



BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG CAO ĐẲNG KỸ THUẬT CAO THẮNG
KHOA ĐIỆN TỬ - TIN HỌC
BỘ MÔN ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG

LẠI NGUYỄN DUY
HUỲNH THANH HÒA

GIÁO TRÌNH
THÔNG TIN QUANG

(GIÁO TRÌNH DÙNG CHO HỆ CAO ĐẲNG NGÀNH
CNKT ĐIỆN TỬ, TRUYỀN THÔNG
CHUYÊN NGÀNH CNKT ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG)

TP. HỒ CHÍ MINH, 09 - 2018
(LƯU HÀNH NỘI BỘ)

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT THÔNG TIN QUANG	1
1.1 Mô hình chung của hệ thống thông tin sợi quang	1
1.1.1 Sơ đồ khối cơ bản của hệ thống thông tin sợi quang.....	1
1.1.2 Cấu hình của hệ thống thông tin sợi quang	1
1.1.3 Ưu, nhược điểm của hệ thống thông tin quang.....	3
1.2 Một số vấn đề cơ bản về quang vật lý trong kỹ thuật thông tin quang.....	4
1.2.1 Một số vấn đề cơ bản về ánh sáng.....	4
1.2.2 Vật liệu bán dẫn quang	8
1.2.3 Các hiệu ứng cơ bản của vật liệu quang	9
BÀI TẬP CHƯƠNG 1	10
CHƯƠNG 2: SỢI QUANG	11
2.1 Cấu trúc và phân loại sợi quang	11
2.1.1 Cấu tạo sợi quang	11
2.1.2 Phân loại sợi quang.....	12
2.2 Mô tả quá trình truyền ánh sáng trong sợi quang	14
2.2.1 Khái niệm mode và tia sáng	14
2.2.2 Sợi quang đơn mode và đa mode.....	14
2.3 Truyền sóng ánh sáng trong sợi quang	15
2.3.1 Tổng quan về mode truyền	15
2.3.2 Phương trình sóng đặc trưng cho sợi quang	16
2.4 Tán sắc và suy hao trong sợi quang.....	26
2.4.1 Tán sắc trong sợi quang.....	26
2.4.2 Suy hao trong sợi quang	31
BÀI TẬP CHƯƠNG 2	33
CHƯƠNG 3: BỘ PHÁT QUANG	34
3.1 LED	34
3.1.1 Cấu trúc của LED	34
3.1.2 Đặc tính phổ của LED	35
3.1.3 Đặc tính điều chế của LED.....	36
3.1.4 Mạch phát sử dụng LED.....	38
3.2 Laser diode	39
3.2.1 Cấu trúc Laser diode.....	39
3.2.2 Đặc tính của Laser diode	40

3.2.3 Mạch phát sử dụng Laser diode.....	41
BÀI TẬP CHƯƠNG 3	44
CHƯƠNG 4: BỘ THU QUANG	45
4.1 Các khái niệm cơ bản	45
4.1.1 Độ đáp ứng phần tử chuyển đổi quang- điện.....	45
4.1.2 Thời gian đáp ứng phần tử chuyển đổi quang- điện	46
4.2 Các phần tử chuyển đổi quang- điện bán dẫn.....	46
4.2.1 Photodiode p -n.....	46
4.2.2 Photodiode PIN.....	47
4.2.3 Photodiode APD	48
4.3 Nhiễu trong bộ thu quang	49
4.3.1 Nhiễu nỏ	49
4.3.2 Nhiễu nhiệt	50
BÀI TẬP CHƯƠNG 4	50
CHƯƠNG 5: KHUYẾT ĐẠI QUANG.....	52
5.1 Các khái niệm cơ bản	52
5.1.1 Phổ và độ rộng băng tần khuếch đại quang	52
5.1.2 Nhiễu trong bộ khuếch đại quang	54
5.1.3 Ứng dụng của bộ khuếch đại quang	54
5.2 Một số vấn đề trong ứng dụng của các bộ khuếch đại quang.....	55
5.2.1 Tiền khuếch đại quang.....	55
5.2.2 Tích lũy nhiễu trong hệ thống quang cự li dài.....	56
BÀI TẬP CHƯƠNG 5	58
CHƯƠNG 6: HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG	59
6.1 Hệ thống thông tin quang tương tự.....	59
6.1.1 Tổng quan về tuyến TTQ tương tự.....	59
6.1.2 Tuyến điểm nối điểm và điểm nối đa điểm	62
6.2 Hệ thống thông tin quang số	64
6.2.1 Một số vấn đề trong thiết kế hệ thống thông tin quang	65
6.2.2 Các nguồn bù công suất trong thiết kế hệ thống thông tin quang	67
BÀI TẬP CHƯƠNG 6	69
ĐỀ CƯƠNG ÔN TẬP	70
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM.....	73
TÀI LIỆU THAM KHẢO	81

