

---

Col·lecció de Problemes de Comunicacions Òptiques

# Fonts Òptiques

---



Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

## Exercici 1

Quants fotons per segon corresponen a 1 W de llum de tercera finestra ?.

**Solució:**  $7.8 \cdot 10^{18}$  fot/seg.

## Exercici 2

Si el temps de vida del portador és de 1 ns, de quin ordre serà la màxima velocitat de transmissió d'un LED ?.

**Solució:** 333.3 Mb/s.

## Exercici 3

En un diode LED amb  $\tau_r$  s'ha observat que l'índex de modulació òptic és 0.62 vegades l'índex de modulació elèctric, a quina freqüència l'hem modulats ?.

**Solució:**  $f \approx 200$  MHz.

## Exercici 4

La potència òptica generada internament dins d'un LED és 28.4 mW amb un corrent de 60 mA.

- Determineu la longitud d'ona d'emissió quan l'eficiència quàntica interna és del 50 %.
- Si la potència òptica emesa pel LED és 0.284 mW, quina és l'eficiència quàntica del mateix ?.
- Si l'eficiència quàntica externa del LED fos del 1%, quina seria llavors la potència òptica emesa ?.

**Solució:**

- $\lambda_p \approx 1.31 \mu\text{m}$
- $\eta \approx 0.5 \%$
- $P \approx 284 \mu\text{W}$

## Exercici 5

Un LED de segona finestra polaritzat amb un corrent constant, emet 25  $\mu\text{W}$  de potència òptica. Si l'eficiència quàntica és 0.5 i les dimensions són  $0.1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ , quin és el nombre total de recombinacions per unitat de temps i de volum que es produeixen?.

**Solució:**  $\approx 3.273 \cdot 10^{32}$  recomb/seg

## Exercici 6

Un LED de InGaAsP amb un gap de 0,9 eV a  $T_0 = 290 \text{ }^\circ\text{K}$  és utilitzat com a transmissor d'un sistema PCM:

- Trobeu el valor de la longitud d'ona d'emissió i de l'amplada espectral, sabent que el rang d'energies de recombinació és de l'ordre de  $\Delta E = 3.5 KT_0$ .
- Si el LED es polaritza amb un corrent de 50 mA, calculeu la potència òptica mitjana emesa per a una eficiència quàntica  $\eta = 0.2$ .
- Partint de l'equació de ritme del LED, determineu l'expressió de la resposta transitòria de la densitat de portadors. Si apliquem un graó de corrent de 50 mA, calculeu el temps de pujada (entre el 10% i el 90% del valor final) de la resposta del transitori. Especifiqueu la màxima velocitat de transmissió per a aquest LED i l'amplada de banda del dispositiu.
- Si el paràmetre de dispersió de la fibra emprada en la transmissió és de 30 ps/(Km·nm), determineu la distància a partir de la qual deixarà de ser el LED l'element que limiti l'amplada de banda del sistema.

Dades:  $K=8.62 \cdot 10^{-5} \text{ eV}/^\circ\text{K}$ ,  $q=1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $V=3.125 \cdot 10^{-16} \text{ m}^3$ ,  $\tau_r=10 \text{ ns}$

**Solució:**

- $\lambda=1.38 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $\Delta\lambda=134 \text{ nm}$
- $P_o=9 \text{ mW}$
- $t_r=22 \text{ ns}$ ;  $B_w=15.9 \text{ MHz}$ ;  $R_b=33 \text{ Mb/s}$
- $L=4.17 \text{ Km}$

## Exercici 7

Un LED presenta les següents característiques:

$$W=10 \text{ micres}, D=0.5 \text{ micres}, L=300 \text{ micres}$$

$$\tau_r=0.5 \text{ ns}, n_s=3.7$$

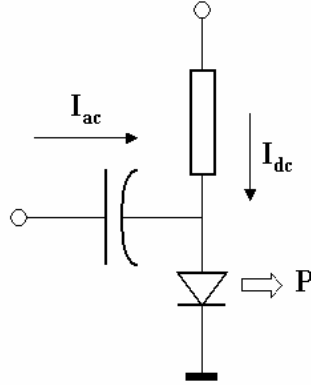
Quan el corrent injectat s'anul·la, la concentració de portadors i de fotons no decau fins a zero de manera instantània. Estimeu el temps necessari per a que la llum a la sortida assoleixi un valor inferior al 1% del màxim. Quina fracció d'aquest retard és degut a la recombinació de portadors i quina fracció correspon al retard de propagació dels fotons.

