

# Control de Comunicacions Òptiques

Grup 30 - 23 de març de 2007

Temps : 1h15'

Nom:

## TEST (6 punts)

Marqueu la resposta correcta. Cada resposta correcta suma 0,4 punts mentre que cada resposta errònia resta 0,1 punts.

- En una fibra òptica s'ha de complir que:
  - L'índex de refracció del nucli ha de ser més petit que el del revestiment
  - L'índex de refracció del nucli ha de ser igual que el del revestiment
  - L'índex de refracció del nucli ha de ser més gran que el del revestiment**
  - Cap de les anteriors
- Els rajos que es propaguen per l'interior d'una fibra òptica descriuen un angle d'incidència del nucli cap al revestiment (respecte la normal a la superfície de separació) que per tal de garantir reflexió interna total ha de ser:
  - Inferior a l'angle crític
  - Superior a l'angle crític**
  - Inferior a l'angle d'acceptació
  - Superior a l'angle d'acceptació
- Els rajos que provenen de l'exterior de la fibra, només compliran reflexió interna total quan l'angle d'incidència (respecte la normal a la superfície de separació) sigui:
  - Inferior a l'angle crític
  - Superior a l'angle crític
  - Inferior a l'angle d'acceptació**
  - Superior a l'angle d'acceptació
- De l'obertura numèrica (NA) d'una fibra òptica podem dir que:
  - Com més gran és, menor és l'angle d'acceptació
  - Com més gran és, menor és la dispersió modal en fibres multimode
  - Com més gran és, menor és la freqüència normalitzada
  - En fibres monomode tinc un compromís entre el radi del nucli i NA**
- Tenint present el concepte de longitud d'ona de tall podem assegurar que:
  - Si una fibra és monomode a 3<sup>a</sup> finestra, també ho serà a 2<sup>a</sup> i a 1<sup>a</sup>.
  - Si una fibra és monomode a 3<sup>a</sup> finestra, no ho pot ser a 2<sup>a</sup> ni a 1<sup>a</sup>.
  - Si una fibra és monomode a 1<sup>a</sup> finestra, també ho serà a 2<sup>a</sup> i a 3<sup>a</sup>.**
  - Si una fibra és monomode a 1<sup>a</sup> finestra, no ho pot ser a 2<sup>a</sup> ni a 3<sup>a</sup>.
- Les dimensions (diàmetre nucli/revestiment) de les fibres monomode/multimode estàndard són:
  - 9/125 µm (SM) – 62.5/125 µm (MM)**
  - 9/125 µm (MM) – 62.5/125 µm (SM)
  - 9/18 µm (SM) – 62.5/125 µm (MM)
  - 9/18 µm (MM) – 62.5/125 µm (SM)
- Referent a la dispersió en fibres òptiques podem dir que:
  - En fibres multimode acostuma a dominar la dispersió intermodal
  - En fibres monomode acostuma a dominar la dispersió del material
  - La dispersió guia-ona acostuma a ser poc rellevant en la dispersió cromàtica
  - Totes són certes**
- Les fibres de gradient d'índex (GRIN) es van dissenyar per tal de:
  - Reduir la dispersió modal en les fibres multimode
  - Reduir la dispersió cromàtica en les fibres monomode
  - Augmentar l'ample de banda de les fibres multimode
  - Les opcions a i c són correctes**

