

**Esercizio 1:**

Si vuole realizzare un sistema di comunicazione ottico in terza finestra ( $\lambda_0 = 1550 \text{ nm}$ ) operante ad un bit-rate  $B = 75 \text{ Mbps}$  in codifica *non-return-to-zero* (NRZ). È disponibile una fibra ottica *step-index* avente le seguenti caratteristiche: indici di rifrazione di core e cladding rispettivamente  $n_1 = 1.448$  e  $n_2 = 1.44$ , coefficiente di dispersione del materiale  $D_m = 11 \frac{\text{ps}}{\text{nm km}}$ , coefficiente di dispersione di guida d'onda  $D_w = -5 \frac{\text{ps}}{\text{nm km}}$ . Come sorgente si utilizza un LED ( $\Delta\lambda_{\text{FWHM}} = 150 \text{ nm}$ ) caratterizzato da un tempo di risposta  $t_{r,\text{LED}} = 9 \text{ ns}$ . Il fotodiodo a valle del sistema ha un tempo di risposta  $t_{r,\text{riv}} = 2 \text{ ns}$ .

- Progettare il diametro del core affinché la fibra sia monomodale.
- Considerando i contributi di dispersione e le non idealità di sorgente e rivelatore si determini la massima lunghezza della fibra  $L_{\text{MAX}}$ .
- Sapendo che la fibra è accoppiata alla sorgente mediante una resina epossidica di indice di rifrazione  $n_0 = 1.4$ , calcolare il massimo angolo d'accettazione e l'angolo solido del cono d'accettazione corrispondente.

**Esercizio 2:**

Si consideri la caratteristica I-V in Fig.1 relativa ad una cella solare su cui incide una radiazione luminosa di intensità  $I_1 = 1000 \text{ W/m}^2$ .

- Determinare graficamente la corrente di corto circuito  $I_{\text{sc}}$  e la tensione di circuito aperto  $V_{\text{oc}}$ , e calcolare la corrente di buio  $I_0$ .
- Determinare graficamente la massima potenza estraibile  $P_m$ , il carico ottimo  $R_{\text{ott}}$ , e calcolare il *fill-factor* (FF).
- Calcolare come variano  $I_{\text{sc}}$  e  $V_{\text{oc}}$  nel caso in cui l'illuminazione sia dimezzata ( $I_2 = 500 \text{ W/m}^2$ ). Tracciare la nuova caratteristica I-V e, facendo opportune semplificazioni, stimare graficamente il nuovo carico ottimo.

**Esercizio 3:**

Si consideri un diodo laser *edge-emitting* a doppia eterostruttura in GaAs (indice di rifrazione  $n = 3.6$ ) che opera in regime stazionario alla lunghezza d'onda  $\lambda_0 = 870 \text{ nm}$ . Il laser ha le seguenti caratteristiche: lunghezza della cavità  $L = 300 \mu\text{m}$ , larghezza del contatto superiore  $W = 4 \mu\text{m}$ , spessore del layer attivo  $d = 100 \text{ nm}$ , tempo di vita dei fotoni in cavità  $\tau_{\text{ph}} = 2.3 \text{ ps}$ , tempo di emissione spontanea  $\tau_r = 2.5 \text{ ns}$ , concentrazione di elettroni liberi a soglia  $n_{\text{TH}} = 1.9 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . La cavità sfrutta le riflessioni alle interfacce semiconduttore-aria.

- Calcolare le perdite interne  $\alpha_s$ .
- Determinare la corrente di soglia  $I_{\text{TH}}$ .
- Calcolare la *slope-efficiency*  $\eta_s$  e la potenza d'uscita  $P_O$  quando la corrente di polarizzazione è  $I = 100 \text{ mA}$ .

**Domande di teoria:**

- Descrivere il funzionamento del laser He-Ne: livelli energetici, pompaggio, meccanismo di emissione laser, e spettro d'uscita.
- Illustrare il principio di funzionamento di un fotorivelatore a giunzione pn, evidenziando i principali limiti e spiegando come essi vengono risolti dal fotodiodo pin.

