

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ



Kvantová a laserová elektronika
2020/2021

5. Náhradné laboratórne cvičenie

1 Zadanie

1. Vychádzajte z návrhu rezonátoru, ktorý jste realizovali v minulém cvičení. Sami si zvolte, zda Váš systém bude pracovat jako tříhladinový, nebo čtyřhladinový. Potřebné vstupní parametry si navolte sami (řešíte fiktivní laser). Pro inspiraci můžete použít hodnoty ze zadání z numerických cvičení.
 - a. Vypočítejte parametr ΔN_i^* .
 - b. Určete W_b^* a W_{bmin} .
 - c. Určete výkon laseru pro $W_b = 2W_b^*$.
 - d. Vykreslete graf závislosti ΔN_i na W_b .
 - e. Vykreslete graf závislosti P_L na W_b .
 - f. V závěru zhodnoťte, jaké výhody a nevýhody by mělo Vaše řešení.

Obr. 1: Zadanie náhradnej laboratórnej úlohy

2 Riešenie

V tejto sekcii bude vyriešené laboratórne cvičenie č. 5. Návrh tejto laboratórnej úlohy vychádza z predošlej, v ktorej bol navrhnutý optický rezonátor. Hneď na úvod je potrebné si určiť, či laser pracuje ako o trojhladinový alebo štvorhladinový systém. Následne je potrebné si zvoliť vhodné vstupné parametre a vypočítať a prípadne vykresliť potrebné výstupy. V tomto riešení laboratórnej úlohy bol použitý **trojhladinový systém**, prípadné chýbajúce parametre, ktoré nie sú uvedené v zadání alebo v riešení laboratórnej úlohy č.4 boli prevzaté z piatej sady príkladov, konkrétne z príkladu dva.

2.1 Parametre laseru

V laboratórnej úlohe č. 5 bude počítané s nasledujúcimi parametrami laseru:

- priepustnosť zrkadla R_1 je $0\% = 0$,
- priepustnosť zrkadla R_2 je $5\% = 0,05$,
- interné straty γ_i sú $1,3\% = 0,013$,
- centrálna vlnová dĺžka aktívnej látky je $\lambda_{12} = 697 \cdot 10^{-9} \text{ m}$,
- dĺžka aktívnej látky l je $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$,
- dĺžka rezonátora d je $0,1385 \text{ m}$,
- objem základného módu V_f v aktívnej látke je $0,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}$.
- prierez priechodu σ je $2,5 \cdot 10^{-24} \text{ m}^2$,
- suma častíc v systéme N_Σ je $1,6 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$,
- doba života častine na hladine (2) než zostúpi na hladinu (1) je $\tau_{21} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ s}$.

2.2 Výpočet

V prvom kroku je potrebné si vypočítať prahovú hodnotu inverzného zobrazenia ΔN_i^* , ktorú je možné vypočítať na základe vzťahu 1.

$$\Delta N_i^* = \frac{\gamma}{\sigma \cdot l} \quad [m^{-3}] \quad (1)$$

Kde γ predstavuje celkové straty, ktoré je potrebné si najprv vypočítať podľa vzťahu 2.

$$\gamma = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} + \gamma_i \quad (2)$$

Dosadením hodnôt priepustnosti zrkadiel a interných strát do vzťahu 2 dostávame celkové straty $\gamma = 0,038$

$$\gamma = \frac{0 + 0,05}{2} + 0,013 = \mathbf{0,038}$$

Následne je možné dopočítať prahovú hodnotu inverzného zobrazenia ΔN_i^* dosadením hodnôt do vzťahu 1.

$$\Delta N_i^* = \frac{0,038}{2,5 \cdot 10^{-34} \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = \mathbf{3,04 \cdot 10^{23} m^{-3}}$$

Po vypočítaní prahovej hodnoty inverzného zobrazenia ΔN_i^* je možné určiť prahovú rýchlosť budenia W_b^* a hodnotu minimálneho budenia W_{bmin} , pomocou nasledujúcich vzťahov:

$$W_b^* = \frac{N_{\Sigma} + \Delta N_i^*}{N_{\Sigma} - \Delta N_i^*} \cdot \frac{1}{\tau_{21}} \quad [s^{-1}] \quad (3)$$

$$W_{bmin} = \frac{1}{\tau_{21}} \quad [s^{-1}] \quad (4)$$

Po dosadení číselných hodnôt do vzťahov 3 a 4 dostávame:

$$W_b^* = \frac{1,6 \cdot 10^{25} + 3,04 \cdot 10^{23}}{1,6 \cdot 10^{25} - 3,04 \cdot 10^{23}} \cdot \frac{1}{3 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{346,2453 s^{-1}}$$

$$W_{bmin} = \frac{1}{3 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{330 s^{-1}}$$

Na základe vypočítaných hodnôt W_b^* a W_{bmin} je možné vypočítať výkon laseru P_L pre $W_b = 2W_b^*$ pomocou vzťahu 5.

$$P_L = \frac{V_f \cdot (N_{\Sigma} + \Delta N_i^*) \cdot \hbar \cdot \omega_{12}}{4 \cdot \tau_{21}} \cdot \frac{T_2}{\gamma} \cdot \left(\frac{W_b}{W_b^*} - 1 \right) \quad [W] \quad (5)$$

