

## Examen parțial 16.03.2018

### Bilet de examen nr. 1

1. (5p) Într-un LASER Fabry-Perrot, coerența luminii este obținută prin reflexii succesive ale luminii între două oglinzi paralele, separate de o distanță egală cu un multiplu a jumătate de lungime de undă ce se dorește emisă. Interferența constructivă și coerența dintre lumina incidentă și reflectată asigură amplificarea numai a luminii care îndeplinește această condiție. Se dorește realizarea unei diode LASER cu lungimea de undă  $\lambda_0 = 1305\text{nm}$  utilizând un material cu  $\epsilon_{r1} = 10.80$ .

a) Care trebuie să fie distanța între oglinzi dacă se alege în așa fel încât să corespundă la 380 jumătăți de lungime de undă? (1p)

b) Dacă oglinda este realizată prin inserarea în material a unei lamele dintr-un dielectric cu  $n_2 = 2.23$ , ce procent din lumină incidentă părăsește zona activă dintre cele două oglinzi la fiecare reflexie? (1p)

c) Dacă în total se emit 3 linii spectrale corespunzătoare selectării luminii la care distanța dintre oglinzi calculată la a) este egală cu  $(380 - 1)$ ,  $(380)$ ,  $(380 + 1)$  jumătăți de lungime de undă, care este lățimea spectrală în domeniul frecvență a diodei? Valoarea trebuie exprimată în GHz. (2p)

d) Care este unghiul Brewster de obținere a luminii liniar polarizate pentru trecerea din materialul cu  $\epsilon_{r1} = 10.80$  în aer. (1p)

2. (5p) O instalație de semnalizare diurnă monocoloră trebuie realizată cu LED-uri. Cerințele sunt exprimate în parametri luminoși (lm, lx, cd, etc.). Aveți posibilitatea să alegeți între 4 LED-uri care au majoritatea parametrilor identici, valorile diferite fiind cele din tabel:

Nr.	Lungime de undă [nm]	Putere optică emisă [mW]	Preț
1	645	2.55	1.39
2	550	2.30	1.09
3	645	1.35	1.18
4	645	2.90	1.24

Se presupune că numărul de LED-uri necesar în instalație este suficient de mare astfel încât rotunjirea la număr întreg să nu modifice semnificativ rezultatele.

a) Alegeți componenta care vă permite să obțineți prețul total cel mai mic. Justificați. (3.5p)

b) Dacă instalația este prevăzută să funcționeze pe timp de noapte, se schimbă alegerea? Justificați. (1.5p)

## Examen parțial 16.03.2018

### Rezolvări

1. a) Materialul are  $\epsilon_{r1} = 10.80$ , ca urmare  $n_1 = \sqrt{\epsilon_{r1}} = 3.29$ , lungimea de undă în material  $\lambda_1 = \lambda_0 / n_1 = 397.1\text{ nm}$ ,  $L = k \cdot \lambda_1 / 2 = 75.45\mu\text{m}$

b) Coeficientul de reflexie (amplitudine câmp)  $\Gamma = (n_1 - n_2) / (n_1 + n_2) = 0.192$ , maxim de reflectivitate (se dorește oglindă!) se obține când câmpurile generate de prima reflexie și a doua sunt în fază, coeficientul de reflexie în putere  $r = (2 \cdot \Gamma)^2 = 0.1467 = 14.67\%$

Coeficientul de transmisie în putere,  $t = 1 - r = 85.33\%$

c) Când distanța dintre oglinzi  $L$  este de  $(k - 1)$  ori mai mare decât jumătate din lungimea de undă  $\lambda_a$  se amplifică radiația care îndeplinește condiția:  $L = (k - 1) \cdot \lambda_a / n_1 / 2 = (k - 1) \cdot c_0 / f_a / n_1 / 2$

deci:  $f_a = (k - 1) \cdot c_0 / L / n_1 / 2$

Similar frecvența cea mai mare  $f_b = (k + 1) \cdot c_0 / L / n_1 / 2$

Lățimea spectrală  $\Delta f = f_b - f_a = c_0 / L / n_1 = 1.209 \cdot 10^{12} \text{ Hz} = 1209.084 \text{ GHz}$

Rezolvare alternativă:  $L = (k - 1) \cdot \lambda_a / n_1 / 2$  ;  $L = (k + 1) \cdot \lambda_b / n_1 / 2$  ;  $\lambda_a = 2 \cdot n_1 \cdot L / (k - 1)$  ;