CHƯƠNG 1

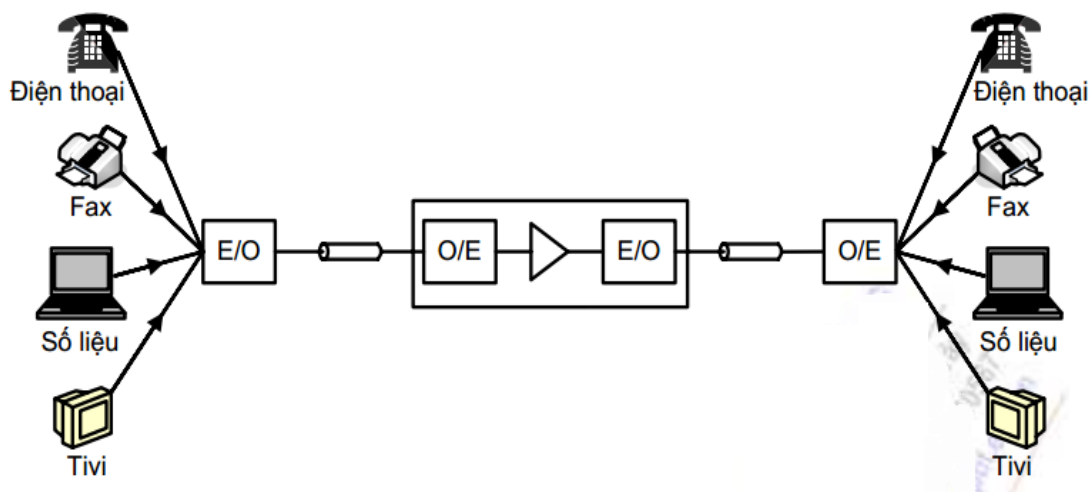
TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT THÔNG TIN QUANG

Kỹ thuật thông tin quang ngày càng sử dụng rộng rãi trong viễn thông, truyền số liệu, truyền hình cáp, ... Trong chương này, chúng ta sẽ tìm hiểu sự ra đời và phát triển của thông tin quang, cấu trúc tổng quát của hệ thống thông tin quang, các ưu điểm và nhược điểm của cáp sợi quang, và các lĩnh vực ứng dụng công nghệ thông tin sợi quang.

