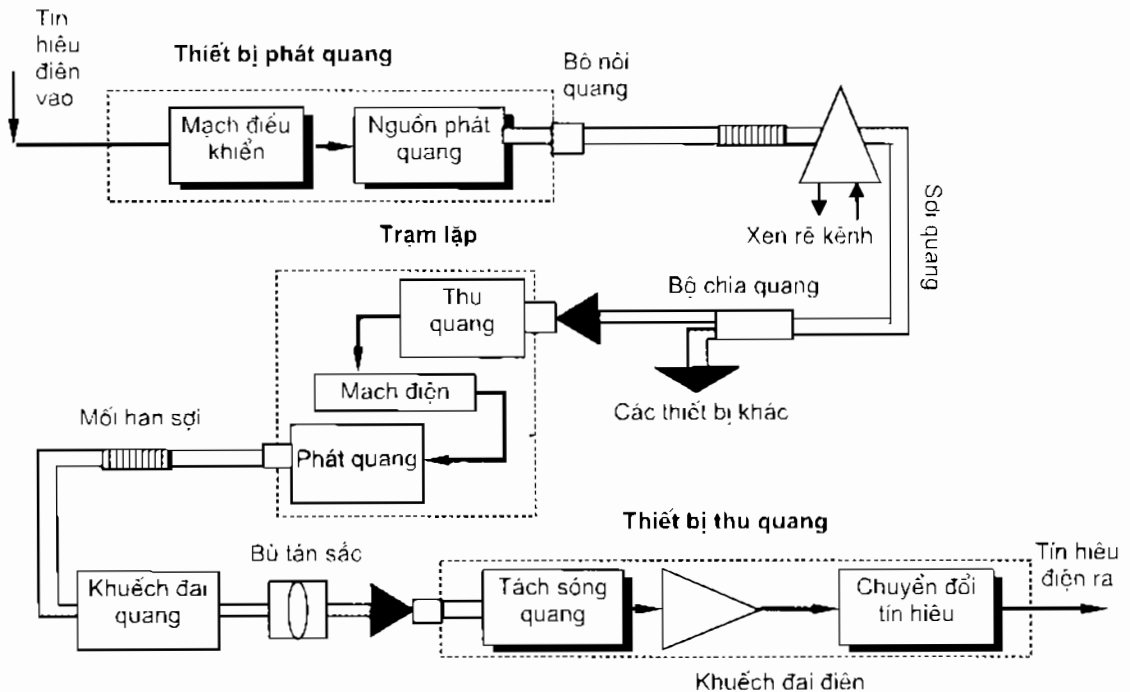
Hiện nay các hệ thống thông tin quang đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới, chúng đáp ứng cả các tín hiệu tương tự (analog) và số (digital), chúng cho phép truyền dẫn tất cả các tín hiệu dịch vụ băng hẹp và băng rộng, đáp ứng đầy đủ mọi yêu cầu của mạng số liên kết đa dịch vụ (ISDN). Số lượng cáp quang hiện nay được lắp đặt trên thế giới với số lượng rất lớn, ở đủ mọi tốc độ truyền dẫn với các cự ly khác nhau, các cấu trúc mạng đa dạng. Nhiều nước lấy cáp quang là môi trường truyền dẫn chính trong mạng lưới viễn thông của họ. Các hệ thống thông tin quang sẽ là mũi đột phá về tốc độ, cự ly truyền dẫn và cấu hình linh hoạt cho các dịch vụ viễn thông cấp cao.

Thực tế, thông tin quang đang ở vào giai đoạn kết thúc thế hệ thứ tư và bắt đầu thế hệ thứ năm với việc giải quyết tán sắc của sợi quang cùng với ứng dụng khuếch đại

quang trên diện rộng. Các hệ thống thông tin quang đã được triển khai thử nghiệm thành công với những đặc tính rất hấp dẫn như tốc độ 1,2 Tbit/s, hay truyền dẫn soliton cự ly 9400 km tại tốc độ 70 Gbit/s nhờ ghép 7 kênh 10G bit/s. v.v... Rõ ràng là thông tin quang luôn mang lại nhiều bất ngờ trong sự phát triển công nghệ của chúng. Điều đó muốn nói rằng chúng ta cần phải thường xuyên bổ túc nhiều kiến thức về thông tin quang.