$\lambda_a = k / (k - 1) \cdot \lambda_0$  ;  $\lambda_b = k / (k + 1) \cdot \lambda_0$  ;  $\Delta\lambda = \lambda_a - \lambda_b = 2 \cdot k / (k^2 - 1) \cdot \lambda_0 = 6.868 \text{ nm}$ ;  $\Delta f \approx \Delta\lambda \cdot c / \lambda_0^2 = 1209.093 \text{ GHz}$

d)  $n_1 = \sqrt{\epsilon_{r1}} = 3.29$ ,  $n_2 = 1$ ,  $\Phi_B = \arctg(n_2 / n_1) = 16.92^\circ$

2. a) Oricare ar fi mărimea luminoasă care apare în cerințele de proiectare, ea va depinde de fluxul luminos  $\Phi_v$  (C3,S96-99). Considerând LED-urile surse monocromatice, fluxul luminos depinde de fluxul energetic și deci de puterea optică emisă și de sensibilitatea luminoasă  $V(\lambda)$  proprie fiecărui LED. Ca urmare acea mărime luminoasă emisă de fiecare LED va fi proporțională cu puterea optică și sensibilitatea luminoasă.

$X_0 \sim P_o \cdot V(\lambda)$

Numărul total de LED-uri necesar pentru îndeplinirea cerințelor  $X_{tot}$  va fi invers proporțional cu mărimea luminoasă asigurată de un singur LED.

$N = X_{tot} / X_0 \sim 1 / P_o / V(\lambda)$

De numărul total de LED-uri și de prețul individual ( $PT_0$ ) al fiecărui LED va depinde prețul total pentru realizarea instalației:

$PT_{tot} \sim PT_0 / P_o / V(\lambda)$

Nr.	Lungime de undă [nm]	Putere optică emisă [mW]	Preț	$V(\lambda)$	$PT_0 / P_o / V(\lambda)$
1	645	2.55	1.39	0.155	3.522
2	550	2.30	1.09	0.989	<b>0.479</b>
3	645	1.35	1.18	0.155	5.649
4	645	2.90	1.24	0.155	2.763

Componenta care oferă prețul cel mai mic este LED-ul 2 (în acest caz eficiența luminoasă semnificativ mai ridicată la 550nm face ca să fie necesare mai puține LED-uri pentru atingerea cerințelor)

b) În timpul nopții se schimbă sensibilitatea luminoasă  $V'(\lambda)$ . Aceleași calcule oferă următorul tabel:

Nr.	Lungime de undă [nm]	Putere optică emisă [mW]	Preț	$V'(\lambda)$	$PT_0 / P_o / V'(\lambda)$
1	645	2.55	1.39	0.001	542.386
2	550	2.30	1.09	0.481	<b>0.985</b>
3	645	1.35	1.18	0.001	869.725
4	645	2.90	1.24	0.001	425.459

Același LED 2 oferă prețul minim (în cazul particular al acestui subiect celelalte trei lungimi de undă sunt egale și situate spre capătul roșu al spectrului, cu eficiențe luminoase extrem de scăzute pe timp de noapte, ca urmare mult mai multe LED-uri vor fi necesare pentru a atinge aceiași parametri luminoși, de unde și prețul mai ridicat).