Uhlová rýchlosť ω_{21} je zatiaľ neznáma premenná, ktorú je možné vypočítať pomocou vzťahu 6.

$$\omega_{12} = 2 \cdot \pi \cdot \nu_{12} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{c}{\lambda_{12}} \quad [s^{-1}] \quad (6)$$

Kde c je konštanta rýchlosti svetla, po dosadení číselných hodnôt do vzťahu 6 dostávame:

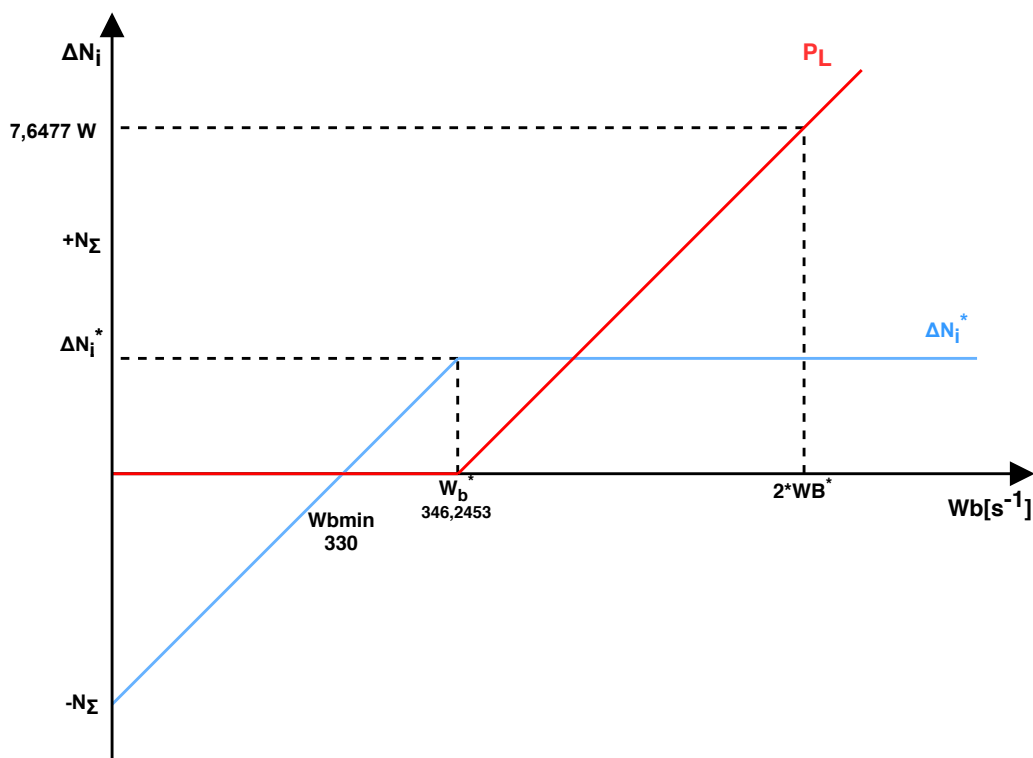
$$\omega_{12} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{697 \cdot 10^{-9}} = \mathbf{2,7043 \cdot 10^{15} s^{-1}}$$

A následne je možné dopočítať požadovanú hodnotu výkonu P_L po dosadení číselných hodnôt do vzťahu 5

$$P_L = \frac{0,5 \cdot 10^{-8} \cdot (1,6 \cdot 10^{25} + 3,04 \cdot 10^{23}) \cdot 1,0546 \cdot 10^{-34} \cdot 2,7043 \cdot 10^{15}}{4 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{0,05}{0,038} \cdot \left(\frac{2 \cdot 346,2453}{346,2453} - 1 \right)$$

$$P_L = \mathbf{7,6477 W}$$

Na záver z vypočítaných hodnôt W_{bmin} , ΔN_i^* a P_L , je možné vykresliť graf závislosti ΔN_i^* na W_b a graf závislosti P_L na W_b , ktoré je možné vidieť na obrázku 2.



Obr. 2: Vykreslené priebehy grafov pre ΔN_i^* a P_L

3 Záver

Zmyslom tejto laboratórnej úlohy bolo vypočítať kľúčové parametre pre trojhladinový systém a vykresliť priebehy grafov pre prahovú hodnotu intverzného zobrazenia ΔN_i^* a výkonu lasera pre P_L pre $W_b = 2W_b^*$. Vo svojej laboratórnej úlohe som zvolil rovinné zrkadlá kvôli jednoduchšej technológii výroby, na druhej strane je tento rezonátor na hranici medzi stability. Zvolil som nižšie priepustnosti výstypných zrkadiel $R_1 = 0$ a $R_2 = 0,05$, kvôli vyššej monochromatickosti laserového zväzku. Výpočty v tejto laboratórnej úlohe sa zakladali na hodnotách, ktoré boli získané v laboratórnej úlohe č.4, chýbajúce parametre boli prevzaté z príkladu číslo 2 sady 5. Všetky hodnoty, s ktorými sa počítalo sú uvedené v podsekcii 2.1.