1.3. CÁC THÀNH PHẦN CHÍNH CỦA HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG

Cho đến nay, các hệ thống thông tin quang không còn được gọi là các hệ thống thông tin mới nữa, nó đã trải qua nhiều năm khai thác trên mạng lưới với các cấu trúc khác nhau. Nhìn chung, các hệ thống thông tin quang thường phù hợp hơn cho việc truyền dẫn tín hiệu số và hầu hết các quá trình phát triển của hệ thống thông tin quang đều đi theo hướng này. Theo quan niệm thống nhất như vậy, ta có thể xem xét cấu trúc của tuyến thông tin quang bao gồm các thành phần chính như hình 1.3.



Hình 1.3: Các thành phần chính của tuyến truyền dẫn cáp sợi quang

Các thành phần chính của tuyến gồm có thiết bị phát quang - còn gọi là bộ phát quang, cáp sợi quang và thiết bị thu quang - hay bộ thu quang. Thiết bị phát quang được cấu tạo từ nguồn phát tín hiệu quang và các mạch điện điều khiển liên kết với nhau. Cáp sợi quang gồm có các sợi dẫn quang và các lớp vỏ bọc xung quanh để bảo vệ khỏi tác động có hại từ môi trường bên ngoài. Thiết bị thu quang được cấu tạo từ bộ tách sóng quang và các mạch khuếch đại, tái tạo tín hiệu hợp thành. Ngoài các thành phần chủ yếu này, tuyến thông tin quang còn có các bộ ghép nối quang - connector, các mối hàn,

các bộ chia quang và các trạm lặp; ở các tuyến thông tin quang hiện đại còn có thể có các bộ khuếch đại quang, thiết bị bù tán sắc, và các trạm xen rẽ kênh, tất cả tạo nên một tuyến thông tin quang hoàn chỉnh. Các thành phần chính ở trên sẽ được lần lượt xét tới ở các chương sau trong cuốn sách này. Tuy nhiên, để có được những khái niệm ban đầu về các thành phần của hệ thống, xin được sơ lược tóm tắt như sau.

Tương tự như cáp đồng, cáp sợi quang được khai thác với nhiều điều kiện lắp đặt khác nhau. Chúng có thể được treo ngoài trời, chôn trực tiếp dưới đất, kéo trong cống, đặt dưới biển. Tùy thuộc vào các điều kiện lắp đặt khác nhau mà độ dài chế tạo của cáp cũng khác nhau, có thể dài từ vài trăm mét tới vài km. Tuy nhiên đôi khi thì công, các kích cỡ của cáp cũng phụ thuộc vào từng điều kiện cụ thể, chẳng hạn như cáp được kéo trong cống sẽ không thể cho phép dài được, cáp có độ dài khá lớn thường được dùng cho treo hoặc chôn trực tiếp. Các mối hàn sẽ kết nối các độ dài cáp thành độ dài tổng cộng của tuyến được lắp đặt.

Tham số quan trọng nhất của cáp sợi quang tham gia quyết định độ dài của tuyến thông tin là suy hao sợi quang theo bước sóng. Đặc tuyến suy hao của sợi quang theo bước sóng tồn tại ba vùng mà tại đó có suy hao thấp là các vùng bước sóng 850 nm, 1300 nm và 1550 nm. Ba vùng bước sóng này được sử dụng cho các hệ thống thông tin quang và được gọi tương ứng là các vùng cửa sổ thứ nhất, thứ hai và thứ ba. Thời kỳ đầu của kỹ thuật thông tin quang, cửa sổ thứ nhất được sử dụng. Nhưng sau này do công nghệ chế tạo sợi phát triển mạnh, suy hao sợi ở hai cửa sổ sau rất nhỏ cho nên các hệ thống thông tin ngày nay chủ yếu hoạt động ở cửa sổ thứ hai và thứ ba. Các hướng nghiên cứu về công nghệ sợi quang còn cho biết rằng, suy hao sợi quang ở các vùng bước sóng dài hơn còn nhỏ hơn nữa. Giá trị suy hao sợi nhỏ nhất có thể thu được lại ở vùng bước sóng 2.55 μm trên sợi Fluoride. Sợi dẫn quang có suy hao nhỏ này được chế tạo từ thủy tinh fluoride có hàm lượng kim loại nặng trong đó ZrF_4 là thành phần chủ yếu. Giá trị suy hao tối thiểu ở sợi đặc biệt này đạt tới 0.01 đến 0.001 dB/km.

