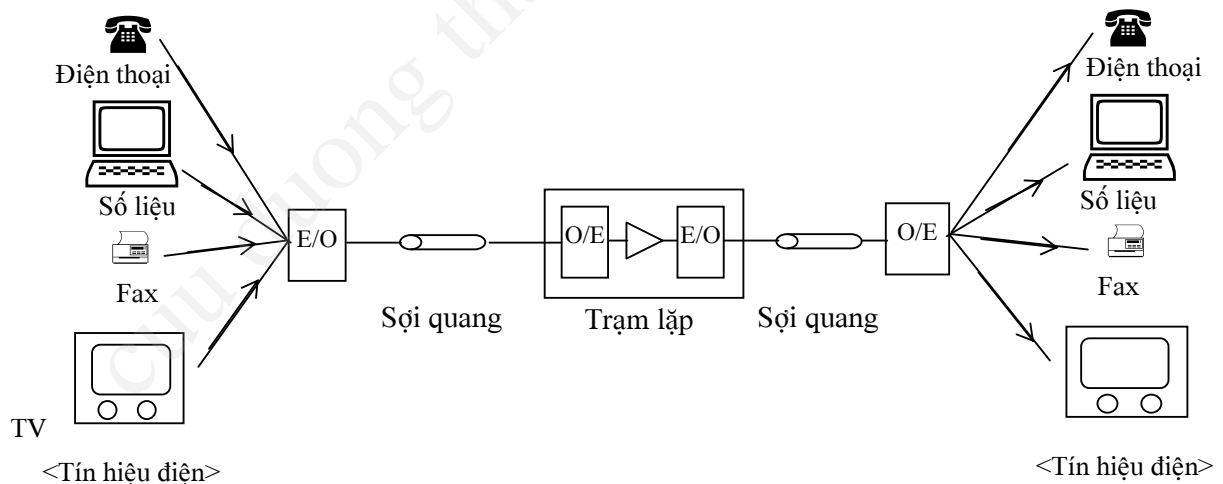


## Chương 5

# GIỚI THIỆU HỆ THỐNG THÔNG TIN SỢI QUANG

### 5.1. Cấu trúc chung của một HTTT sợi quang:

Hình vẽ 5.1 thể hiện cấu trúc chung của một hệ thống thông tin quang. Các tín hiệu điện từ các thiết bị khác nhau như: máy điện thoại, Fax, máy tính, máy phát truyền hình, các thiết bị đầu cuối... đưa đến được biến đổi sang tín hiệu quang qua một bộ biến đổi điện-quang (E/O) (các mức tín hiệu điện được biến đổi thành cường độ quang, các tín hiệu điện "1" và "0" được biến đổi ra ánh sáng dạng "CÓ" và "KHÔNG") và sau đó được gửi vào sợi quang trong cáp quang. Tại đầu thu qua bộ biến đổi quang-điện (O/E) tín hiệu quang thu được biến đổi thành tín hiệu điện, khôi phục lại nguyên dạng tín hiệu của máy điện thoại, Fax, dữ liệu... đã được gửi đi. Tín hiệu đã khôi phục được truyền tới các thiết bị đầu cuối của chặng truyền dẫn.



**Hình 5.1.** Cấu trúc HTTT sợi quang

Bộ biến đổi điện quang thực chất là linh kiện phát quang như là Laser diode và bộ biến đổi quang-điện thường là các Photo diode. Khi khoảng cách truyền dẫn lớn người ta đặt các trạm lặp trên tuyến cáp quang. Các trạm lặp này biến đổi tín hiệu quang thu được thành tín hiệu điện để khuếch

đại. Tín hiệu đã được khuếch đại được biến đổi thành tín hiệu quang để tiếp tục truyền trên tuyến cáp quang tiếp theo.

## 5.2. Đặc điểm của HTTT sợi quang :

Hệ thống thông tin sợi quang có một số ưu điểm so với các hệ thống sử dụng cáp đồng cổ điển do sử dụng các đặc tính của sợi quang, linh kiện thu quang và phát quang.