1.1. MÔ HÌNH CHUNG CỦA HỆ THỐNG THÔNG TIN SỢI QUANG

1.1.1. Sơ đồ khối cơ bản của hệ thống thông tin sợi quang

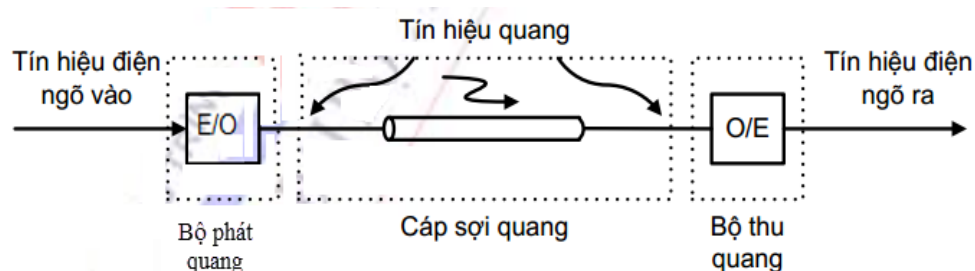
Hình 1.1 biểu thị cấu hình cơ bản của một hệ thống thông tin quang. Nói chung, tín hiệu điện từ máy điện thoại, từ các thiết bị đầu cuối, số liệu hoặc Fax được đưa đến bộ E/O (chuyển đổi điện quang) để chuyển thành tín hiệu quang, sau đó gửi vào cáp quang. Khi truyền qua sợi quang, công suất tín hiệu (ánh sáng) bị suy yếu dần và dạng sóng bị rộng ra. Khi truyền tới đầu bên kia sợi quang, tín hiệu này được đưa vào bộ O/E (chuyển đổi quang điện) để tạo lại tín hiệu điện, khôi phục lại nguyên dạng như ban đầu mà máy điện thoại, số liệu và Fax đã gửi đi.



Hình 1.1. Cấu hình của một hệ thống thông tin quang.

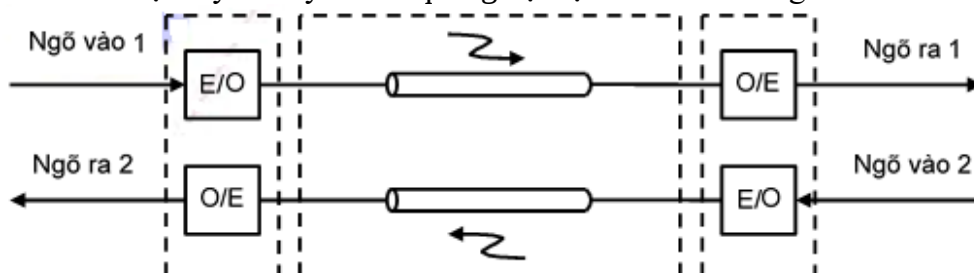
1.1.2. Cấu hình của một hệ thống thông tin quang

Cấu trúc cơ bản của một hệ thống thông tin quang có thể được mô tả đơn giản như hình 1.2, gồm: Bộ phát quang, bộ thu quang và môi trường truyền dẫn là cáp sợi quang.



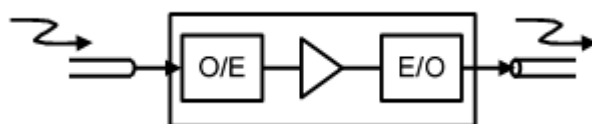
Hình 1.2. Cấu trúc cơ bản của một hệ thống thông tin quang.

Trên hình 1.2 chỉ mới minh họa tuyến truyền dẫn quang liên lạc theo một hướng. Hình 1.3 minh họa tuyến truyền dẫn quang liên lạc theo hai hướng.



Hình 1.3. Minh họa tuyến truyền dẫn quang liên lạc theo hai hướng.

Như vậy, để thực hiện truyền dẫn giữa hai điểm cần có hai sợi quang. Nếu cự ly thông tin quá dài thì trên tuyến có thể có một hoặc nhiều trạm lặp (Repeater). Cấu trúc đơn giản của một trạm lặp (cho một hướng truyền dẫn) được minh họa ở hình 1.4.



Hình 1.4. Cấu trúc đơn giản của một trạm lặp quang.

+ Khối E/O: bộ phát quang có nhiệm vụ nhận tín hiệu điện đưa đến, biến tín hiệu điện đó thành tín hiệu quang, và đưa tín hiệu quang này lên đường truyền (sợi quang). Đó là chức năng chính của khối E/O ở bộ phát quang. Thường người ta gọi khối E/O là nguồn quang. Hiện nay linh kiện được sử dụng làm nguồn quang là LED và LASER.

+ Khối O/E: khi tín hiệu quang truyền đến đầu thu, tín hiệu quang này sẽ được thu nhận và biến trở lại thành tín hiệu điện như ở đầu phát. Đó là chức năng của khối O/E ở bộ thu quang. Các linh kiện hiện nay được sử dụng để làm chức năng này là PIN và APD, và chúng thường được gọi là linh kiện tách sóng quang (photo-detector).