Nguồn phát quang ở thiết bị phát có thể sử dụng diode phát quang (LED) hoặc laser bán dẫn (LD). Cả hai loại nguồn phát này đều phù hợp cho các hệ thống thông tin quang, có tín hiệu quang đầu ra tương ứng với sự thay đổi của dòng điều biến. Tín hiệu điện ở đầu vào thiết bị phát ở dạng số hoặc đôi khi có dạng tương tự. Thiết bị phát sẽ thực hiện biến đổi tín hiệu điện này thành tín hiệu quang tương ứng và công suất quang đầu ra sẽ phụ thuộc vào sự thay đổi của cường độ dòng điều biến. Công suất phát quang là một tham số thiết kế quan trọng vì nó góp phần xác định được suy hao sợi quang hoặc quỹ công suất trên tuyến được phép là bao nhiêu. Nó được diễn giải bằng đơn vị dBm với mức 1 mW làm mức tham khảo. Biểu thức xác định chung là:

$$P_i(\text{dBm}) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_i}{1\text{mW}} \right) \quad (1-1)$$

Bước sóng làm việc của nguồn phát quang cơ bản phụ thuộc vào vật liệu cấu tạo. Đuôi sợi ra (pigtail) của nguồn phát quang phải phù hợp với sợi dẫn quang được khai thác trên tuyến.

Tín hiệu ánh sáng đã được điều chế tại nguồn phát quang sẽ lan truyền dọc theo sợi dẫn quang để tới thiết bị thu quang. Khi truyền trên sợi dẫn quang, tín hiệu ánh sáng thường bị suy hao và méo do các yếu tố hấp thụ, tán xạ, tán sắc, và một số ảnh hưởng khác gây nên. Bộ tách sóng quang trong thiết bị thu thực hiện tiếp nhận ánh sáng và tách lấy tín hiệu từ hướng phát tới. Tín hiệu quang được biến đổi trực tiếp trở lại thành tín hiệu điện. Các photodiode p-i-n và photodiode thác APD đều có thể sử dụng làm các bộ tách sóng quang trong các hệ thống thông tin quang, cả hai loại này nhìn chung đều có hiệu suất làm việc cao và có tốc độ chuyển đổi nhanh. Các vật liệu bán dẫn chế tạo nên các bộ tách sóng quang sẽ quyết định bước sóng làm việc của chúng và đuôi sợi quang đầu vào của các bộ tách sóng quang cũng phải phù hợp với sợi dẫn quang được sử dụng trên tuyến lắp đặt. Yếu tố quan trọng nhất phản ánh hiệu suất làm việc của thiết bị thu quang là độ nhạy thu quang, nó mô tả công suất quang nhỏ nhất có thể thu được ở một tốc độ truyền dẫn số nào đó ứng với tỷ số lỗi bit (BER) của hệ thống; điều này tương tự như tỷ số tín hiệu trên nhiễu ở các hệ thống truyền dẫn tương tự (analog).

Khi khoảng cách truyền dẫn khá dài, tới một cự ly nào đó, tín hiệu quang trong sợi bị suy hao khá nhiều thì cần thiết phải có trạm lặp quang đặt trên tuyến. Cấu trúc của thiết bị trạm lặp quang gồm có thiết bị phát và thiết bị thu ghép quay phân điện vào nhau. Thiết bị thu ở trạm lặp sẽ thu tín hiệu quang yếu rồi tiến hành biến đổi thành tín hiệu điện, khuếch đại tín hiệu này, sửa dạng và đưa vào đầu vào thiết bị phát quang. Thiết bị phát quang thực hiện biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang rồi lại phát tiếp vào đường truyền. Những năm gần đây, các bộ khuếch đại quang đã được sử dụng để thay thế cho các thiết bị trạm lặp quang. Nó thực hiện khuếch đại trực tiếp tín hiệu quang mà không phải thông qua quá trình biến đổi quang - điện. Chương 8 sẽ xét cụ thể về kỹ thuật này.

Thực tế, trên tuyến truyền dẫn dài đi qua một số các điểm cần thông tin với nhau, hệ thống cần phải có thêm các trạm xen rẽ kênh. Các thiết bị xen rẽ kênh thực hiện tách các kênh cần thiết trong tổng các kênh được truyền dẫn tại nơi nhận các kênh thông tin này, và cũng có thể ghép xen thêm kênh tại nơi muốn gửi thông tin đi. Việc xen rẽ kênh thường được thực hiện thông qua các thiết bị ghép kênh điện và gọi là thiết bị ADM. Tuy nhiên thời gian gần đây, các bộ ghép kênh xen/rẽ quang (OADM) đã được ứng dụng. Nó cho phép tách và ghép trực tiếp các luồng tín hiệu quang trên tuyến truyền dẫn, và như vậy không cần phải thông qua quá trình biến đổi quang - điện.

