

Поређење учестаности земановски и интерферометријски стабилисаних хелијум-неонских ласера

Дејан Пантелић, Братимир Панић, Александер Ковачевић, *Институт за физику, Земун*
Слободан Зеленика, *Савезни завод за мере и драгоцене метале, Београд*

Садржај – Стабилисали смо хелијум-неонски ласер рачунарском контролом времена принудног грејања ласерске цеви. Сигнал грешке је добијен интерферометријским мерењем видљивости. Да бисмо одредили ниво стабилности, поредили смо учестаност са учестаношћу једног земановски стабилсаног ласера. Резултати показују да је оваква стабилизација у могућности да доведе хелијум-неонски ласер до нивоа стабилности од 10^9 .

аквизицијом поново израчунава видљивост, и тиме нова дужина трајања струје грејања.

Референтни ласер за испитивање је хелијум-неонски "Хјулит-Пакард" (Hewlett-Packard), земановски стабилсан, и који служи као секундарни еталон у Савезном заводу за мере и драгоцене метале. Помоћу делитеља (ДС) се снопови оба ласера доводе до лавинске фотодиоде (која има независно стабилсано напајање), где се детектује сигнал избијања.

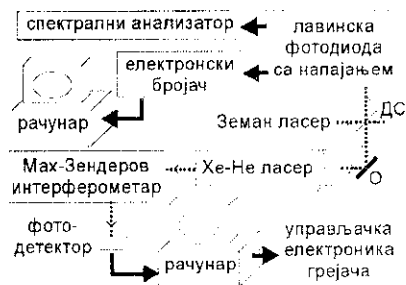
1. УВОД

Једна од најједноставнијих (и најчешће примењиваних) метода стабилизације хелијум-неонског ласера је термичка контрола дужине резонатора [1, 2, 3, 4, 5]. Термичке флукуације, природно настале електричним пражењем кроз плазму ласера, компензују се контролисаним принудним грејањем цеви. Метод стабилизације развијен у Институту за физику је заснован на детекцији минимума и максимума интензитета интерференционих пруга [6]. На основу њихових вредности се израчунава видљивост, која је дефинисана као $V = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$, где су I_{max} и I_{min} мерени максимуми и минимуми интензитета интерференционих пруга [7]. Пошто је она зависна од дужине резонатора, свака промена његове дужине се огледа у промени вредности видљивости. Струја грејача је константна, а њено трајање се одређује на основу сигнала видљивости.

Комплетни систем је пренет у Савезни завод за мере и драгоцене метале, где је извршено поређење са земановски стабилсаном еталонском.

2. ЕКСПЕРИМЕНТ

Експериментална поставка за поређење учестаности два ласера је приказана на сл.1. Систем чија се стабилност испитује користи ласерску цев "Сименс" (Siemens, модел LGR7621S), учестаности од 474 THz (односно таласне дужине 632,8 nm у вакууму), коју смо интерферометријски стабилисали помоћу рачунарске контроле. Интерференциона слика се детектује фотодетектором и прослеђује персоналном рачунару на обраду, где се из максимума и минимума интензитета интерференционих пруга израчунава видљивост. Постоји јединствена веза између видљивости и спектралне расподеле модала. Сигнал видљивости се користи за контролу струје грејања ласерске цеви по следећем алгоритму: ако је видљивост мања од предефинисане вредности V_0 (емпиријски смо одабрали да та вредност износи 0.1), онда нема грејања (струја грјача је нула), у супротном се укључује струја грејача од 1.5 А у трајању од $T_0 = ((V - V_0)^2) * 600$ ms. Затим се следећом



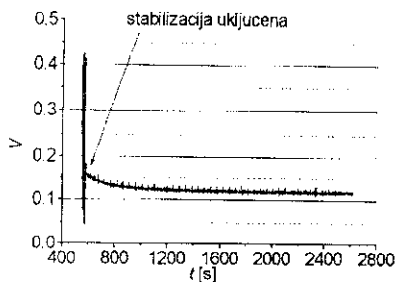
Сл.1. Експериментална поставка за поређење учестаности хелијум-неонских ласера. Са ДС је означен делитељ снопа, а са О - осветљено.