+ Trạm lặp: khi truyền trên sợi quang, công suất tín hiệu quang bị suy yếu dần (do sợi quang có độ suy hao). Nếu cự ly thông tin quá dài thì tín hiệu quang này có thể không đến được đầu thu hoặc đến đầu thu với công suất còn rất thấp đầu thu không nhận biết được, lúc này ta phải sử dụng trạm lặp (hay còn gọi là trạm tiếp vận). Chức năng chính của trạm lặp là thu nhận tín hiệu quang đã suy yếu, tái tạo chúng

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT THÔNG TIN QUANG

trở lại thành tín hiệu điện. Sau đó sửa dạng tín hiệu điện này, khuếch đại tín hiệu đã sửa dạng, chuyển đổi tín hiệu đã khuếch đại thành tín hiệu quang. Và cuối cùng đưa tín hiệu quang này lên đường truyền để truyền tiếp đến đầu thu. Như vậy, tín hiệu ở ngõ vào và ngõ ra của trạm lặp đều ở dạng quang, và trong trạm lặp có cả khối O/E và E/O.

1.1.3. Ưu, nhược điểm của hệ thống thông tin quang

Ưu điểm:

- + Suy hao thấp. Suy hao thấp cho phép khoảng cách lan truyền dài hơn. Nếu so sánh với cáp đồng trong một mạng, khoảng cách lớn nhất đối với cáp đồng được khuyến cáo là 100 m, thì đối với cáp quang khoảng cách đó là 2000 m.

- + Một nhược điểm cơ bản của cáp đồng là suy hao tăng theo tần số của tín hiệu. Điều này có nghĩa là tốc độ dữ liệu cao dẫn đến tăng suy hao công suất và giảm khoảng cách lan truyền thực tế. Đối với cáp quang thì suy hao không thay đổi theo tần số của tín hiệu.

- + Dải thông rộng. Sợi quang có băng thông rộng cho phép thiết lập hệ thống truyền dẫn số tốc độ cao. Hiện nay, băng tần của sợi quang có thể lên đến hàng THz.

- + Trọng lượng nhẹ. Trọng lượng của cáp quang nhỏ hơn so với cáp đồng. Một cáp quang có 2 sợi quang nhẹ hơn 20% đến 50% cáp Category 5 có 4 đôi. Cáp quang có trọng lượng nhẹ hơn nên cho phép lắp đặt dễ dàng hơn.

- + Kích thước nhỏ. Cáp sợi quang có kích thước nhỏ sẽ dễ dàng cho việc thiết kế mạng chật hẹp về không gian lắp đặt cáp.

- + Không bị can nhiễu sóng điện từ và điện công nghiệp.

- + Tính an toàn, vì sợi quang là một chất điện môi nên nó không dẫn điện.

Bảng 1.1. So sánh giữa cáp quang và cáp đồng.

Đặc tính	Cáp đồng	Cáp quang	
		Sợi đa mode	Sợi đơn mode
Dải thông	100 MHz	1 GHz	> 100 GHz
Cự ly truyền dẫn	100 m	2000 m	40.000 m
Xuyên kênh	Có	Không	
Trọng lượng	Nặng hơn	Nhẹ hơn	
Kích thước	Lớn hơn	Nhỏ hơn	

- + Tính bảo mật. Sợi quang rất khó trích tín hiệu. Vì nó không bức xạ năng lượng điện từ nên không thể bị trích để lấy trộm thông tin bằng các phương tiện điện thông thường như sự dẫn điện bề mặt hay cảm ứng điện từ, và rất khó trích lấy thông tin ở dạng tín hiệu quang.

- + Tính linh hoạt. Các hệ thống thông tin quang đều khả dụng cho hầu hết các dạng thông tin số liệu, thoại và video.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT THÔNG TIN QUANG

Nhược điểm:

+ Vấn đề biến đổi Điện - Quang. Trước khi đưa một tín hiệu thông tin điện vào sợi quang, tín hiệu điện đó phải được biến đổi thành sóng ánh sáng.