Chương 2

SỢI VÀ CÁP QUANG

Cáp quang, hay còn gọi là cáp sợi quang, bao gồm hai thành phần chính là sợi quang và các lớp bọc cáp. Sợi quang, hay còn gọi là sợi dẫn quang, là thành phần chính của cáp có chức năng truyền dẫn sóng ánh sáng. Vì thế khi mô tả môi trường truyền dẫn quang của hệ thống thông tin quang thì chỉ cần diễn giải trên sợi quang là đủ. Các lớp bọc sợi để tạo thành cáp quang có chức năng chính là bảo vệ sợi khỏi bị tác động từ các yếu tố môi trường bên ngoài. Mỗi một loại cáp có cấu trúc lớp bọc khác nhau phù hợp với từng môi trường lắp đặt cáp. Với mục đích tập trung vào công nghệ của hệ thống truyền dẫn, nên trong chương này sẽ giới thiệu về cáp sợi quang với trọng tâm là xem xét các cấu trúc và đặc tính quang của sợi. Những tham số đặc tính có tác động quan trọng tới xu hướng phát triển cho hệ thống tiên tiến sẽ được phân tích kỹ, còn các tham số phụ khác chỉ được giới thiệu vắn tắt vì có thể tham khảo trong lần xuất bản trước [1] và một số sách chuyên ngành khác [2-5].

2.1. SỢI QUANG

2.1.1. Định luật cơ bản của ánh sáng trong sợi quang

Hiện tượng phản xạ toàn phần bên trong đã được biết đến từ năm 1854, và nó là nguyên nhân dẫn đến việc truyền sóng ánh sáng trong sợi quang. Một cách chung nhất, có thể coi ánh sáng là một chùm các phần tử hạt rất nhỏ bé được phát ra từ một nguồn sáng. Các phần tử này được hình dung như đang đi theo một đường thẳng và có thể thâm nhập vào môi trường trong suốt nhưng lại bị phản xạ khi gặp các môi trường đục. Quan điểm này đã mô tả được đầy đủ các hiệu ứng về quang học trong một phạm vi riêng nào đó ví dụ như các hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng, nhưng lại không đúng khi dùng thuyết này để giải thích về hiện tượng nhiễu xạ và giao thoa; tuy nhiên hiện tượng nhiễu xạ và giao thoa chỉ là hãn hữu. Năm 1864, Maxwell đã chứng minh bằng lý thuyết rằng bản chất của sóng ánh sáng là sóng điện từ. Hơn thế nữa khi quan sát các hiệu ứng phân cực, người ta nhận thấy sự chuyển động của sóng luôn vuông góc với hướng mà sóng đi, điều đó chỉ ra rằng sóng ánh sáng là sóng ngang. Theo quan điểm sóng quang hay vật lý quang thì sóng điện từ được phát ra từ một nguồn nhỏ có thể được đặc trưng bởi một loạt các mặt sóng hình cầu mà nguồn đặt ở trung tâm các mặt cầu này. Mặt sóng được xác định bởi quỹ tích tất cả các điểm ở trong loạt sóng cùng pha.

Theo quan điểm lý thuyết về ánh sáng như ở trên thì chúng hoàn toàn có liên quan tới việc truyền dẫn ánh sáng. Tuy nhiên khi xét tới sự tác động tương tác của ánh sáng và vật chất cũng như các hiện tượng tán sắc, sự hấp thụ và sự bức xạ ánh sáng, thì cả lý thuyết hạt và lý thuyết sóng của ánh sáng đều có ý nghĩa. Về bản chất hạt, năng lượng ánh sáng luôn luôn bức xạ hoặc bị hấp thụ trong các đơn vị rời rạc được gọi là photon. Tất cả các thực nghiệm về vấn đề này đều thấy sự tồn tại các photon và năng lượng của chúng chỉ phụ thuộc vào tần số ν . Mỗi quan hệ giữa năng lượng E và tần số ν của photon là:

$$E = h\nu \quad (2-1)$$

ở đây $h = 6,625 \times 10^{-34}$ J.s là hằng số Planck.