Sợi quang có các đặc điểm chủ yếu sau:

1. Sự suy hao thấp của tín hiệu (chất lượng tốt hơn so với cáp song hành kim loại hay cáp đồng trục ...).

2. Cáp sợi quang có thể truyền tải tín hiệu có tần số cao hơn rất nhiều so với cáp đồng trục.

3. Đường kính sợi quang nhỏ, trọng lượng nhẹ so với cáp đồng. Một sợi cáp quang có cùng đường kính với cáp kim loại có thể chứa một số lượng lớn lõi sợi quang hơn số lượng lõi sợi kim loại cùng kích cỡ. Các đặc điểm này của sợi quang có ưu điểm rất lớn khi lắp đặt cáp.

4. Sợi quang có đặc tính cách điện vì thủy tinh không dẫn điện. Do vậy cáp sợi quang không chịu ảnh hưởng của điện từ trường bên ngoài (chẳng hạn từ các đường dây hay cáp điện cao áp, sóng vô tuyến và truyền hình v.v...). Trong ngành điện cáp quang có thể được đặt bên trong dây chống sét trên đường dây truyền tải điện.

5. Sử dụng cáp quang cho phép tiết kiệm tài nguyên vì thạch anh là nguyên liệu chính để sản xuất sợi quang. Nguồn nguyên liệu này dồi dào hơn nhiều so với kim loại và hơn nữa, chỉ cần một lượng nhỏ nguyên liệu thạch anh là có thể chế tạo được một đoạn cáp quang tương đối dài.

Hơn nữa, truyền dẫn sợi quang nhờ ghép kênh dung lượng lớn (rất nhiều tín hiệu được ghép lại với nhau thành một đường và được truyền qua tuyến truyền dẫn) cho phép thực hiện các dịch vụ truyền video đang có nhu cầu phát triển lớn và sẽ làm cho giá truyền tin giảm thấp.

Thông tin quang cũng cho phép truyền dẫn đồng thời các tín hiệu có bước sóng khác nhau (ghép tần số). Đặc tính này cùng với khả năng truyền dẫn băng rộng của sợi quang sẵn có làm cho dung lượng truyền dẫn của tuyến trở nên rất lớn.

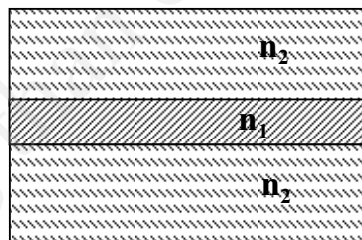
Đường kính nhỏ, trọng lượng bé của sợi quang làm giảm khoảng không trong quá trình lắp đặt cáp. Điều này một lần nữa cải thiện tính kinh tế trong mạng lưới viễn thông và làm thuận tiện, dễ dàng trong khi lắp đặt

và bảo dưỡng. Ưu điểm của sợi quang là không dẫn điện, như vậy không cần thiết phải tách cáp thông tin ra khỏi các thiết bị gây ra cảm ứng điện từ trường, bảo vệ an toàn cho công nhân cũng như ổn định chất lượng thông tin.

### 5.3. Sợi quang:

#### 5.3.1. Cấu trúc sợi quang:

Sợi quang có thể hiểu là "sợi mảnh dẫn ánh sáng", bao gồm hai chất điện môi trong suốt khác nhau (chất điện môi như thủy tinh hoặc nhựa) một phần cho ánh sáng truyền trong đó gọi là lõi sợi, phần còn lại là lớp vỏ bao quanh lõi. Sợi quang được cấu tạo sao cho ánh sáng được truyền dẫn chỉ trong lõi sợi bằng phương pháp sử dụng hiện tượng phản xạ toàn phần ánh sáng. Hiện tượng này được tạo nên do cấu tạo của sợi quang có chiết suất lớp vỏ  $n_2$  nhỏ hơn chiết suất lõi  $n_1$  khoảng 0,2 hoặc 0,3% ( $n_1 > n_2$ ).



Hình 5.2. Cấu trúc sợi quang

Sợi quang có đường kính rất bé, đường kính lớp vỏ vào khoảng 0,1 mm. Lõi dẫn ánh sáng của sợi có đường kính còn nhỏ hơn nhiều, đường kính này cỡ khoảng một vài  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$ ), so với bước sóng truyền tải nó lớn hơn khoảng vài chục lần. Cáp quang bao gồm nhiều sợi quang bên trong.