9. La dispersió cromàtica és pràcticament nul·la en fibres monomode estàndard a:
- Primera finestra
  - Segona finestra**
  - Tercera finestra
  - La dispersió cromàtica no es pot donar en fibres monomode
10. El que limita la màxima distància de transmissió d'un sistema de transmissió per fibra òptica podem dir que:
- És la dispersió quan la velocitat de transmissió és baixa
  - És l'atenuació quan la velocitat de transmissió és elevada
  - És la dispersió quan la velocitat de transmissió és elevada**
  - És sempre l'atenuació
11. De l'amplada de banda d'una fibra òptica podem dir que:
- És proporcional al paràmetre de dispersió i inversament proporcional a la distància
  - És inversament proporcional al paràmetre de dispersió i inversament proporcional a la distància**
  - És proporcional al paràmetre de dispersió i proporcional a la distància
  - És inversament proporcional al paràmetre de dispersió i proporcional a la distància
12. Es disposa d'una fibra òptica monomode de longitud fixa. Tenint en compte únicament la limitació d'ample de banda donada per la dispersió cromàtica, la màxima velocitat de transmissió d'un senyal RZ serà:
- La meitat que en el cas NRZ**
  - La mateixa que en el cas NRZ
  - El doble que en el cas NRZ
  - No podem dir res al respecte
13. Una fibra de salt d'índex presenta les següents característiques: diàmetre del nucli  $2a=50$  micres, índex de refracció del nucli  $n_1=1.47$ , diferència relativa d'índexs  $\Delta=0.001$  i coeficient de dispersió del material  $D_M=25$  ps/nm/Km. Si injectem llum procedent d'un LED amb una longitud d'ona central  $\lambda=1550$  nm i una amplada espectral  $\Delta\lambda=80$  nm, deduïu la màxima distància a la que podem transmetre un senyal digital de 10 Mb/s en format RZ.
- 0.5 km
  - 1 km
  - 5 km**
  - 10 km
14. L'atenuació intrínseca al fet d'unir dues fibres amb NA diferents és:
- $10\log(NA_1/NA_2)$  quan el sentit de propagació és  $NA_1 \rightarrow NA_2$  i  $NA_1 < NA_2$
  - $20\log(NA_1/NA_2)$  quan el sentit de propagació és  $NA_1 \rightarrow NA_2$  i  $NA_1 < NA_2$
  - $10\log(NA_1/NA_2)$  quan el sentit de propagació és  $NA_1 \rightarrow NA_2$  i  $NA_1 > NA_2$
  - $20\log(NA_1/NA_2)$  quan el sentit de propagació és  $NA_1 \rightarrow NA_2$  i  $NA_1 > NA_2$**
15. Es connecten dues fibres exactament iguals que tenen un radi del nucli  $a$  i una obertura numèrica NA. Les pèrdues degudes exclusivament a la distància de separació ( $D$ ) entre elles es poden aproximar per:
- $L \approx 20\log\left[1 + D\left(\frac{NA}{n_0 a}\right)\right]$**
  - $L \approx 10\log\left[1 + D\left(\frac{NA}{n_0 a}\right)\right]$
  - $L \approx 20\log\left[1 + D\left(\frac{n_0 a}{NA}\right)\right]$
  - $L \approx 10\log\left[1 + D\left(\frac{n_0 a}{NA}\right)\right]$

# Control de Comunicacions Òptiques

Grup 30 - 23 de març de 2007

Temps : 1h15'

Nom:

## TEST (6 punts)

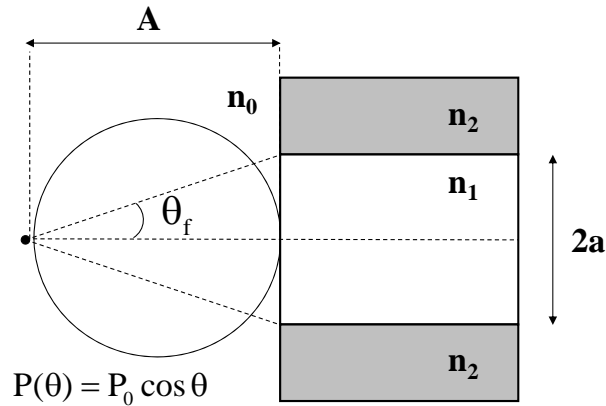
Marqueu la resposta correcta. Cada resposta correcta suma 0,4 punts mentre que cada resposta errònia resta 0,1 punts.

- Es connecten dues fibres exactament iguals que tenen un radi del nucli  $a$  i una obertura numèrica  $NA$ . Les pèrdues degudes exclusivament a la distància de separació ( $D$ ) entre elles es poden aproximar per:
  - $L \approx 20 \log [1 + D(n_0 a / NA)]$
  - $L \approx 10 \log [1 + D(n_0 a / NA)]$
  - $L \approx 20 \log [1 + D(NA / n_0 a)]$**
  - $L \approx 10 \log [1 + D(NA / n_0 a)]$
- L'atenuació intrínseca al fet d'unir dues fibres amb  $NA$  diferents és:
  - $10 \log(NA_1 / NA_2)$  quan el sentit de propagació és  $NA_1 \rightarrow NA_2$  i  $NA_1 > NA_2$
  - $20 \log(NA_1 / NA_2)$  quan el sentit de propagació és  $NA_1 \rightarrow NA_2$  i  $NA_1 > NA_2$**
  - $10 \log(NA_1 / NA_2)$  quan el sentit de propagació és  $NA_1 \rightarrow NA_2$  i  $NA_1 < NA_2$
  - $20 \log(NA_1 / NA_2)$  quan el sentit de propagació és  $NA_1 \rightarrow NA_2$  i  $NA_1 < NA_2$
- Una fibra de salt d'índex presenta les següents característiques: diàmetre del nucli  $2a=50$  micres, índex de refracció del nucli  $n_1=1.47$ , diferència relativa d'índexs  $\Delta=0.001$  i coeficient de dispersió del material  $D_M=25$  ps/nm/Km. Si injectem llum procedent d'un LED amb una longitud d'ona central  $\lambda=1550$  nm i una amplada espectral  $\Delta\lambda=80$ nm, deduiu la màxima distància a la que podem transmetre un senyal digital de 10 Mb/s en format RZ.
  - 5 km**
  - 10 km
  - 0.5 km
  - 1 km
- Es disposa d'una fibra òptica monomode de longitud fixa. Tenint en compte únicament la limitació d'ample de banda donada per la dispersió cromàtica, la màxima velocitat de transmissió d'un senyal RZ serà:
  - El doble que en el cas NRZ
  - La meitat que en el cas NRZ**
  - La mateixa que en el cas NRZ
  - No podem dir res al respecte
- De l'amplada de banda d'una fibra òptica podem dir que:
  - És proporcional al paràmetre de dispersió i proporcional a la distància
  - És inversament proporcional al paràmetre de dispersió i proporcional a la distància
  - És proporcional al paràmetre de dispersió i inversament proporcional a la distància
  - És inversament proporcional al paràmetre de dispersió i inversament proporcional a la distància**
- El que limita la màxima distància de transmissió d'un sistema de transmissió per fibra òptica podem dir que:
  - És la dispersió quan la velocitat de transmissió és elevada**
  - És l'atenuació quan la velocitat de transmissió és elevada
  - És la dispersió quan la velocitat de transmissió és baixa
  - És sempre l'atenuació