Khi ánh sáng tiếp cận vào một nguyên tử, thì photon có thể thực hiện chuyển năng lượng của nó tới một điện tử ở trong nguyên tử này, và kích thích nó lên một mức năng lượng cao hơn. Trong các quá trình này có thể xảy ra tất cả hoặc không một chút năng lượng photon nào được truyền cho điện tử. Năng lượng mà điện tử hấp thụ phải bằng đúng năng lượng mà nó đòi hỏi để kích thích điện tử tới mức năng lượng cao hơn. Ngược lại, điện tử ở trong trạng thái kích thích có thể rơi xuống trạng thái thấp hơn, trạng thái thấp hơn ấy cách nó một năng lượng $h\nu$ bằng đúng năng lượng này.

Các định luật cơ bản của ánh sáng có liên quan tới sự truyền ánh sáng trên sợi dẫn quang là hiện tượng khúc xạ và phản xạ ánh sáng, ta xét một cách sơ bộ như sau. Vận tốc của ánh sáng là $c = \nu\lambda$ với ν là tần số ánh sáng và λ là bước sóng. Trong không gian tự do thì $c = 2,9979 \times 10^8$ m/s, còn trong các môi trường trong suốt khác thì vận tốc ánh sáng là v sẽ nhỏ hơn c . Khi đó chỉ số chiết suất n của vật liệu đó được viết là:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2-2)$$

Giá trị chiết suất n của không khí là 1,00; của nước là 1,33; thủy tinh là 1,50 và kim cương có chiết suất là 2,42.

Hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng có thể xem xét trong trường hợp có hai môi trường khác nhau về chỉ số chiết suất. Như ta đã biết, các tia sáng được truyền từ môi trường có chỉ số chiết suất lớn vào môi trường có chỉ số chiết suất nhỏ hơn thì sẽ thay đổi hướng truyền của chúng tại ranh giới phân cách giữa hai môi trường. Các tia sáng khi qua vùng ranh giới này bị thay đổi hướng nhưng tiếp tục đi vào môi trường chiết suất mới thì ta nói tia đó bị khúc xạ, còn các tia nào khi qua ranh giới này lại quay trở lại môi trường ban đầu thì ta nói tia đó bị phản xạ. Hình 2.1 minh họa quá trình phản xạ và khúc xạ ánh sáng ứng với một môi trường thứ nhất có chiết suất n_1 lớn hơn chiết suất n_2 của môi trường thứ hai. Theo định luật Snell ta có quan hệ:

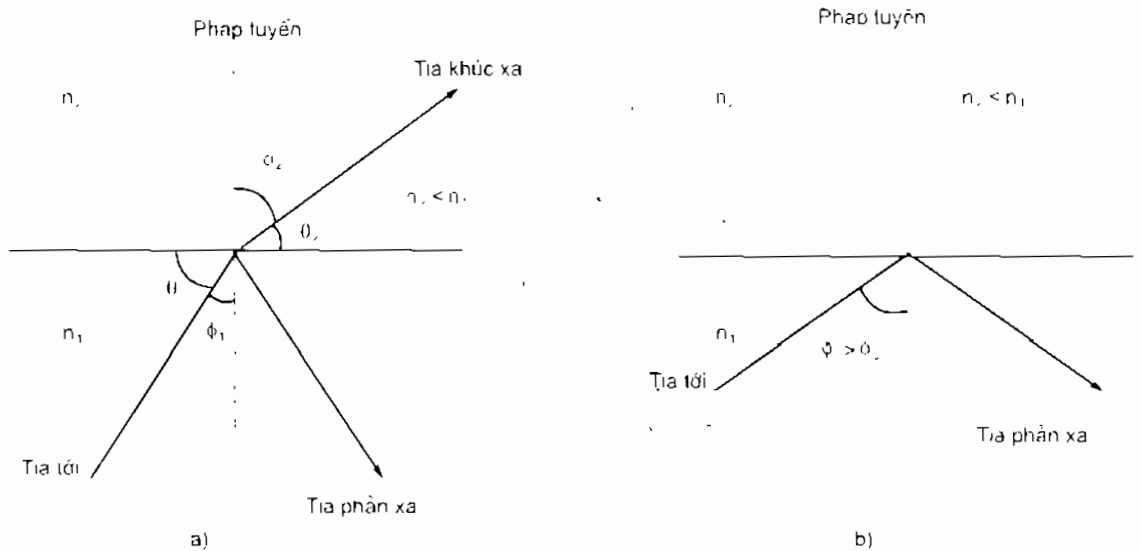
$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2 \quad (2-3)$$

với ϕ_1 là góc tới - góc hợp giữa pháp tuyến của mặt phân cách hai môi trường với tia tới, ϕ_2 là góc khúc xạ - góc tạo bởi pháp tuyến của mặt phân cách hai môi trường với tia khúc xạ.