## Examen final 04.05.2018

### Bilet de examen nr. 1

- (2p)** Un sistem de transmisie pe fibră optică cu viteză de 0.1Gbs lucrează la  $\lambda = 1310$  nm. Fibră optică monomod are indicele miezului egal cu 1.458 și o variație relativă a indicelui de 3.1%, panta dispersiei  $S_0 = 0.091\text{ps/nm}^2/\text{km}$  în jurul lui  $\lambda_0 = 1294\text{nm}$ , și o atenuare cuprinsă între  $0.250\div 0.280\text{dB/km}$ . Emițătorul e caracterizat de o putere de ieșire de 2.5mW și o lățime spectrală de 0.15nm, iar receptorul are o sensibilitate de  $0.90\mu\text{W}$ . Se neglijează orice pierderi suplimentare în conectori sau splice-uri. Care este distanța maximă pe care puteți realiza această legătură?
- (1p)** Care este compoziția unui aliaj din care se realizează un LED care emite lungimea de undă de 817nm?
- (4p)** Un optocuplor este realizat cu un LED care emite lungimea de undă de 680nm și o fotodiodă polarizată invers cu o tensiune de 30V. Eficiențele cuantice externe sunt de 10.3% pentru LED și 77% pentru fotodiodă.
  - (2p)** Calculați curentul de ieșire pentru un curent de intrare de 2.5mA
  - (1p)** Considerând LED-ul o diodă tipică ( $V_F \approx 0.7\text{V}$ ) proiectați circuitele de intrare și de ieșire pentru a lucra cu semnale TTL (5V).
  - (1p)** Dacă se crește tensiunea inversă de polarizare a fotodiodei la 280V obținându-se un factor de multiplicare  $M = 10.4$  care este curentul de ieșire?
- (1.5p)** O diodă laser are curentul de prag  $I_{th} = 15.2\text{mA}$  și o rezonanzivitate  $r = 0.31\text{mW/mA}$ . Puterea de saturație a diodei este 4.6mW. Care este puterea optică emisă la o polarizare cu a) 10mA, b) 20mA c) 30mA?
- (1p)** Un emițător transmite puterea de 10.1 mW la intrarea unei fibre cu atenuarea de 0.87 dB/km. După câți kilometri semnalul atinge nivelul de  $-15.3$  dBm?
- (3.5p)** Un sistem de alimentare solar este realizat cu un panou cu dimensiunile 200cm X 47.2cm și eficiența de 13.5% și este amplasat în Iași.
  - (1p)** Dacă panoul este amplasat orizontal, care este cea mai mare energie care se poate obține de la el în timpul anului? Dar cea mai mică?
  - (1p)** Calculați cea mai mică și cea mai mare energie obținută de la acest panou amplasat pe un perete vertical orientat spre Sud.

c) **(0.5p)** Pentru o utilizare sezonieră, în decursul lunii februarie, care este înclinarea optimă față de verticală? Ce energie se poate obține în acest caz?

d) **(1p)** Tot în luna februarie, este preferabil să amplasăm panoul orizontal sau vertical? Calculați energia obținută în ambele cazuri.

Se neglijează pierderile în circuitul de condiționare/acumulatori.

## Examen final 04.05.2018

### Rezolvări

1. a) Discuție despre amplitudinea semnalului

Emițătorul oferă puterea  $P_e = 10 \cdot \lg(2.5\text{mW} / 1\text{mW}) = 3.98\text{dBm}$ ;

Puterea minimă necesară la receptor:  $S_r = 10 \cdot \lg(0.90\mu\text{W} / 1\text{mW}) = -30.46\text{dBm}$ ;

Cazul cel mai defavorabil este când atenuarea pe fibră are valoarea cea mai mare  $A_{f \max} = 0.280\text{dB/km}$

Distanța limitată de atenuare (distanța cea mai mare la care nivelul de putere la receptor este mai mare decât sensibilitatea receptorului, în cazul cel mai defavorabil):

$L_{\max} = (P_e - S_r) / A_{\max} = [3.98\text{dBm} - (-30.46)\text{dBm}] / 0.280\text{dB/km} = 122.99 \text{ km}$

b) Discuție despre viteza de transmisie

Fibra este **monomod**, deci la analiza dispersiei trebuie să luăm în considerare **numai** dispersia cromatică. Ca urmare valorile numerice pentru indicii de refracție **nu** sunt necesare.

Pentru a avea asigurată o viteză de 0.1Gb/s lățirea cea mai mare a impulsurilor va fi:

$\Delta\tau_{\max}[\text{ns}] = 0.44 / V[\text{Gb/s}] \cdot \sqrt{2} = 6.223\text{ns} = 6222.5\text{ps}$

Dispersia  $D(\lambda) = S_0/4 \cdot (\lambda - \lambda_0^4/\lambda^3) = 0.091/4 \cdot (1310 - 1294^4/1310^3) \text{ ps/nm/km} = 1.430\text{ps/nm/km}$ ;

$\Delta\lambda = 0.15\text{nm}$ ;  $\Delta\tau_{\text{cr}} = L \cdot D(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ ;  $\Delta\tau_{\text{cr}} = L \cdot 0.214 \text{ ps/km}$ ;

Distanța limitată de viteză:

$L_{\max} = \Delta\tau_{\max} / D(\lambda) / \Delta\lambda = 6222.5\text{ps} / 0.214\text{ps/km} = 29018 \text{ km}$

c) Prima limitare care intervine este  $L_{\max} = \min(a,b) = 122.99\text{km}$

Distanța maximă pe care se poate realiza legătura este  $L_{\max} = 122.99\text{km}$ , limitată de atenuare. În cazul curent fibra permite o legătură de viteză mult mai mare, dacă emițătorul și receptorul sunt capabile.