+ Dòn, dễ gãy. Sợi quang sử dụng trong viễn thông được chế tạo từ thủy tinh nên dòn và dễ gãy. Hơn nữa kích thước sợi nhỏ nên việc hàn nối gặp nhiều khó khăn. Muốn hàn nối cần có thiết bị chuyên dụng.

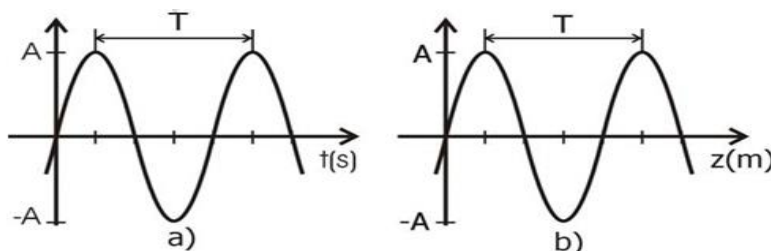
+ Vấn đề sửa chữa. Các quy trình sửa chữa đòi hỏi phải có một nhóm kỹ thuật viên có kỹ năng tốt cùng các thiết bị thích hợp.

+ Vấn đề an toàn lao động. Khi hàn nối sợi quang cần để các mảnh cắt vào lọ kín để tránh đâm vào tay, vì không có phương tiện nào có thể phát hiện mảnh thủy tinh trong cơ thể. Ngoài ra, không được nhìn trực diện đầu sợi quang hay các khớp nối để hở phòng ngừa có ánh sáng truyền trong sợi chiếu trực tiếp vào mắt. Ánh sáng sử dụng trong hệ thống thông tin quang là ánh sáng hồng ngoại, mắt người không cảm nhận được nên không thể điều tiết khi có nguồn năng lượng này, và sẽ gây nguy hại cho mắt.

1.2. MỘT SỐ VẤN ĐỀ CƠ BẢN VỀ QUANG VẬT LÝ TRONG KỸ THUẬT THÔNG TIN QUANG

1.2.1. Một số vấn đề cơ bản về ánh sáng

Sóng điện từ: Ánh sáng như là sóng điện từ



Hình 1.5 Sóng điện từ hình tĩnh

(a) Theo thời gian: T - chu kỳ, $f = 1/T$ - tần số (Hz);

(b) Theo không gian: λ - bước sóng (m).

Trong môi trường không gian tự do, ánh sáng là sóng điện từ ngang (TEM). Khái niệm ngang (transverse) có nghĩa là cả hai véc tơ điện trường E và từ trường H vuông góc với phương truyền, trục z trong hình 1.5.

Tần số: Ký hiệu f . Đơn vị: Hz (Hertz), hay cps (cycle per second).

Bước sóng: Ký hiệu: λ . Đơn vị: m (μm , nm).

Giữa tần số và bước sóng có mối quan hệ sau:

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ hay } f = \frac{c}{\lambda} \quad (1.1)$$

Với c là vận tốc ánh sáng trong chân không, $c = 3.108 \text{ m/s}$.

Ví dụ: Ta có thể xem quan hệ giữa bước sóng và tần số ở bảng 1.2.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT THÔNG TIN QUANG

Bảng 1.2. Các băng sóng vô tuyến

Băng tần	Tần số (f)	Bước sóng (λ)
VLF	3 Kz ÷ 30 Kz	100 Km ÷ 10 Km
LF	30 Kz ÷ 300 Kz	10 Km ÷ 1 Km
MF	300 Kz ÷ 3 Mz	1 Km ÷ 100 m
HF	3 Mz ÷ 30 Mz	100 m ÷ 10 m
VHF	30 Mz ÷ 300 Mz	10 m ÷ 1 m
UHF	300 Mz ÷ 3 Gz	1 m ÷ 1 dm
SHF	3 Gz ÷ 300 Gz	1 dm ÷ 1 cm
EHF	30 Gz ÷ 300 Gz	1 cm ÷ 1mm

+ Vùng ánh sáng nhìn thấy được: chiếm dải phổ từ 380 nm đến 780 nm.

+ Vùng hồng ngoại: chia làm 3 phần:

- Vùng hồng ngoại gần: 780 nm ÷ 1400 nm.