Từ phương trình (2-3) có thể viết tương tự như sau:

$$n_1 \cos \theta_1 = n_2 \cos \theta_2 \quad (2-4)$$

Ở đây, vì $n_1 > n_2$ cho nên góc tới ϕ_1 ở môi trường chiết quang hơn sẽ nhỏ hơn góc khúc xạ ϕ_2 ở môi trường kém chiết quang hơn. Nếu góc tới ϕ_1 lớn dần lên (góc θ_1 nhỏ đi) tới một giá trị góc ϕ_c tạo ra tia khúc xạ nằm song song với ranh giới phân cách hai môi trường thì lúc ấy ϕ_c được gọi là góc tới hạn như mô tả ở hình 2.1b), lúc này không tồn tại tia khúc xạ ở môi trường thứ hai. Các tia sáng tới có góc ϕ_1 lớn hơn góc tới hạn ϕ_c thì đều bị phản xạ trở lại. Hiện tượng các tia sáng bị phản xạ trở lại môi trường ban đầu tại mặt phân cách hai môi trường gọi là phản xạ toàn phần bên trong.



Hình 2.1. Hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng

Ứng với góc tới hạn ϕ_c thì góc khúc xạ $\phi_2 = 90^\circ$ [6], lúc này có thể viết thành:

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2-5)$$

Như vậy, điều kiện để xảy ra phản xạ toàn phần là:

- Các tia sáng phải đi từ môi trường chiết quang hơn (có chỉ số chiết suất lớn hơn) sang môi trường kém chiết quang hơn (có chỉ số chiết suất nhỏ hơn).

- Góc tới của tia sáng phải lớn hơn góc tới hạn.

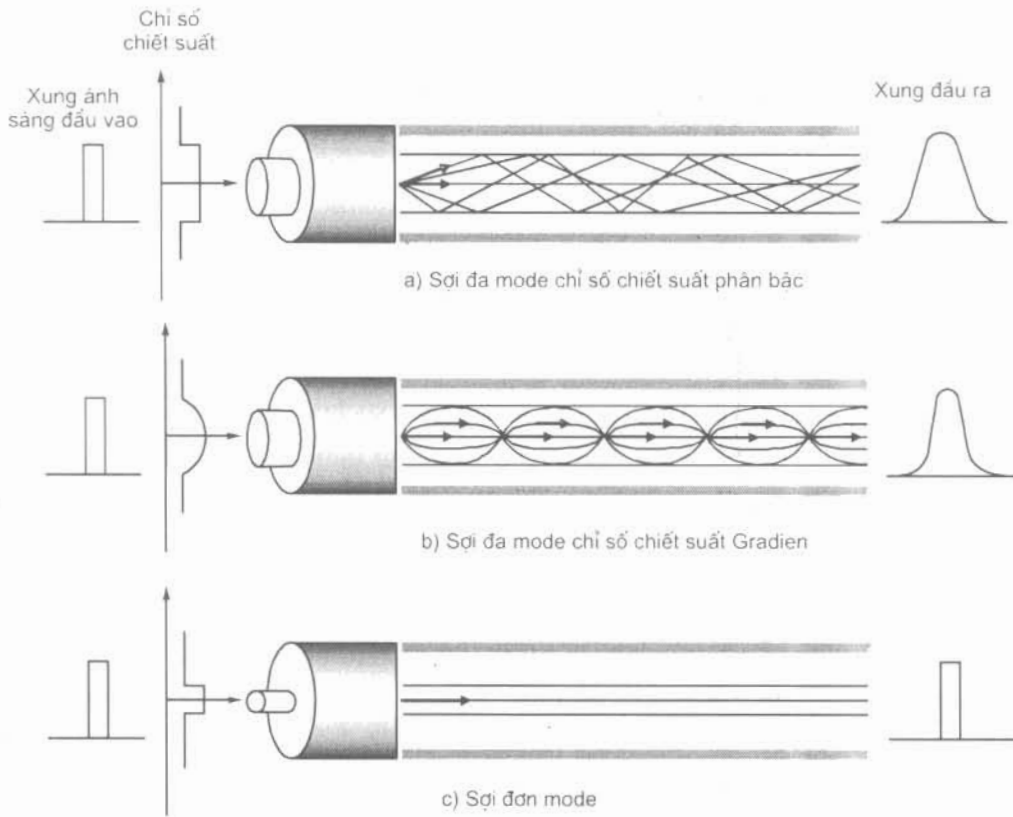
Các định luật phản xạ và khúc xạ ánh sáng ở trên là nguyên lý cơ bản áp dụng cho việc truyền tín hiệu ánh sáng trong sợi dẫn quang. Ở sợi dẫn quang, các tín hiệu ánh sáng được truyền dựa vào hiện tượng phản xạ toàn phần bên trong.

