

Fibra ottica

github.com/asdrubalini

November 5, 2021

1 Teoria

1.1 Utilizzo

La fibra ottica è un mezzo vetroso che convoglia un raggio luminoso al suo interno. Il raggio può essere trasmesso solo se il materiale di cui è composto la fibra ha delle caratteristiche tali da risultare in una riflessione totale.

1.2 Legge di Snell

Esiste una relazione tra l'angolo di incidenza, l'angolo con cui viene rifratto il raggio nel secondo mezzo e gli indici di rifrazione dei due mezzi. La relazione è descritta dalla legge di Snell:

$$\frac{\sin(\phi_i)}{\sin(\phi_r)} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Dalla formula si capisce che, aumentando l'angolo di incidenza, aumenta anche quello di rifrazione. Quando l'angolo di rifrazione raggiunge i 90 gradi, il segnale viene riflesso completamente. L'angolo di incidenza necessario per questa evenienza si chiama angolo limite ϕ_L e si trova con la formula inversa della legge di Snell:

$$\sin(\phi_L) = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

1.3 Apertura numerica

L'apertura numerica è un parametro che caratterizza l'accoppiamento della fibra con la sorgente di radiazione.

$$NA = n_0 \sin(\phi_M) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3)$$

$$NA = n_1 \cos(\phi_L) \quad (4)$$

1.4 Angolo di accettazione

Il segnale deve entrare nella fibra con un certo angolo, definito angolo di accettazione. L'angolo di accettazione si può ricavare dall'apertura numerica:

$$\phi M = \arcsin(NA) \quad (5)$$

1.5 Modi di propagazione

Dati i parametri della fibra, possono esistere diversi raggi luminosi che la attraversano con percorsi diversi, distanze diverse e tempi diversi. Il numero di questi raggi è definito come modi di propagazione e si calcola con la seguente equazione:

$$M = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi \cdot d \cdot NA}{\lambda} \right)^2 \quad (6)$$

1.6 Distanza massima di un raggio

Ogni modo di propagazione corrisponde ad un raggio che percorre un percorso diverso all'interno della fibra, ed essendo la velocità sempre la stessa, le distanze possono variare. La distanza minima corrisponde alla lunghezza della fibra, mentre la distanza massima si può calcolare con gli indici di rifrazione di nucleo e mantello.

$$d_{max} = \frac{l \cdot n_1}{n_2} \quad (7)$$

1.7 Lunghezza d'onda di taglio di una fibra monomodale

Una fibra monomodale ha un solo modo che può essere propagato. Esiste una relazione tra il diametro del nucleo, l'apertura numerica e la lunghezza d'onda limite o critica λ_c .

$$d = 0.76 \frac{\lambda_c}{NA} \quad [m] \quad (8)$$

1.8 Banda di una fibra

La banda di una fibra si può calcolare sapendo la banda modale B_m e la banda cromatica B_c .

$$B = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{B_m^2} + \frac{1}{B_c^2}}} \quad [MHz] \quad (9)$$

Banda modale:

La dispersione modale è nulla per le fibre monomodali

$$\Delta t m_o = 3333 \cdot \frac{n_1}{n_2} \cdot (n_1 - n_2) \quad \left[\frac{ns}{km} \right] \quad (10)$$

$$B m_0 = \frac{0.44 \cdot 10^3}{\Delta t m_0} \quad [MHz \cdot km] \quad (11)$$

$$B m = \frac{B m_0}{l^{0.85}} \quad [MHz] \quad (12)$$

Banda cromatica:

$$\Delta t c_o = \mu \cdot \Delta \lambda \quad \left[\frac{ps}{km} \right] \quad (13)$$

$$B c_0 = \frac{0.44 \cdot 10^6}{\Delta t c_0} \quad [MHz \cdot km] \quad (14)$$

$$B c = \frac{B c_0}{l} \quad [MHz] \quad (15)$$

1.9 Scarto relativo degli indici di rifrazione

$$S = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2 \cdot n_1^2} \cdot 100 \quad (16)$$

1.10 Perdite intrinseche ed estrinseche

Le perdite intrinseche di una fibra sono quelle che dipendono dalla tecnologia, mentre quelle estrinseche dipendono da difetti di produzione.

Intrinseche, per scattering:

$$P = \frac{0.85}{\lambda^4} \quad (17)$$

Estrinseche:

Tronchi con diametro diverso:

$$A_d = 20 \cdot \log\left(\frac{d_s}{d_r}\right) \quad [dB] \quad (18)$$

Tronchi con apertura numerica diversa:

$$A_N A = 20 \cdot \log\left(\frac{N A_s}{N A_r}\right) \quad [dB] \quad (19)$$

Tronchi con indice di rifrazione diversi:

$$\tau = \frac{4}{2 + \frac{n_1 s}{n_1 r} + \frac{n_1 r}{n_1 s}} \quad (20)$$

$$A_N = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{\tau}\right) \quad [dB] \quad (21)$$