- Vùng hồng ngoại giữa: 1,4 μ m ÷ 6 μ m.

- Vùng hồng ngoại xa: 6 μ m ÷ 1 mm.

Ánh sáng dùng trong thông tin quang: 800 nm ÷ 1600 nm (như vậy nằm trong vùng hồng ngoại gần và một phần vùng hồng ngoại giữa).

Ba bước sóng ánh sáng thông dụng dùng trong các hệ thống thông tin quang được gọi là 3 cửa sổ quang:

- Cửa sổ 1: $\lambda_1 = 850$ nm.

- Cửa sổ 2: $\lambda_2 = 1300$ nm.

- Cửa sổ 3: $\lambda_3 = 1550$ nm.

- Cửa sổ 4: $\lambda_4 = 1625$ nm.

Chiết suất khúc xạ (Refractive index):

Ánh sáng có thể xem như là một chùm tia sáng. Các tia sáng lan truyền trong các môi trường khác nhau với vận tốc khác nhau. Có thể xem các môi trường khác nhau cản trở sự lan truyền ánh sáng bằng các lực khác nhau. Điều này được đặc trưng bằng chiết suất khúc xạ của môi trường. Chiết suất của một môi trường trong suốt (n) được xác định bởi tỉ số giữa vận tốc ánh sáng lan truyền trong chân không với vận tốc của ánh sáng lan truyền trong môi trường ấy.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.2)$$

Với n: chiết suất của môi trường, không có đơn vị. v: vận tốc ánh sáng trong môi

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT THÔNG TIN QUANG

trường, (m/s) và c : vận tốc ánh sáng trong chân không, (m/s).

Ví dụ: Chiết suất của một vài môi trường thông dụng: Vì $v \leq c$ nên $n \geq 1$.

- Không khí: $n = 1,00029 \approx 1,0$.
- Nước: $n = 4/3 \approx 1,33$.
- Thủy tinh: $n = 1,48$.

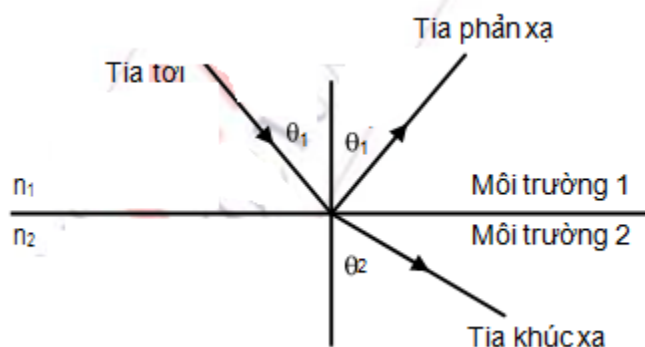
Phản xạ, khúc xạ, phản xạ toàn phần:

Ánh sáng truyền thẳng trong môi trường đồng nhất, bị phản xạ và khúc xạ tại biên ngăn cách hai môi trường đồng nhất khác nhau.

Như vậy, ba đặc điểm cơ bản của ánh sáng là:

- Truyền thẳng.
- Phản xạ.
- Khúc xạ.

Tổng quát, khi một tia sáng tới mặt ngăn cách giữa hai môi trường, tia sáng này bị tách ra làm hai phần: một phần dội lại môi trường đầu (hiện tượng phản xạ), một phần truyền tiếp qua môi trường hai. Tia truyền tiếp bị lệch hướng truyền so với tia ban đầu (hiện tượng khúc xạ). Điều này được minh họa ở hình 1.6



Hình 1.6. Hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng

Định luật phản xạ ánh sáng: được phát biểu tóm tắt như sau

Tia phản xạ nằm trong mặt phẳng tới.

Góc phản xạ bằng góc tới: $\theta_1' = \theta_1$

Định luật khúc xạ ánh sáng: được phát biểu tóm tắt như sau

Tia khúc xạ nằm trong mặt phẳng tới.

Góc khúc xạ và góc tới liên hệ nhau theo công thức Snell:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1.3)$$