#### 5.3.2. Quá trình đưa ánh sáng vào sợi quang :

Ánh sáng phát ra từ nguồn phát quang bị khuếch tán do nhiễu xạ. Muốn đưa ánh sáng vào lõi của sợi cần phải tập trung ánh sáng. Tuy nhiên không phải tất cả ánh sáng được tập trung đều có thể đưa vào sợi mà chỉ

một phần có góc tới nằm trong một giới hạn nhất định mới có thể đưa được vào lõi sợi quang.

Như trình bày trên hình 5.3, tại điểm đưa vào của sợi quang chia thành ba môi trường liên nhau có chiết suất khúc xạ khác nhau. Đó là môi trường không khí, lõi và vỏ của sợi quang. Cho các giá trị chiết suất này lần lượt bằng  $n_0 (=1)$ ,  $n_1$  và  $n_2$ . Ta có thể áp dụng các định luật khúc xạ và phản xạ tại các biên tiếp giáp giữa không khí và lõi, giữa lõi và vỏ.

Ở đây góc nhận lớn nhất  $\theta_{\max}$  là góc mở đối với tia tới số 2 có góc tới bằng góc tới hạn như trên hình 5.3.

Tại biên của không khí và lõi, lõi và vỏ, áp dụng định luật khúc xạ ánh sáng Snell ta có hai phương trình như sau :

$$n_0 \sin \theta_{\max} = n_1 \sin \theta_c$$

$$n_1 \sin (90^\circ - \theta_c) = n_2 \sin 90^\circ = n_2$$

hay:

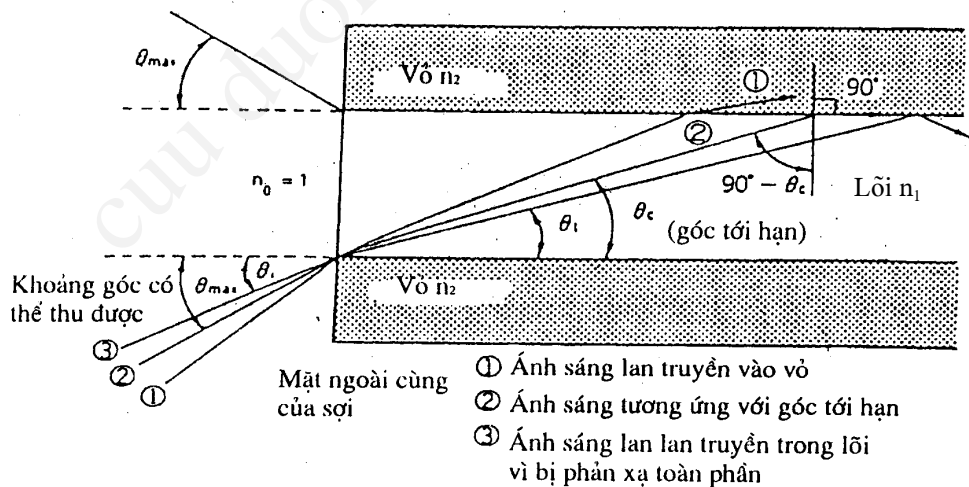
$$n_0 \sin \theta_{\max} = n_1 \sin \theta_c$$

$$\cos \theta_c = n_2 / n_1$$

Góc mở lớn nhất  $\theta_{\max}$  được tính như sau :

$$\sin \theta_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\theta_{\max} = \arcsin(\sqrt{n_1^2 - n_2^2})$$



**Hình 5.3.** Góc nhận của sợi quang

Đại lượng  $\sin \theta_{\max}$  được gọi là khẩu độ số NA (Numerical Aperture), nó cho ta biết điều kiện đưa ánh sáng vào sợi quang. Đây là thông số cơ bản tác động đến hiệu suất ghép nối giữa nguồn sáng và sợi quang.

Ví dụ, một sợi quang có chiết suất khúc xạ là  $n_1 = 1,475$  và  $n_2 = 1,46$  (độ lệch chiết suất tương đối = 1%) sẽ có  $NA = 0,21$

Nếu biết được đường kính lõi và khẩu độ số NA của sợi quang thì xác định được lượng ánh sáng vào lõi sợi. Đường kính lõi sợi càng lớn và NA càng lớn sẽ cho hiệu suất ghép nối cao.

Trong sợi quang, giao thoa giữa ánh sáng tới có góc phản xạ xác định với ánh sáng phản xạ gây ra phân bố cường độ điện trường xác định. Đường truyền của ánh sáng bị giới hạn trong sợi quang với góc phản xạ xác định cũng như phân bố cường độ điện trường xác định được gọi là mode lan truyền.

