ES 1

sistema di comunicazione ottico

$\lambda_0 = 1550\,nm$

$B = 75\,Mbps$ NRZ

fibra ottica step-index : core $n_1 = 1.448$

cladding $n_2 = 1.44$

$D_m = 11 \frac{ps}{nm\,km}$

$D_w = -5 \frac{ps}{nm\,km}$

sorgente LED : $\Delta\lambda_{FWHM} = 150\,nm$

$t_{r,LED} = 9\,ns$

rivelatore pin : $t_{r,pin} = 2\,ns$

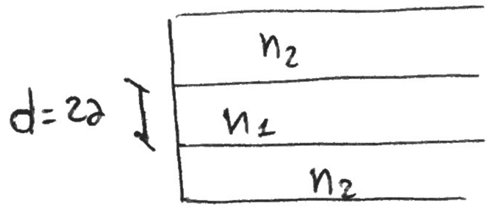
---

a) progettare il diametro del core per avere una fibra monomodale

Si pone $V < 2.405$

raggio del core

$$\frac{2\pi a}{\lambda}\sqrt{n_1^2 - n_2^2} < 2.405$$



$$a < \frac{2.405\cdot\lambda}{2\pi\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} = 3.9\,\mu m$$

$$\underset{= 2a}{d} < 7.8\,\mu m$$

Si sceglie ad esempio $d = 7\,\mu m$

b) Determinare L_{MAX}

$$B_{NRZ} = \frac{1}{\Delta\tau_{TOT}}$$

$$\rightarrow \quad \Delta\tau_{TOT} \leq \frac{1}{B_{NRZ}} = 13.33\ ns$$

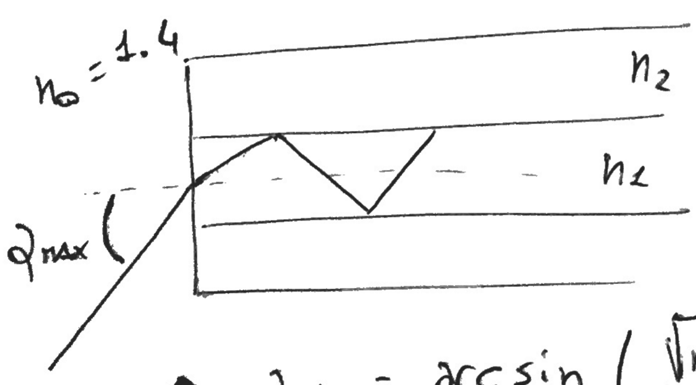
$$\Delta\tau_{TOT}^2 = \Delta\tau_{ch}^2 + t_{r,LED}^2 + t_{r,riv}^2$$

$$\Delta\tau_{ch} = \sqrt{\Delta\tau_{TOT}^2 - t_{r,LED}^2 - t_{r,riv}^2} = |D_m + D_w| \Delta\lambda L$$

$$\rightarrow \quad |D_m + D_w| \Delta\lambda L \leq \underbrace{\sqrt{(13.33 ns)^2 - (9 ns)^2 - (2 ns)^2}}_{9.63\ ns}$$

$$\rightarrow \quad L \leq 10.7\ Km$$

c) massimo angolo d'accettazione e angolo solido del cono d'accettazione



$$n_0 \sin(\vartheta_{MAX}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = NA$$

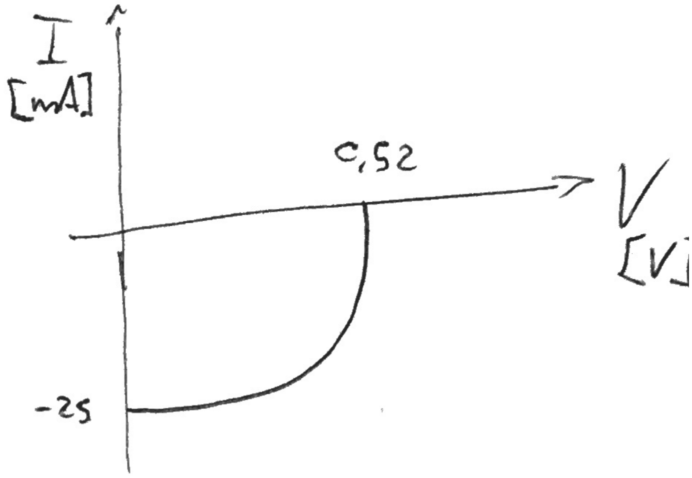
$$\rightarrow \quad \vartheta_{MAX} = \arcsin\left(\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}\right) \cong 6^\circ$$

