

NOME

- 1 Caratteristiche delle onde elettromagnetiche TEM, TE e TM e mezzi trasmissivi nei quali sono rispettivamente utilizzate. Limiti di utilizzo delle linee di trasmissione e delle guide d'onda
- 2 Un'onda EM di frequenza 700 GHz, che si propaga in un mezzo con indice di rifrazione assoluto pari a 1,6, incide in modo perpendicolare la superficie di un mezzo con indice 1,42. Determinare la velocità di propagazione del raggio incidente e la lunghezza d'onda del raggio rifratto. In quale dei due mezzi, velocità di propagazione e lunghezza d'onda risultano maggiori.
- 3 In cosa consiste e come si determina l'angolo limite in una fibra ottica.
- 4 In una fibra ottica, l'angolo limite è pari a 76° con indice di rifrazione del nucleo pari a 1,6. Determinare l'indice di rifrazione nel mantello.
- 5 In una fibra ottica l'angolo di accettazione è pari a 16° e l'indice di rifrazione del mantello è pari a 1,48. Determinare l'indice di rifrazione del nucleo e l'angolo limite.
- 6 Come è fatta una fibra ottica. Limite di utilizzo delle fibre monomodali.
- 7 In cosa consiste la dispersione modale, come si manifesta nel segnale trasmesso, come limita la frequenza di trasmissione e come può essere ridotta.
- 8 Cosa si può dire riguardo alla velocità di propagazione e al percorso dei raggi luminosi nelle fibre graded index. Come è possibile ottenere con queste una riduzione della dispersione modale.
- 9 In cosa consiste la dispersione cromatica e come si può intervenire nei suoi confronti.

1. a) caratteristiche delle onde ElettroMagnetiche TEM, TE e TM
 b) mezzi trasmissivi nei quali sono utilizzate le onde EM per la TX dell'informazione
 c) limiti di utilizzo delle linee di tx e delle GO
 - a) Le onde TEM sono onde EM con vettori di C.E e di C.M che giacciono su un piano trasverso (cioè perpendicolare alla direzione di propagazione e in ogni punto perpendicolari tra loro). Onde TE e TM hanno una componente di campo nella direzione di propagazione
 - b) Le onde TEM sono il modo principale di propagazione delle onde guidate da una coppia di conduttori metallici: linee di TX bifilari (schermate o no) e cavi coax
 Il campo E è perpendicolare alle superfici metalliche
 Il campo H è tangenziale alle superfici metalliche [formano una linea chiusa attorno a ciascun conduttore]. Inoltre, le onde TEM sono il modo di propagazione principale nelle F.O. (supporti non metallici) e sono caratteristiche delle onde EM irradiate, a grande distanza dalla sorgente di radiazione (cioè dall'antenna trasmittente)
 - c) Le linee di TX, bifilari (schermate o no) e cavi coassiali sono utilizzati a frequenze relativamente basse (una decina di MHz le bifilari non schermate, frequenze più elevate quelle schermate e qualche GHz i cavi coassiali: freq più basse i coassiali di dimensioni maggiore [coax STD], più alta il cd coassialino e ancora più alta i μ coassiali). Per un dato rapporto tra il diametro del conduttore esterno e quello interno le perdite sono minime.
 Le Guide d'onda (costituite da un solo conduttore di forma circolare o rettangolare) possono essere utilizzate solo a partire da un minimo valore di frequenza (qualche GHz).
2. Un'onda EM incide in modo perpendicolare la superficie di un materiale con diverso indice di rifrazione. Erano dati i 2 indici di rifrazione e la frequenza dell'onda. Si trattava di determinare la velocità di trasmissione e la lunghezza d'onda in uno dei due mezzi.
 Si applicano direttamente le note formule