Số lượng mode lan truyền ánh sáng  $N$  là một số nguyên lớn nhất thỏa mãn điều kiện:

$$2a \cdot \sin\theta_c \geq N \cdot \lambda / 2$$

trong đó  $\theta_c$  được tính như ở trên như sau :

$$\sin\theta_c = \sin\theta_{\max} / n_1 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / n_1$$

2a: đường kính của lõi sợi quang.

Từ đó ta có  $N$  là số nguyên lớn nhất thỏa mãn điều kiện:

$$N \leq (4a/\lambda) \cdot (\sqrt{n_1^2 - n_2^2} / n_1)$$

Vì  $\lambda = \lambda_0 / n_1$ , nên

$$N \leq (4a/\lambda_0) \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Ví dụ cho  $n_1 = 1,475$ ,  $n_2 = 1,46$ ,  $2a = 50 \mu\text{m}$  và  $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$  thì ta có số lượng mode là  $N = 16$ .

Sợi quang có số lượng mode truyền lan nhiều như đã nói ở ví dụ trên được gọi là sợi đa mode (có  $N > 1$ ).

Nếu  $n_1 = 1,463$ ,  $n_2 = 1,46$ ,  $2a = 10 \mu\text{m}$  và bước sóng ánh sáng  $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$  ta có  $N = 1$ .

Ở đây  $N = 1$  có nghĩa là chỉ có thể tồn tại một mode truyền lan ánh sáng. Sợi quang chỉ có một mode truyền lan như ví dụ này thì được gọi là sợi đơn mode.

Vì số lượng mode truyền lan là hàm số của bước sóng  $\lambda$  nên nếu sợi có thể được sử dụng như sợi đơn mode ở bước sóng này thì đối với bước sóng ngắn hơn không còn là sợi đơn mode nữa.

Bước sóng nhỏ nhất mà tại đó, sợi quang làm việc như sợi đơn mode được gọi là bước sóng cắt.

Bước sóng cắt  $\lambda_c$  có thể được tính theo phương trình :

$$\lambda_c = 4a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

### 5.3.3. Phân loại sợi quang :

Như trong bảng 5.1, sợi quang được phân loại theo nhiều cách như phân loại theo vật liệu điện môi sử dụng, theo mode truyền dẫn, theo phân bố chiết suất khúc xạ của lõi v.v...

**Bảng 5.1.** Phân loại sợi quang

Phân loại theo vật liệu điện môi	Sợi quang thạch anh
	Sợi quang thủy tinh đa vật liệu
	Sợi quang bằng nhựa
Phân loại theo Mode truyền lan	Sợi quang đơn mode
	Sợi quang đa mode
Phân loại theo phân bố chiết suất khúc xạ	Sợi quang chiết suất bậc (SI)
	Sợi quang chiết suất biến đổi đều (GI)

#### a) Phân loại theo vật liệu điện môi :

Khi phân loại theo vật liệu điện môi thì có tổng số 03 loại, một loại sợi bao gồm phần lớn thủy tinh thạch anh, một loại gồm nhiều loại vật liệu thủy tinh và một loại là sợi bằng nhựa.

Các sợi quang thạch anh không những chỉ chứa thạch anh nguyên chất ( $\text{SiO}_2$ ) mà còn có các tạp chất thêm vào như Ge, B và F v.v.. để làm thay đổi chiết suất khúc xạ.

Các sợi quang đa vật liệu có thành phần chủ yếu là soda lime, thủy tinh hoặc thủy tinh boro - silicat v.v... Đối với vật liệu sản xuất sợi quang bằng nhựa, silicon resin và acrylic resin (tức là Polymethyl methacrylate : PMMA) thường được sử dụng.

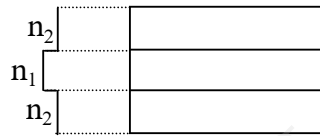
Đối với mạng lưới viễn thông, sợi quang thủy tinh thạch anh được sử dụng nhiều nhất bởi vì nó có khả năng cho sản phẩm có độ suy hao hấp và các đặc tính truyền dẫn ổn định trong thời gian dài. Nhưng các loại sợi bằng nhựa thường được sử dụng ở những nơi cần truyền dẫn cự ly ngắn, khó đi cáp bằng máy móc, thuận tiện trong sử dụng lắp đặt thủ công (như dễ dàng hàn nối, không phương hại đến các đặc tính truyền dẫn khi bẻ gập v.v..) mặc dù loại này có đặc tính truyền dẫn kém.