$$\Omega = \int_0^{\bar{\vartheta}} 2\pi \sin(\vartheta) d\vartheta = 2\pi\left(1 - \cos(\bar{\vartheta})\right) = 0.0371\ sr$$

ES 2

$$I = -|I_{ph}| + I_{diode}$$

$$I = -|I_{ph}| + I_0\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1\right)$$



a)

$V = 0 \rightarrow I \triangleq I_{sc} = -|I_{ph}| = -25\,mA$ dal grafico

$I = 0 \rightarrow V \triangleq V_{oc} = 0.52V$ dal grafico

Ricavo I_0 dalla condizione di circuito aperto

$$0 = -|I_{ph}| + I_0\left(e^{\frac{qV_{oc}}{kT}} - 1\right)$$

$$\rightarrow I_0 = \frac{|I_{ph}|}{e^{\frac{qV}{kT}} - 1} \cong 47\,pA$$

---

b) Il punto di lavoro ottimo sarà vicino al "ginocchio" della IV

È sufficiente fare qualche tentativo:

$V' = 0.42V \quad I' = 24.5\,mA \rightarrow P' = 10.3\,mW$

$V' = 0.44V \quad I' = 24\,mA \rightarrow P' = 10.56\,mW$

$V' = 0.46V \quad I' = 22.5\,mA \rightarrow P' = 10.35\,mW$

$\rightarrow$ Il punto di lavoro ottimo è $V_m = 0.44V$; $I_m = 24\,mA$

→ Il carico ottimo è $R_{ott} = \frac{V_m}{I_m} = 18.3\ \Omega$.

e la massima potenza estraibile dalla cella risulta $P_m = V_m I_m = 10.56\ mW$

Il $FF = \frac{V_m I_m}{|V_{oc} I_{sc}|} = 81.23\ \%$

---

c) Calcolare I_{sc}, V_{oc}, R_{ott} per $J_2 = 500 \frac{W}{m^2}$

La fotocorrente è proporzionale all'intensità della radiazione J

$$I_{ph} = \underbrace{K}_{\text{costante}} J$$

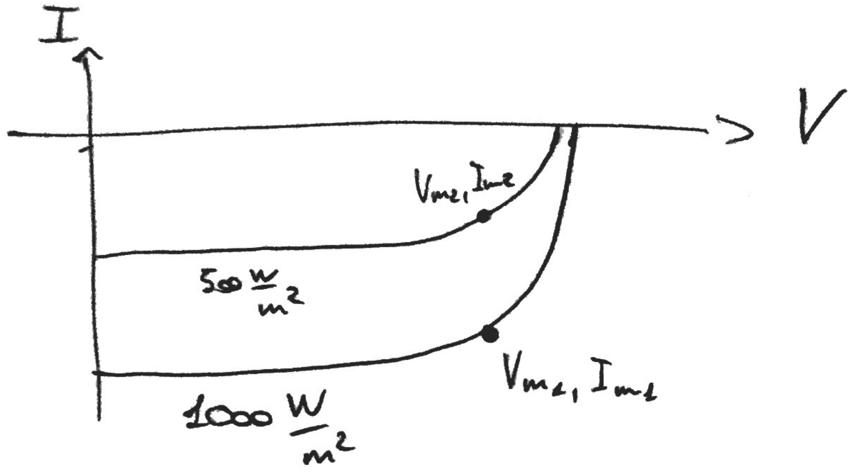
$$\rightarrow \frac{I_{ph2}}{I_{ph1}} = \frac{J_2}{J_1} = 0.5 \qquad \rightarrow \boxed{I_{sc2} = \frac{J_2}{J_1} I_{sc1} = -12.5\ mA}$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\overbrace{\cancel{1}}^{\text{trascurabile}} + \frac{|I_{ph}|}{I_0}\right)$$

$$\rightarrow \boxed{V_{oc2} - V_{oc1} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph2}}{I_{ph1}}\right) = \frac{kT}{q} \ln(0.5) = -17.9\ mV}$$

$V_{oc2} = 0.502\ V$

→ La I_{sc} dimezza, mentre V_{oc} rimane sostanzialmente invariata.