2.1.2. Sợi quang và các mode truyền dẫn

Sợi quang có cấu trúc như là một ống dẫn sóng hoạt động ở dải tần số quang, như vậy nó có dạng hình trụ bình thường và có chức năng dẫn sóng ánh sáng lan truyền theo hướng song song với trục của nó. Để bảo đảm được sự lan truyền của ánh sáng trong sợi, cấu trúc cơ bản của nó gồm có một lõi hình trụ làm bằng vật liệu thủy tinh có chỉ số chiết suất n_1 lớn và bao quanh lõi là một vỏ phản xạ hình ống đồng tâm với lõi và có chiết suất $n_2 < n_1$. Sự lan truyền của ánh sáng dọc theo sợi được mô tả dưới dạng các sóng điện từ truyền dẫn được gọi là các mode trong sợi. Mỗi một mode truyền là một mẫu các đường trường điện và trường từ được lặp đi lặp lại dọc theo sợi ở các khoảng cách tương đương với bước sóng. Chỉ có một vài mode riêng biệt nào đó là có khả năng truyền dọc theo suốt chiều dài sợi trong số nhiều mode được ghép vào tại đầu sợi. Lớp vỏ phản xạ mặc dù không là môi trường truyền ánh sáng nhưng nó là môi trường tạo ra ranh giới với lõi và ngăn chặn sự khúc xạ ánh sáng ra ngoài, tham gia bảo vệ lõi và gia cường thêm độ bền của sợi.

Vật liệu cấu tạo ra lõi sợi thông thường là thủy tinh, còn vỏ phản xạ có thể là thủy tinh hoặc chất dẻo trong suốt, loại sợi có cấu trúc vật liệu như vậy thường có suy hao nhỏ và trung bình. Loại sợi có lõi là chất dẻo thường có suy hao lớn và trong thông tin nó không được sử dụng. Để tránh cọ trầy xước vỏ, sợi quang thường được bao bọc thêm một lớp chất dẻo. Lớp vỏ bảo vệ này sẽ ngăn chặn các tác động cơ học vào sợi, gia cường thêm cho sợi, bảo vệ sợi không bị răn lượn sóng, kéo dẫn hoặc cọ sát bề mặt; mặt khác cũng tạo điều kiện để bọc sợi thành cáp sau này. Lớp vỏ này được gọi là lớp vỏ bọc sơ cấp [7].

Việc phân loại sợi dẫn quang phụ thuộc vào sự thay đổi thành phần chiết suất của lõi sợi như mô tả ở hình 2.2 cho cấu trúc các loại sợi dẫn quang. Loại sợi có chỉ số chiết suất đồng đều ở lõi sợi gọi là sợi có chỉ số chiết suất phân bậc SI (Step Index), loại sợi có chỉ số chiết suất ở lõi giảm dần từ tâm lõi sợi ra tới tiếp giáp lõi và vỏ phản xạ gọi là sợi có chỉ số chiết Gradien GI (Graded Index). Nếu phân chia theo mode truyền dẫn thì có loại sợi đa mode MM (Multimode) và sợi đơn mode SM (Single mode). Sợi đa mode cho phép nhiều mode truyền dẫn trong nó, còn sợi đơn mode chỉ cho phép một mode truyền trong nó. Như vậy có thể tổng hợp sự phân loại sợi dẫn quang như bảng 2.1.



Hình 2.2: Cấu trúc các loại sợi quang.

