

Esercizio 1:

Un sistema di comunicazione ottico in terza finestra ($\lambda = 1.55 \mu\text{m}$) utilizza una fibra ottica step-index con un core di diametro $d = 4 \mu\text{m}$ e indice di rifrazione $n_1 = 1.45$ e un cladding di indice di rifrazione $n_2 = 1.43$. La fibra ha un coefficiente di attenuazione $\alpha_{FO} = 1.5 \text{ dB/km}$ e un coefficiente di dispersione cromatica $D_{ch} = 10 \frac{\text{ps}}{\text{nm km}}$. All'ingresso della fibra è accoppiata una sorgente lambertiana ($\Delta\lambda_{1/2} = 50 \text{ nm}$) che ha un tempo di risposta $t_{r, LED} = 1 \text{ ns}$ ed emette una potenza $P_s = 2 \text{ mW}$. Il rivelatore posto a valle della fibra ottica ha un tempo di risposta $t_{r, DET} = 0.5 \text{ ns}$ e una sensibilità $S = 1 \text{ nW}$. Tale sistema prevede inoltre le seguenti perdite di potenza: perdita in corrispondenza della giunzione tra due spezzoni di fibra consecutivi $\alpha_j = 0.5 \text{ dB}$ e perdita dovuta all'accoppiamento con il rivelatore $\alpha_d = 2 \text{ dB}$.

- Stabilire se la fibra è monomodale o multimodale.
- Determinare la massima lunghezza della fibra imposta dall'attenuazione del segnale ottico, sapendo che il singolo spezzone di fibra a disposizione è lungo $L_s = 2 \text{ km}$.
- Valutare se la massima lunghezza della fibra calcolata al punto precedente è compatibile con un bit rate in codifica 'non return to zero' $B_{NRZ} = 100 \text{ Mbit/s}$.

Esercizio 2:

Si consideri un laser a doppia eterostruttura edge-emitting in AlGaAs ($n_2 = 3.2$) / GaAs ($n_1 \approx 3.6$) avente le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza d'onda di operazione $\lambda_0 = 875 \text{ nm}$
- Larghezza del contatto superiore $w = 4 \mu\text{m}$
- Spessore della zona attiva $d = 0.2 \mu\text{m}$
- Perdite interne $\alpha_s = 10 \text{ cm}^{-1}$
- Tempo di vita spontaneo $\tau_{sp} = 2.5 \text{ ns}$
- Tempo di vita dei fotoni in cavità $\tau_{ph} = 2 \text{ ps}$
- Guadagno di soglia $g_{th} = 55 \text{ cm}^{-1}$
- Concentrazione a soglia $n_{th} = 4 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

- Determinare la lunghezza L della cavità.
- Determinare la larghezza a metà altezza $\Delta\lambda_{1/2}$ dello spettro di emissione in modo da avere 10 modi oscillanti in cavità.
- Determinare la concentrazione di fotoni in cavità N_{PH} quando il laser è polarizzato sopra soglia mediante una corrente $I = 100 \text{ mA}$.

Esercizio 3:

Si consideri una cella solare illuminata con una luce di intensità 1 kW/m^2 . La cella ha le seguenti caratteristiche:

- Corrente di corto circuito $i_{cc} = -32.5 \text{ mA}$
- Tensione di circuito aperto $V_{oc} = 0.519 \text{ V}$
- Corrente di leakage (corrente di buio) $I_D = 60 \text{ pA}$

La cella è connessa ad un carico $R = 20 \Omega$.

- Calcolare il punto di lavoro della cella.
- Calcolare il Fill-Factor FF.
- Calcolare i_{cc} e V_{oc} in caso di intensità incidente $I_2 = 500 \text{ W/m}^2$.

Domande di teoria:

- Si descrivano i tre fondamentali processi di interazione della luce con un sistema elettronico a due livelli energetici (assorbimento, emissione spontanea ed emissione stimolata), illustrandone le varie applicazioni in optoelettronica.
- Illustrare la struttura e descrivere il principio di funzionamento di un fotodiode pin, discutendone i principali vantaggi rispetto al fotodiode pn.