$$u = c/n \quad \text{con } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad \text{e} \quad \lambda = u/f$$
 Velocità di propagazione e lunghezza d'onda sono maggiori dove l'indice di rifrazione è minore.
3. In cosa consiste l'angolo limite e come si determina.
 L'angolo limite è il minimo angolo con il quale un raggio di luce che si propaga nel nucleo di una FO deve incidere contro la superficie del mantello per ottenere un raggio guidato, cioè per non essere irradiato nel mantello ed essere completamente riflesso e propagarsi senza perdite nel nucleo. Rappresentato un raggio che si propaga nel nucleo di una FO, caratterizzato da un certo valore dell'indice di rifrazione, e che incide, secondo un determinato angolo, la superficie del mantello, caratterizzato da un diverso valore dell'indice di rifrazione, il raggio che si propaga nel nucleo, quando incide contro la superficie del mantello in parte viene riflesso nel nucleo e in parte prosegue nel mantello. L'angolo di rifrazione per la legge di SNELL risulta maggiore dell'angolo incidente e, aumentando l'angolo di incidenza, ad un certo punto l'angolo di rifrazione raggiunge i 90°. In corrispondenza a questo, l'angolo di incidenza prende il nome di angolo limite. I raggi incidenti oltre l'angolo limite sono completamente riflessi nel nucleo ed è possibile la trasmissione per onde guidate. (In realtà solo alcuni modi di propagazione sono possibili, quindi superare l'angolo limite è una condizione necessaria ma non sufficiente per avere la propagazione guidata).
4. [Gli es 4 e 5 sono collegati all'es 3].
 Era noto l'angolo limite e uno dei due indici. Bisognava determinare l'altro.
 Si applica direttamente una formula
5. Era noto l'angolo di accettazione e uno dei 2 indici (del nucleo o del mantello), bisognava determinare l'altro indice e l'angolo limite.
 Dall'angolo di accettazione si ricava l'apertura numerica NA e poi l'indice che manca, quindi l'angolo limite, come nell'esercizio precedente
6. Limite di utilizzo delle fibre monomodali. Nucleo e mantello hanno diversi indici di rifrazione con $n_{\text{mantello}} < n_{\text{nucleo}}$. Non tutti i raggi con angolo di incidenza $>$ dell'angolo limite sono raggi guidati. Solo alcuni modi sono possibili. Nelle monomodali deve risultare $M \geq 1$, quindi per un certo valore di NA (che dipende da n_1 e n_2) e per un certo valore del diametro del nucleo, esiste una lunghezza d'onda minima della luce che si può propagare nella fibra. Questa lunghezza d'onda prende il nome di lunghezza d'onda di taglio ($\lambda_{\text{cut-off}}$) e si determina imponendo $M=1$ nella formula che serve a determinare il numero di modi di propagazione.

7. Dispersione modale

- a. In cosa consiste
 - b. Come si manifesta nel segnale trasmesso
 - c. Come limita la frequenza di trasmissione
 - d. Come può essere ridotta (la dispersione modale)
- a) In una fibra multimodale un raggio luminoso iniettato nella fibra può seguire molteplici percorsi, uno per ogni modo di propagazione, impiegando tempi diversi a percorrere la linea in tutta la sua lunghezza. Il raggio che segue il percorso parallelo all'asse impiega il tempo minore. La dispersione modale è la differenza tra il tempo impiegato dal raggio che segue il percorso più lungo e quello che segue il percorso più breve
 - b) L'effetto della dispersione modale si manifesta con l'allargamento e l'arrotondamento dell'impulso ricevuto
 - c) Maggiore è l'allargamento dell'impulso, maggiore è il limite sulla frequenza di ripetizione degli impulsi per interferenza intersimbolica (limita la banda). La banda è massima per fibre monomodali (non hanno dispersione modale e la velocità di trasmissione è massima).
 - d) Per ridurre la dispersione modale nelle fibre multimodali
 - d1) Si può ridurre la differenza degli indici di rifrazione di nucleo e mantello e quindi l'apertura numerica.
 - d2) Si può ridurre il diametro del nucleo (dispersione nulla se monomodali, il diametro del nucleo è circa $5\ \mu\text{m}$ per lunghezza d'onda nel lontano infrarosso).
 - d3) Si può aumentare la lunghezza d'onda della radiazione utilizzata.
 - d4) Si possono utilizzare fibre graded index.

8. Velocità di trasmissione e percorso dei raggi luminosi nelle fibre graded index

L'indice di rifrazione del nucleo ha un valore non costante, superiore al centro e inferiore vicino al mantello, perciò il raggio luminoso, attraversando strati con indice di rifrazione diverso segue un percorso curvo. Inoltre, il raggio è più lento dove attraversa gli strati più interni e accelera nelle vicinanze del mantello. Si può fare in modo che i raggi che seguono percorsi diversi arrivino a destinazione in tempi circa uguali. In questo modo si ottiene la riduzione della dispersione modale.

9. Dispersione cromatica: in cosa consiste e come si può ridurre (o annullare). La distorsione è dovuta alle diverse componenti spettrali della luce (diverse frequenze quindi diverse lunghezze d'onda quindi diverse velocità di attraversamento). Pertanto si ha un ulteriore allargamento dell'impulso luminoso. Si può ridurre a zero con luce monocromatica (monofrequenziale) generata da diodo laser.