2. Pentru a realiza un LED cu lungimea de undă 817 nm avem nevoie de un material cu lățimea benzii interzise  $E_g = h \cdot c/\lambda$ ;  $c = 299792458 \text{ m/s}$ ,  $h = 6.6261 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$ ;  $E_g = 2.431 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Se exprimă această energie în [eV] pentru utilizare în relațiile empirice de la curs  $E_g[\text{eV}] = E_g[\text{J}]/e[\text{C}]$ ;  $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $E_g[\text{eV}] = 1.520 \text{ eV}$

Din grafice (C6, S75-76), pentru  $E_g[\text{eV}] = 1.520 \text{ eV}$  materialele utilizate vor fi  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$

Pentru același  $E_g$  ne găsim în zona  $x < 0.45$ , ecuația pentru aflarea lui  $x$  este ecuația de gradul 1:

$$E_g[\text{eV}] = 1.424 + 1.247 \cdot x ; 0.0956 = 1.247 \cdot x ; x = 0.077$$

Compoziția este: Ga<sub>0.923</sub>Al<sub>0.077</sub>As

3. a) Eficiența cuantică pentru LED:  $\eta = n_f / n_e$  ; Eficiența cuantică pentru FD:  $\eta = n_e / n_f$  ;

Responzivitățile  $R_{\text{LED}} = P_o / I = \eta \cdot h \cdot c / e \cdot \lambda$  ;  $R_{\text{FD}} = I / P_o = \eta \cdot e \cdot \lambda / h \cdot c$

$$R_{\text{LED}} = 0.103 \cdot 6.6261 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s} \cdot 299792458 \text{ m/s} / 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} / 680 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0.1881 \text{ W/A}$$

$$R_{\text{FD}} = 0.77 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 680 \cdot 10^{-9} \text{ m} / 6.6261 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s} / 299792458 \text{ m/s} = 0.4217 \text{ A/W}$$

Pentru un curent de 2.5mA puterea optică emisă de LED este  $P_o = R_{\text{LED}} \cdot I_{\text{in}} = 0.470 \text{ mW}$  ceea ce

generează în fotodiodă un curent  $I_{\text{out}} = R_{\text{FD}} \cdot P_o = 0.198 \text{ mA}$

b) Cel mai simplu circuit constă în utilizarea unui rezistor în serie cu LED-ul și un rezistor în serie cu fotodioda.

$$R_{\text{in}} = 4.3\text{V} / I_{\text{in}} ; P_o = R_{\text{LED}} \cdot I_{\text{in}} ; I_{\text{out}} = R_{\text{FD}} \cdot P_o ; 5\text{V} = R_{\text{out}} \cdot I_{\text{out}}$$

$$5\text{V} = 4.3\text{V} \cdot R_{\text{LED}} \cdot R_{\text{FD}} \cdot R_{\text{out}} / R_{\text{in}}$$

Deci e important să existe raportul  $R_{\text{out}} / R_{\text{in}} = 14.66$

Considerând curentul de intrare menționat la punctul a),  $I_{\text{in}} = 2.5\text{mA}$ ,  $R_{\text{in}} = 1.72\text{k}\Omega$ ,  $R_{\text{out}} = 25.22\text{k}\Omega$ , la ieșire se utilizează tipic un amplificator transimpedanță cu amplificarea egală cu  $25.22\text{k}\Omega$

c) Creșterea tensiunii inverse pentru fotodiodă la valoarea de 280V duce la apariția fenomenului de amplificare în avalanșă (valoarea numerică a tensiunii nu e necesară în rezolvare, e doar un indicator prin valoarea ridicată a apariției acestui fenomen)

$$I_{\text{out}} = M \cdot I_{\text{out}} = 2.06\text{mA}$$

4. Se consideră caracteristica neliniară din C8,S44

Dioda se deschide la  $I_{\text{th}} = 15.2\text{mA}$  și se saturează la un curent de  $I_{\text{sat}} = I_{\text{th}} + P_{\text{sat}} / r = 30.04\text{mA}$