#### b) Phân loại theo Mode lan truyền:

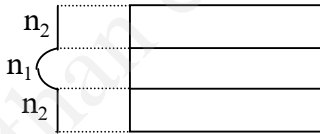
Theo Mode lan truyền, sợi quang được chia thành hai nhóm. Một là sợi quang đơn mode (được gọi tắt là loại SM) loại này chỉ cho một mode lan truyền. Loại sợi thứ hai là loại đa mode, cho phép nhiều mode lan truyền.

c) Phân loại theo phân bố chiết suất khúc xạ:

Các sợi quang có thể tạm phân loại thành hai nhóm theo phân bố chỉ số khúc xạ của lõi sợi. Một loại gọi là sợi quang chiết suất phân bậc (Step Index viết tắt là SI) ở loại sợi này chiết suất thay đổi theo bậc giữa lõi và vỏ. Loại thứ hai gọi là sợi quang chiết suất biến đổi (Graded Index viết tắt là GI). Loại này có chiết suất thay đổi một cách từ từ.



**Hình 5.4.a** Sợi quang chiết suất phân bậc



**Hình 5.4.b** Sợi quang chiết suất biến đổi

Các tham số cơ bản để xác định cấu trúc sợi quang là đường kính lõi sợi, đường kính lớp bao (đường kính vỏ), khẩu độ số (NA), dạng phân bố chiết suất khúc xạ v.v... Thêm vào đó, còn có các thông số phụ khác như tỷ số không đồng tâm, tỷ số không tròn.

## 5.4. Các bộ biến đổi:

### 5.4.1. Bộ biến đổi điện-quang (E/O):

Bộ biến đổi điện-quang (E/O) có nhiệm vụ phát ra sóng quang, chuyển đổi dòng điện  $i_E$  ở đầu vào thành sóng quang ở đầu ra có công suất quang  $\Phi_{E/O}$  được thể hiện dưới dạng công suất của sóng điện từ :

$$\Phi_{E/O} = a_0 + a_1 i_E$$

trong đó  $a_0, a_1$  là các hằng số.



Trong trường hợp lý tưởng công suất quang phát ra  $\Phi_{E/O}$  phải tỉ lệ với cường độ dòng điện kích thích  $i_E$  (hệ số  $a_0 = 0$ ):

$$\Phi_{E/O} = a_1 i_E$$

Hệ số tỉ lệ  $a_1$  đặc trưng cho hiệu suất bức xạ quang.

Mặt khác công suất điện  $P_E$  đặt ở đầu vào của bộ biến đổi điện-quang có thể coi là tỉ lệ với bình phương dòng điện  $i_E^2$ . Vì vậy công suất quang bức xạ sẽ tỉ lệ với căn bậc hai của công suất điện đặt ở đầu vào của bộ biến đổi điện-quang. Các bộ biến đổi này thường là các diode laser (LD) hay diode phát quang (LED).

#### 5.4.2. Bộ biến đổi quang - điện (O/E):

Ở phía đầu ra của sợi quang, công suất quang thu nhận được  $\Phi_{O/E}$  sẽ được chuyển đổi ngược lại thành dòng điện  $i_R$  ở đầu ra bởi bộ biến đổi quang-điện O/E.

$$i_R = \sigma_0 \cdot \Phi_{O/E}$$

$\sigma_0$  : hệ số đáp ứng

Mặt khác do công suất tín hiệu điện  $P_R$  thu được tỉ lệ với bình phương dòng điện  $i_R^2$  nên công suất này tỉ lệ với bình phương của công suất sóng quang. Hoạt động của bộ thu hoàn toàn đối xứng lại với bộ phát. ở đầu vào của nó. Các bộ biến đổi quang-điện thường là các Photo diode.

#### 5.5. Các thông số cơ bản của hệ thống thông tin sợi quang:

- Tốc độ bit  $D$  nhị phân cần truyền.
- Chiều dài  $l$  của đường truyền.
- Xác suất sai  $\varepsilon$  trên mỗi bit chấp nhận được.