7. La dispersió cromàtica és pràcticament nul·la en fibres monomode estàndard a:
- Tercera finestra
  - Segona finestra**
  - Primera finestra
  - La dispersió cromàtica no es pot donar en fibres monomode
8. Les fibres de gradient d'índex (GRIN) es van dissenyar per tal de:
- Reduir la dispersió modal en les fibres multimode
  - Reduir la dispersió cromàtica en les fibres monomode
  - Augmentar l'ample de banda de les fibres multimode
  - Les opcions a i c són correctes**
9. Referent a la dispersió en fibres òptiques podem dir que:
- En fibres monomode acostuma a dominar la dispersió del material
  - La dispersió guia-ona acostuma a ser poc rellevant en la dispersió cromàtica
  - En fibres multimode acostuma a dominar la dispersió intermodal
  - Totes són certes**
10. Les dimensions (diàmetre nucli/revestiment) de les fibres monomode/multimode estàndard són:
- 9/18  $\mu\text{m}$  (SM) – 62.5/125  $\mu\text{m}$  (MM)
  - 9/18  $\mu\text{m}$  (MM) – 62.5/125  $\mu\text{m}$  (SM)
  - 9/125  $\mu\text{m}$  (SM) – 62.5/125  $\mu\text{m}$  (MM)**
  - 9/125  $\mu\text{m}$  (MM) – 62.5/125  $\mu\text{m}$  (SM)
11. Tenint present el concepte de longitud d'ona de tall podem assegurar que:
- Si una fibra és monomode a 1<sup>a</sup> finestra, també ho serà a 2<sup>a</sup> i a 3<sup>a</sup>.**
  - Si una fibra és monomode a 1<sup>a</sup> finestra, no ho pot ser a 2<sup>a</sup> ni a 3<sup>a</sup>.
  - Si una fibra és monomode a 3<sup>a</sup> finestra, també ho serà a 2<sup>a</sup> i a 1<sup>a</sup>.
  - Si una fibra és monomode a 3<sup>a</sup> finestra, no ho pot ser a 2<sup>a</sup> ni a 1<sup>a</sup>.
12. De l'obertura numèrica (NA) d'una fibra òptica podem dir que:
- Com més gran és, menor és l'angle d'acceptació
  - Com més gran és, menor és la dispersió modal en fibres multimode
  - Com més gran és, menor és la freqüència normalitzada
  - En fibres monomode tinc un compromís entre el radi del nucli i NA**
13. Els rajos que provenen de l'exterior de la fibra, només compliran reflexió interna total quan l'angle d'incidència (respecte la normal a la superfície de separació) sigui:
- Inferior a l'angle d'acceptació**
  - Superior a l'angle d'acceptació
  - Inferior a l'angle crític
  - Superior a l'angle crític
14. Els rajos que es propaguen per l'interior d'una fibra òptica descriuen un angle d'incidència del nucli cap al revestiment (respecte la normal a la superfície de separació) que per tal de garantir reflexió interna total ha de ser:
- Inferior a l'angle d'acceptació
  - Superior a l'angle d'acceptació
  - Inferior a l'angle crític
  - Superior a l'angle crític**
15. En una fibra òptica s'ha de complir que:
- L'índex de refracció del nucli ha de ser més petit que el del revestiment
  - L'índex de refracció del nucli ha de ser igual que el del revestiment
  - L'índex de refracció del nucli ha de ser més gran que el del revestiment**
  - Cap de les anteriors

### PROBLEMA (4 punts)

Considereu el conjunt font més fibra de la figura. Determineu la fracció de potència òptica injectada a la fibra respecte la potència òptica total radiada per la font (eficiència d'acoblament) en funció de la distància  $A$ . Preneu la font com a puntual i amb un diagrama de radiació cosinusoidal.