**Solució:**

$$t_{1\%}=2.3 \text{ ns}, t_p=3.7 \text{ ps}$$

### Exercici 8

El diagrama esquemàtic d'un transmissor LED es mostra a la figura següent:



El corrent que passa pel LED és la suma del corrent continu ( $I_{dc}$ ) i el corrent altern ( $I_{ac}$ ). Si l'amplada de banda del LED és de 100 MHz, es demana:

- Determineu l'expressió de la potència òptica modulada en el cas d'una modulació de corrent sinusoidal  $I_{ac}=I_s \cos \omega t$ . Teniu en compte que quan  $I_{dc}=75 \text{ mA}$  i  $I_{ac}=0 \text{ mA}$ , la potència òptica emesa pel díode LED és de 2.5 mW. Quina és la component alterna de la potència quan  $I_{ac}=10 \cos \omega t$  ?.
- Si l'índex de modulació de la potència emesa pel LED és 0.89 vegades l'índex de modulació elèctric, a quina freqüència de senyal s'ha modulat ?.

**Solució:**

- Teoria
- $f=51.23 \text{ MHz}$

### Exercici 9

Partint de l'equació de ritme per al LED, demostreu que la potència emesa per a una modulació sinusoidal del corrent de la forma  $J(t)=J_0(1+m_j \cos \omega t)$  es pot expressar, per a freqüències de modulació molt elevades, com:

$$P(t) = P_0 + C(\sin \omega t)/\omega$$

Essent  $P_0$  i  $C$  constants, i  $\omega$  és la pulsació angular del corrent modulador.

**Solució:** Teoria

## Exercici 10

Un díode làser semiconductor té una zona activa de longitud  $L=500$  micres, i un índex de refracció  $n=3.53$ . Les parets de la cavitat han estat recobertes d'un material anti-reflectant per tal de millorar les prestacions. Admetent que el seu comportament és multimode, es demana:

- Calculeu la longitud d'ona corresponent al mode 2307 dels emesos pel díode làser. Considereu aquest mode com el mode fonamental i que el díode és simètric en sentit longitudinal.
- Si el guany net per unitat de longitud lllindar val  $g=113 \text{ cm}^{-1}$ , quin és el valor de les reflectivitats a les cares del díode ?.
- Calculeu el temps de vida del fotó sabent que la zona activa presenta unes pèrdues per unitat de longitud de valor  $\alpha_s=15 \text{ cm}^{-1}$ .

**Solució:**

- $\lambda=1.53 \text{ }\mu\text{m}$
- $R=0.0035$
- $\tau_p=0.919 \text{ ps}$

## Exercici 11

Suposeu un làser de AsGa ( $n=3.6$ ) amb una cavitat òptica de longitud  $L=250$  micres i una amplada  $W=100$  micres. Si el nivell de transparència és despreciable ( $N_0=0$ ), existeix una relació lineal entre el guany lllindar i el corrent lllindar donada per  $g_{th} = k \cdot J_{th}$  essent  $k$  el factor de guany que és una constant associada a un dispositiu específic. A la temperatura d'operació  $k=21 \cdot 10^{-3} \text{ A}^{-1} \text{ cm}$  i les pèrdues de scattering són  $\alpha_s=10 \text{ cm}^{-1}$ .

Determineu la densitat de corrent lllindar del dispositiu i el seu corrent lllindar. Suposeu que el corrent està restringit a la zona activa.

**Solució:**  $J_{th}=2.65 \cdot 10^3 \text{ A/cm}$ ,  $I_{th}=663 \text{ mA}$

## Exercici 12

Un díode làser semiconductor, amb un temps de vida mitjà del portador d'1 ns, emet 2 mW quan el corrent de polarització és de 60 mA i 1 mW amb una corrent de polarització de 40 mA. Es demana:

- Si es transmet una modulació digital amb els nivells de corrent següents:  $I_1 = 0 \text{ mA}$  i  $I_2 = 50 \text{ mA}$ , deduïu el retard que es produeix en la modulació i calculeu el seu valor.
- Trobeu la màxima velocitat de transmissió que imposa el làser quan  $I_1 = 0 \text{ mA}$  i  $I_2 = 10 \text{ mA}$ .

**Solució:**

- $\tau_r=0.51 \text{ ns}$
- $R_b=333.33 \text{ Mb/s}$

### Exercici 13

Si el nivell de transparència d'un diode làser és zero, demostreu que la freqüència i la constant de decaïment de les oscil·lacions de relaxació (ringing) d'un làser es poden expressar de la manera següent:

$$\omega_0 = \left[ \frac{1}{\tau_s \tau_p} \left( \frac{J}{J_{th}} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\alpha = \frac{1}{2\tau_s} \left( \frac{J}{J_{th}} \right)$$

Essent  $\tau_s$  i  $\tau_p$  els temps de vida del portador i del fotó respectivament,  $J_{th}$  la densitat de corrent llindar i  $J$  la densitat de corrent de polarització del diode làser superior al llindar

**Solució:** Teoria

### Exercici 14

Un diode làser semiconductor presenta les següents característiques:

Longitud d'ona d'operació	1300 nm
Dimensions	L=500 $\mu\text{m}$ , w=10 $\mu\text{m}$ , d=1 $\mu\text{m}$
Índex de refracció del SC	n=3,5
Pèrdues en el material	$\alpha_s=500 \text{ m}^{-1}$
Temps de vida del portador	$\tau_r=5 \text{ ns}$
Nivell de transparència	$N_0=10^{22} \text{ m}^{-3}$

- Determineu el valor del coeficient **a** del guany si el confinament és perfecte i la potencia òptica emesa és d' 1 mW quan  $J/J_{th}=1,5$ .
- Calculeu el número de modes que poden aparèixer a la sortida, si el guany del material per unitat de longitud té l'expressió:

$$g=3000 - \gamma(\lambda - \lambda_p)^2 \quad \text{on } \lambda_p= 1,3 \mu\text{m} \quad \text{i} \quad \gamma = 6,2 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$$

- Comenteu la influència de la longitud de la cavitat làser sobre el comportament modal del mateix.