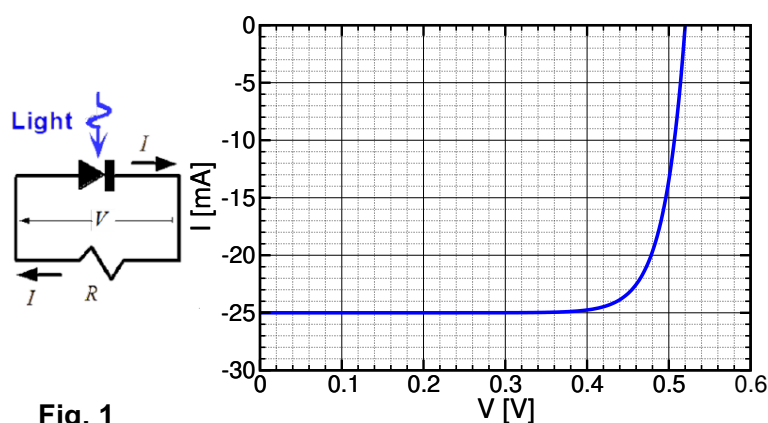


Fig. 1

**Costanti fisiche:**

massa dell'elettrone	$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
costante di Planck	$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
carica elettronica	$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
costante di Boltzmann	$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
velocità della luce	$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
costante dielettrica del vuoto	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$

**Exercise 1:**

An optical communication system is required to operate at  $\lambda_0 = 1550$  nm with a *non-return-to-zero* (NRZ) bit-rate  $B = 75$  Mbps. The available step-index optical fiber has the following properties: core and cladding refractive indexes  $n_1 = 1.448$  and  $n_2 = 1.44$  respectively, material dispersion coefficient  $D_m = 11 \frac{ps}{nm \cdot km}$ , waveguide dispersion coefficient  $D_w = -5 \frac{ps}{nm \cdot km}$ . The light source is an LED ( $\Delta\lambda_{FWHM} = 150$  nm) with a response time  $t_{r,LED} = 9$  ns, the detector is a photodiode with a response time  $t_{r,piv} = 2$  ns.

- Design the core diameter in order to have a single mode fiber.
- Considering dispersion contributions and source/detector nonidealities, determine the maximum length of the fiber  $L_{MAX}$ .
- The fiber is coupled to the light source with an epoxy resin of refractive index  $n_0 = 1.4$ . Compute the maximum acceptance angle and the solid angle of the corresponding acceptance cone.

**Exercise 2:**

Consider the I-V curve in Fig.1 related to a solar cell illuminated with light of intensity  $I_1 = 1000$  W/m<sup>2</sup>.

- Determine graphically the short circuit current  $I_{sc}$  and open circuit voltage  $V_{oc}$ , and compute the dark current  $I_0$ .
- Determine graphically the maximum power output  $P_m$ , the optimum load resistance  $R_{ott}$ , and compute the fill-factor (FF).
- Considering a halved illumination ( $I_2 = 500$  W/m<sup>2</sup>), calculate the changes in  $I_{sc}$  and  $V_{oc}$ . Plot the new I-V curve and graphically estimate (making simple approximations) the new optimum load.

**Exercise 3:**

Consider a GaAs double heterostructure edge-emitting laser diode (refractive index  $n = 3.6$ ) operating in CW at  $\lambda_0 = 870$  nm. The laser has the following properties: cavity length  $L = 300$   $\mu$ m, top electrode width  $W = 4$   $\mu$ m, active layer thickness  $d = 100$  nm, photon cavity lifetime  $\tau_{ph} = 2.3$  ps, spontaneous decay time constant  $\tau_r = 2.5$  ns, threshold electron concentration  $n_{TH} = 1.9 \cdot 10^{18}$  cm<sup>-3</sup>. The cavity uses the reflections at the semiconductor-air interfaces.

- Calculate the internal losses  $\alpha_s$ .
- Determine the threshold current  $I_{TH}$ .
- Calculate the *slope-efficiency*  $\eta_s$  and the output power  $P_O$  when the bias current is  $I = 100$  mA.

**Theory questions:**

- Describe the operation of the He-Ne laser: energy levels, pumping, lasing emission mechanism, and output spectrum.
- Illustrate the working principle of a pn junction photodetector, pointing out the major drawbacks and explaining how the pin photodiode overcomes these problems.

**Physical constants:**

electron rest mass  
Planck constant  
electron charge  
Boltzmann constant  
speed of light  
vacuum permittivity

$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31}$  kg  
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$  J s  
 $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$  C  
 $k_B = 1.381 \cdot 10^{-23}$  J K<sup>-1</sup>  
 $c = 2.998 \cdot 10^8$  m s<sup>-1</sup>  
 $\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$  F m<sup>-1</sup>