Exercise 1:

An optical communication system operating at $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ uses a step-index optical fiber with core of diameter $d = 4 \mu\text{m}$ and refractive index $n_1 = 1.45$ and a cladding of refractive index $n_2 = 1.43$. The fiber has an attenuation coefficient $\alpha_{FO} = 1.5 \text{ dB/km}$ and a chromatic dispersion coefficient $D_{ch} = 10 \frac{\text{ps}}{\text{nm km}}$. The lambertian light source ($\Delta\lambda_{1/2} = 50 \text{ nm}$) coupled to the fiber input has a response time $t_{r,LED} = 1 \text{ ns}$ and emits a power $P_S = 2 \text{ mW}$. The detector located at the end of fiber has a response time $t_{r,DET} = 0.5 \text{ ns}$ and a sensitivity $S = 1 \text{ nW}$. Furthermore, this system has the following power losses: the junction loss between two parts of fiber $\alpha_j = 0.5 \text{ dB}$ and the coupling loss with the detector $\alpha_d = 2 \text{ dB}$.

- Determine if the optical fiber is a single-mode or multimode fiber.
- Calculate the maximum length of the optical fiber fixed by the optical signal attenuation, knowing that the available single part of fiber has length $L_s = 2 \text{ km}$.
- Evaluate if the previously calculated maximum length is compatible with a 'non return to zero' bit rate $B_{NRZ} = 100 \text{ Mbit/s}$.

Exercise 2:

Consider an AlGaAs ($n_2 = 3.2$) / GaAs ($n_1 \approx 3.6$) edge emitting double heterostructure laser diode which has the following properties: operation wavelength $\lambda_0 = 875 \text{ nm}$, stripe top electrode width $W = 4 \mu\text{m}$, active layer thickness $d = 0.2 \mu\text{m}$, loss coefficient $\alpha_s = 10 \text{ cm}^{-1}$, spontaneous decay time constant $\tau_{sp} = 2.5 \text{ ns}$, photon cavity lifetime $\tau_{ph} = 2 \text{ ps}$, threshold gain coefficient $g_{th} = 55 \text{ cm}^{-1}$ and threshold electron concentration $n_{th} = 4 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

- Determine the cavity length L .
- Calculate the spectrum output linewidth $\Delta\lambda_{1/2}$ so that 10 modes oscillate inside cavity.
- Determine the coherent photon concentration N_{ph} when the laser operates above the threshold at the current $I = 100 \text{ mA}$.

Exercise 3:

Consider a solar cell illuminated with a radiation of intensity 1 kW/m^2 . The cell has the following characteristics:

- Short circuit current $i_{sc} = -32.5 \text{ mA}$
- Open circuit voltage $V_{oc} = 0.519 \text{ V}$
- Dark current $I_D = 60 \text{ pA}$.

The solar cell is connected to a resistance $R = 20 \Omega$.

- Calculate the operating point of the circuit.
- Calculate the Fill-factor FF.
- Calculate the short circuit current i_{sc} and the open circuit voltage V_{oc} in case of incident radiation with intensity $I_2 = 500 \text{ W/m}^2$.

Theory questions:

- Describe the three fundamental processes of light interaction with a two-energy levels electronic system (absorption, spontaneous emission and stimulated emission), illustrating their applications in optoelectronics.
- Illustrate the structure and describe the operating principle of a pin photodiode, discussing its main advantages over the pn photodiode.

Physical constants:

electron rest mass	$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Planck constant	$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
electron charge	$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Boltzmann constant	$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
speed of light	$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
vacuum permittivity	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$

	Si
relative permittivity ϵ_r	11.7
saturation electric field [kV cm^{-1}]	20
saturation velocity [cm s^{-1}]	10^7
intrinsic concentration n_i [cm^{-3}]	1.45×10^{10}
energy gap E_G [eV]	1.12