Il punto di lavoro ottimo sarà
$$\begin{cases} I_{m2} \simeq \dfrac{I_{m1}}{2} = 12\,mA \\ V_{m2} \sim V_{m1} = 0{,}44\,V \end{cases}$$

$$\Rightarrow \boxed{R_{ott,2} \cong 36{,}7\,\Omega}$$

$\boxed{ES\ 3}$

laser diode DH edge emitting in GaAs $(n=3.6)$

$\lambda_0 = 870\,nm$

$L = 300\,\mu m$

$W = 4\,\mu m$

$d = 100\,nm$

$\tau_{ph} = 2.3\,ps$

$\tau_r = 2.5\,ns$

$n_{TH} = 1.9 \times 10^{18}\,cm^{-3}$

---

a) · Calcolare α_s

$$\tau_{ph} = \frac{n}{c\alpha_T} \quad \rightarrow \quad \alpha_T = \frac{n}{c\tau_{ph}} = 5217.4\,m^{-1}$$

$$\alpha_s = \alpha_T - \frac{1}{2L}\ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)$$

$$R_1 = R_2 = R = \left(\frac{\overset{n}{3{,}6} - \overset{n_0}{1}}{3{,}6+1}\right)^2 = 32\,\%$$

$$\rightarrow \boxed{\alpha_s = 1419\,m^{-1} \sim 14.2\,cm^{-1}}$$

b) Calcolare I_{TH}

eq. di bilancio in CW

$$\frac{I}{qLWd} = \frac{n}{\tau_r} + C n N_{ph}$$

A soglia posso ancora trascurare l'em. stimolata ($N_{ph} \sim 0$)
(rispetto all'em. spontanea)

$$\frac{I_{TH}}{qLWd} = \frac{n_{TH}}{\tau_r}$$

$$\boxed{I_{TH} = \frac{n_{TH}}{\tau_r} qLWd = 14.6\ mA}$$

---

c) Calcolare η_{slope} e P_o per $I = 100mA$

$$P_o = \frac{\frac{1}{2} N_{ph}\,(\text{Volume})\,(\text{Energia fotone})}{\Delta t}\,(1-R)$$

Ricavo N_{ph} dall'eq. di bilancio:

$$I > I_{TH} \quad \begin{cases} n = n_{TH} \\ \dfrac{N_{ph}}{\tau_{ph}} = C n_{TH} N_{ph} \end{cases}$$ [rate fotoni persi = rate di em. stimolate]

$$\frac{I}{qLWd} = \frac{n_{TH}}{\tau_r} + C n_{TH} N_{ph} = \frac{n_{TH}}{\tau_r} + \frac{N_{ph}}{\tau_{ph}}$$

$$\frac{n_{TH}}{\tau_r} \to \frac{I_{TH}}{qLWd}$$

$$\rightarrow \frac{(I - I_{TH})}{qLWd} = \frac{N_{PH}}{\tau_{PH}} \rightarrow N_{PH} = \frac{\tau_{PH}}{qLWd}(I - I_{TH})$$

$$P_o = \frac{\frac{1}{2}\frac{\tau_{PH}}{qLWd}(LWd)\frac{hc}{\lambda}}{\frac{L}{\frac{c}{n}}}(1-R)(I - I_{TH})$$

$$P_o = \underbrace{\frac{1}{2}\frac{\tau_{PH}}{q}\frac{hc}{\lambda}\frac{c}{n}\frac{1}{L}(1-R)}_{\triangleq \eta_{slope}}(I - I_{TH})$$

$$\eta_{slope} = \frac{hc^2\tau_{PH}(1-R)}{2q\lambda nL} = 0.31\,\frac{W}{A}$$

se $I = 100\,mA$

$$P_o = \eta_s(I - I_{TH}) = 26,4\,mW$$