**Solució:**

- $1.43 \cdot 10^{-19} \text{ m}^{-1}$
- M=21
- Teoria

## Exercici 15

Un diode làser que forma part d'un transmissor d'un sistema de comunicacions òptiques presenta les següents característiques:

Longitud d'ona d'operació	850 nm
Dimensions	$L=350 \mu\text{m}$ , $w \cdot d=1 \mu^2\text{m}^2$
Índex de refracció del SC	$n=3.7$
Pèrdues totals de la cavitat	$\alpha_t=3200 \text{ m}^{-1}$
Temps de vida del portador	$\tau_r=1 \text{ ns}$
Nivell de transparència	menyspreable
Factor de confinament	perfecte

El guany del material presenta una característica gaussiana i bé donat per la següent expressió:

$$g_m(\lambda) = g_p \exp\left[-\frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{2\sigma^2}\right]$$

On  $g_p=5000 \text{ m}^{-1}$ . Sabent que l'amplada espectral quan el guany cau a la meitat és de 75 nm, es demana:

- El número de modes d'oscil·lació del làser.
- Les longituds d'ona màxima i mínima d'oscil·lació.
- Si el factor de confinament es redueix fins a la meitat, quin efecte tindrà sobre el comportament modal del làser ?.

### Solució:

- $M=215$  modes
- $\lambda_{\min}=820.15 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{\max}=879.85 \text{ nm}$
- No efecte làser

## Exercici 16

Considerem un diode làser monomode amb les reflectivitats idèntiques en el que es poden prendre les hipòtesis següents: nivell de transparència nul, emissió espontànea menyspreable, factor de confinament unitat i pèrdues de scattering  $\alpha_s=100 \text{ cm}^{-1}$ . Es demana:

- Deduiu, a partir de les equacions de ritme, l'expressió del corrent llindar d'efecte làser en funció de la longitud de la cavitat  $L$ .
- Degut a l'envelliment del dispositiu, les reflectivitats ( $R$ ) han disminuït al valor  $1/e$ . Calculeu quant hauria de disminuir la longitud de la zona activa per a que el corrent llindar no variï.

**Solució:**

- a) Teoria
- b) La longitud de la cavitat hauria de disminuir 100 micres

**Exercici 17**

Es pot demostrar que el nombre de modes emesos per un diode làser semiconductor ve determinat per la relació aproximada:

$$M \approx \frac{4n}{\lambda_p^2} \left( \frac{a}{\gamma} \right)^{1/2} (N_{st} - N_{th})^{1/2} L$$

En la qual  $N_{st}$  és la concentració de portadors en règim estacionari sense menysprear l'emissió espontània,  $N_{th}$  és el nivell llindar de portadors i  $L$  la longitud de la zona activa (amb  $n=3.53$ ,  $\lambda_p=1.51 \mu\text{m}$ ,  $a=2.5 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$  i  $\gamma=6.8 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$ ).

- a) Demostreu, partint de l'expressió anterior, que el nombre de modes també es pot aproximar per l'expressió següent:

$$M \approx Q(\beta N_{th})^{1/2} L$$

On  $\beta$  és el factor d'acoblament d'emissió espontània ( $\beta \ll 1$ ) i  $Q$  una constant que s'ha de calcular.

Suggeriment: Utilitzeu les equacions de ritme menys preant la influència dels modes laterals (làser monomode).

- b) Supposeu que  $R_1=R_2=0.3$ , que el guany per unitat de longitud (incloses les pèrdues per scattering) són  $50 \text{ cm}^{-1}$  i que  $N_{th}=2.254 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-3}$ . Quin hauria de ser el valor aproximat de  $\beta$  per q que el comportament del diode fos pràcticament monomode ?.
- c) Considereu una modulació digital en la qual els nivells de corrent són  $I_{ON}=55 \text{ mA}$  i  $I_{OFF}=0 \text{ mA}$ . Si el temps de vida mitjà del portador és  $\tau_r=0.5 \text{ ns}$ , calculeu el temps de retard ( $t_r$ ) del diode làser quan es realitza una commutació.

Dades:  $q=1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $Wd=156 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ .

- d) Dibuixeu l'evolució temporal dels portadors  $N(t)$  durant el temps de retard.

**Solució:**

- a) Teoria
- b)  $\beta \approx 5.44 \cdot 10^{-5}$
- c)  $t_r \approx 0.33 \text{ ns}$
- d) Teoria