### Resolució:

L'eficiència d'acoblament es defineix com la fracció de potència òptica injectada a la fibra respecte la potència total radiada.

$$\eta \equiv \frac{P_{IN}}{P_T}$$

El diagrama de radiació de la font segueix una dependència en forma de cosinus de  $\theta$  (angle respecte l'eix de la fibra). Assumint que la radiació és únicament en un sentit de l'espai, la potència total radiada ve donada per la integració del diagrama de radiació en l'angle sòlid acotat per un marge de  $\theta$  entre 0 i  $\pi/2$ :

$$P_T = 2\pi \int_0^{\pi/2} P_0 \cos \theta \sin \theta \partial \theta = 2\pi P_0 \left. \frac{\sin^2 \theta}{2} \right|_0^{\pi/2} = \pi P_0$$

Pel que fa a la potència òptica injectada a la fibra, hem de tenir present les pèrdues que es donaran per reflexió en el canvi de medi ( $R$ ) així com les que es donaran per la restricció angular ( $\theta_L$ ) en la radiació de la font. L'expressió resultant és la següent:

$$P_{IN} = 2\pi \int_0^{\theta_L} (1-R) P_0 \cos \theta \sin \theta \partial \theta = 2\pi (1-R) P_0 \left. \frac{\sin^2 \theta}{2} \right|_0^{\theta_L} = \pi (1-R) P_0 \sin^2 \theta_L$$
$$R = \left( \frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0} \right)^2$$

Així doncs l'eficiència quàntica es pot deixar en funció de l'angle limitador:

$$\eta \equiv \frac{P_{IN}}{P_T} = \frac{\pi P_0 (1-R) \sin^2 \theta_L}{\pi P_0} = (1-R) \sin^2 \theta_L$$

La limitació angular en qualsevol fibra si es vol garantir el principi de “reflexió total” ve donat per l’angle d’acceptació de la fibra  $\theta_a$ . En cas de que la font estigui massa allunyada de la fibra, pot passar que l’angle de visió ( $\theta_f$ ) entre la font puntual i el nucli de la fibra sigui inferior al propi angle d’acceptació. Per tal de determinar a partir de quin punt l’angle de visió serà el més restrictiu imposablem la condició que aquest sigui inferior a l’angle d’acceptació. Tenim doncs:

$$\theta_f < \theta_a$$

$$\text{tg}(\theta_f) = \frac{a}{A}, \quad \sin(\theta_a) = \frac{NA}{n_0}$$

Ara, tenint en compte que l’angle d’acceptació de la fibra és en general molt petit, es poden fer les aproximacions següents:

$$\theta_a \downarrow \downarrow \rightarrow \sin(\theta_a) \approx \theta_a \rightarrow \theta_a \approx \frac{NA}{n_0}$$

$$\theta_f < \theta_a \rightarrow \theta_f \downarrow \downarrow \rightarrow \text{tg}(\theta_f) \approx \theta_f \rightarrow \theta_f \approx \frac{a}{A}$$

Fixeu-vos que l’angle de visió pot arribar a ser molt gran però, quan és el que limita, ha de ser inferior a l’angle d’acceptació i per força ha de ser petit. Així doncs la condició anterior queda com:

$$\theta_f < \theta_a \rightarrow \frac{a}{A} < \frac{NA}{n_0} \rightarrow A > \frac{n_0 a}{NA}$$

En aquesta situació l’angle limitador seria l’angle de visió i l’eficiència quàntica seria:

$$A > \frac{n_0 a}{NA} \rightarrow \theta_L = \theta_f \rightarrow \eta \equiv \frac{P_{IN}}{P_T} = (1-R) \sin^2 \theta_f \approx (1-R) \left( \frac{a}{A} \right)^2$$

Evidentment, en cas contrari l’angle limitador serà l’angle d’acceptació de la fibra:

$$A \leq \frac{n_0 a}{NA} \rightarrow \theta_L = \theta_a \rightarrow \eta \equiv \frac{P_{IN}}{P_T} = (1-R) \sin^2 \theta_a = (1-R) \left( \frac{NA}{n_0} \right)^2$$