Bảng 2.1: Phân loại sợi dẫn quang

Danh mục	Loại sợi
Phân loại sợi theo chỉ số chiết suất	- Sợi có chỉ số chiết suất phân bậc - Sợi có chỉ số chiết suất Gradien
Phân loại theo mode truyền dẫn	- Sợi đơn mode - Sợi đa mode
Phân loại theo cấu trúc vật liệu	- Sợi thủy tinh - Sợi lõi thủy tinh vỏ chất dẻo - Sợi thủy tinh nhiều thành phần - Sợi chất dẻo

Các tia và mode

Trường ánh sáng dưới dạng sóng điện từ được truyền trong sợi dẫn quang là sự biểu thị các mode. Mỗi một mode truyền dẫn là tập hợp các hình ảnh trường điện từ đơn giản, chúng tạo thành một mẫu sóng đứng theo một hướng ngang (nghĩa là ngang với trục dẫn sóng). Đối với trường ánh sáng đơn sắc có tần số Radian ω , một mode lan truyền theo hướng z , hướng dọc theo trục của sợi dẫn quang, sẽ có quan hệ là:

$$e^{i(\omega t - \beta z)} \quad (2-6)$$

trong đó β là thành phần hợp thành z của hằng số lan truyền sóng $k = 2\pi/\lambda$ và đây là tham số chính để mô tả các mode sợi. Đối với mode truyền dẫn, β chỉ có thể coi như là giá trị đặc trưng nào đó xuất phát từ điều kiện rằng trường mode phải thỏa mãn các phương trình Maxwell và các điều kiện đường bao trường điện và trường từ tại ranh giới giữa lõi và vỏ.

Có một phương pháp nghiên cứu lý thuyết nữa về các đặc tính truyền dẫn của ánh sáng trong sợi dẫn quang là phương pháp dựa vào quang hình học. Phương pháp này đưa ra một khái niệm gần đúng về khả năng tiếp nhận và các đặc điểm truyền dẫn ánh sáng của sợi khi tỷ số giữa bán kính sợi với bước sóng là lớn, phương pháp này còn được gọi là giới hạn bước sóng nhỏ [8]. Phương pháp này có ưu điểm so với phương pháp phân tích sóng điện từ là, nó đưa ra tính chất vật lý trực tiếp sáng tỏ hơn khi xét về các đặc tính lan truyền ánh sáng trong sợi dẫn quang. Xuất phát từ quan niệm tia sáng khác với mode, ta có thể thấy một cách định tính về quan hệ giữa chúng. Mode lan truyền theo hướng z (đọc theo trục sợi quang) có thể bị phân ly ra thành một họ các sóng phẳng phụ, các sóng này cùng tạo ra một mẫu sóng đứng theo hướng ngang với trục sợi. Với sóng phẳng bất kỳ, ta cũng có thể kết hợp một tia sáng vuông góc với pha trước của sóng, họ các sóng phẳng phù hợp với mode đặc trưng để tạo ra các tia gọi là *tia tương hợp*. Từng tia sáng ở đây sẽ lan truyền trong sợi với cùng một góc so với trục sợi.

Truyền ánh sáng trong sợi dẫn quang

Để dễ dàng nhận thấy quá trình tiếp nhận và truyền ánh sáng trong sợi dẫn quang, ta hãy xét về cơ cấu lan truyền ánh sáng trong sợi dẫn quang đa mode có chỉ số chiết suất phân bậc, vì kích thước lõi của loại sợi này lớn hơn nhiều so với bước sóng ánh sáng mà ta xét tới. Để đơn giản, ta chỉ xét một tia sáng đặc trưng thuộc về loại tia tương hợp thể hiện là mode sợi. Có hai loại tia có thể truyền trong sợi dẫn quang là các *tia kinh tuyến* và các *tia nghiêng* [7]. Tia kinh tuyến là các tia xác định các mặt phẳng kinh tuyến với trục sợi. Như vậy có hai loại tia kinh tuyến là *tia biên* - là tia tồn tại trong lõi sợi và truyền theo hướng dọc theo trục lõi sợi, và *tia ngoài biên* - là tia bị khúc xạ ra ngoài lõi sợi. Các tia nghiêng có số lượng nhiều gấp bội lần tia kinh tuyến, nó không xác định một mặt phẳng đơn thuần nào, mà các tia này truyền theo từng đoạn xoắn ốc dọc theo sợi. Các tia này có đường đi dài hơn và thường bị suy hao lớn hơn tia kinh tuyến (ta lưu ý tới tia biên). Hình 2.3 mô tả sự lan truyền của các tia [9]. Nhìn chung, việc đi vào phân tích loại tia nghiêng này là không cần thiết vì nó không phản ánh có ý nghĩa về các tia lan truyền trong sợi; vì vậy ở tài liệu này ta chỉ nên xem xét các tia kinh tuyến mới có ý nghĩa cho mục đích này. Tuy nhiên, cần chú ý rằng các tia nghiêng