a) Curentul  $I = 10\text{mA}$  ;  $10\text{mA} < I_{\text{th}} = 15.2\text{mA}$ , dioda nu lucrează în regim LASER,  $P_1 \approx 0.0\text{mW}$

b) Curentul  $I = 20\text{mA}$  ;  $I_{\text{th}} = 15.2\text{mA} < 20\text{mA} < I_{\text{sat}} = 30.04\text{mA}$ , dioda funcționează în regim LASER,  $P = r \cdot (I - I_{\text{th}}) = 1.488\text{mW}$

c) Curentul  $I = 30\text{mA}$  ;  $I_{\text{th}} = 15.2\text{mA} < 30\text{mA} < I_{\text{sat}} = 30.04\text{mA}$ , dioda funcționează în regim LASER,  $P = r \cdot (I - I_{\text{th}}) = 4.588\text{mW}$

$P = 4.588\text{mW} < P_{\text{sat}} = 4.6\text{mW}$  deci la curentul de 30mA dioda **NU** este saturată.

5.  $P_e[\text{dBm}] = A[\text{dB/km}] \cdot L[\text{km}] + P_r[\text{dBm}]$  deci  $L[\text{km}] = (P_e[\text{dBm}] - P_r[\text{dBm}]) / A[\text{dB/km}]$

$$P_e[\text{dBm}] = 10 \cdot \lg(10.1\text{mW}/1\text{mW}) = 10.04\text{dBm}$$

$$L[\text{km}] = (P_e[\text{dBm}] - P_r[\text{dBm}]) / A[\text{dB/km}] = 25.34\text{dB} / 0.87\text{dB/km} = 29.13 \text{ km}$$

6. În Iași caracteristicile energiei solare sunt cele din tabelul C9/S103-104

Suprafața panoului  $S = 200\text{cm} \times 47.2\text{cm} = 9440 \text{ cm}^2 = 0.944 \text{ m}^2$

a) Cea mai mare energie solară disponibilă pentru panou orizontal este în iulie  $E_{\text{sol max}} = 6320$

$\text{Wh/m}^2/\text{zi}$  iar cea mai mică este în decembrie  $E_{\text{sol min}} = 802 \text{ Wh/m}^2/\text{zi}$

$E_{\text{min}} = E_{\text{sol min}} \cdot S \cdot \eta_p = 805.4 \text{ Wh}$  ;  $E_{\text{max}} = E_{\text{sol max}} \cdot S \cdot \eta_p = 102.2 \text{ Wh}$

b) Cea mai mare energie solară disponibilă pentru panou vertical este în august  $E_{\text{sol max}} = 3460$

$\text{Wh/m}^2/\text{zi}$  iar cea mai mică este în decembrie  $E_{\text{sol min}} = 1310 \text{ Wh/m}^2/\text{zi}$

$E_{\text{min}} = E_{\text{sol min}} \cdot S \cdot \eta_p = 440.9 \text{ Wh}$  ;  $E_{\text{max}} = E_{\text{sol max}} \cdot S \cdot \eta_p = 166.9 \text{ Wh}$

Se observă că din cauză că decembrie soarele se ridică mai puțin pe cer panourile verticale sunt mai eficiente.

c) Din tabel, în luna februarie înclinarea optimă este  $55^\circ$ . Energia medie disponibilă cu această

înclinare este  $E_{\text{sol opt}} = 2350 \text{ Wh/m}^2/\text{zi}$ , panoul oferind energia medie zilnică  $E_{\text{opt}} = E_{\text{sol opt}} \cdot S \cdot \eta_p = 299.5 \text{ Wh}$

d) Din tabel  $E_{\text{sol h}} = 1680 \text{ Wh/m}^2/\text{zi}$ ,  $E_{\text{sol v}} = 2130 \text{ Wh/m}^2/\text{zi}$

$E_{\text{sol h}} < E_{\text{sol v}}$  deci în februarie este convenabil să amplasăm panoul vertical

Energiile medii zilnice sunt  $E_h = E_{\text{sol h}} \cdot S \cdot \eta_p = 214.1 \text{ Wh}$  ;  $E_v = E_{\text{sol v}} \cdot S \cdot \eta_p = 271.4 \text{ Wh}$

Alternativ, unghiul optim de înclinare  $55^\circ > 45^\circ$  cu aceeași concluzie.