Сигнал избијања се посматра на спектралном анализатору. Помоћу електронског бројача се прихватају подаци о учестаности избијања (која говори о разлици учестаности снопова оба ласера) и шаљу до другог рачунара на анализирање.

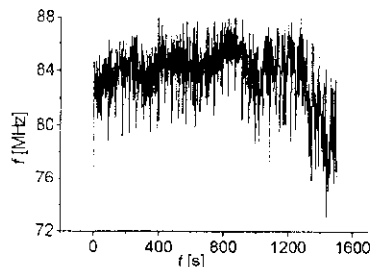
3. РЕЗУЛТАТИ

Сигнал видљивости је посматран на осцилоскопу, а његова обрада је вршена помоћу персоналног рачунара. Промена видљивости у времену је приказана на сл.2. Пре укључења стабилизационе повратне спреге видљивост се мења у широким границама (од 0.02 до 0.44). По укључењу стабилизатора се флукуације сигнала одмах смањују, и сигнал се приближава средњој вредности од 0.1.

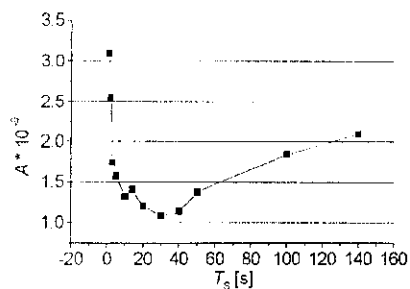
На сл.3 је приказан сигнал са електронског бројача - учестаност избијања два ласера. Приметно је да она за дужи временски период варира између 72 и 88 MHz, дакле само у опсегу од ± 6 MHz. Време између две аквизиције бројача је постављено на уобичајену вредност од $T_A = 1$ s, а укупно време аквизиције је било $T_{tot} = 1500$ s.



Сл.2. Зависност видљивости (V) од времена (t) пре и после укључења стабилизације.



Сл.3. Учестаност избијања два ласера (f) у зависности од времена снимања (t).



Сл.4. Зависност Аланове варијансе (A) од времена усредњавања (T_s).

Као мерило стабилности испитиваног ласера се користи Аланова варијанса (A). Она је рачуната у односу на средње вредности учестаности избијања ($\langle f \rangle$), које су добијене за разна времена усредњавања (T_s). Времена усредњавања су бирана тако да број средњих вредности који се користи за израчунавање варијансе буде већи од 10. Тиме су добијена времена T_s од 1 s до 140 s.

Аланова варијанса је рачуната по формули [8]:

$$A_i = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{1}{2 * (N_i - 1)} \sum_{j=1}^{N_i-1} (\langle f \rangle_{i+j} - \langle f \rangle_i)^2} \quad (1)$$

где су средње вредности рачунате у интервалима T_s као:

$$\langle f \rangle_i = \frac{1}{L} \sum_{j=i+1}^{i+L} f_j \quad (2)$$

са F је означена централна учестаност осциловања ласера (у нашем случају 474 THz), V је укупни број узетих узорака ($N = T_s / T_A$), L је број елемената за усредњавање ($L = T_s / T_A$), N/L је број средњих вредности који се користи за израчунавање варијансе (N је дељиво са L), а f_j су узорци (учестаност избијања између једног и другог ласера).

Резултати рачунања Аланове варијансе су приказани на сл.4. Уочљиво је да за мала времена усредњавања Аланова варијанса има велике вредности, постиже минимум за период од 30 s (који износи $1.08 * 10^{-9}$), а за већа времена расте.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] N. Mio, M-F. Ko, W-T. Ni, S-S. Pan, A. Araya, S. Moriwaki, K. Tsubono, "Design of a stabilized He-Ne laser by using thin-film heater", *Appl.Opt.*, **32**, 5944-5947, 20. октобар 1993.
- [2] J. Ishikawa, "Accurate frequency control of an internal-mirror He-Ne laser by means of a radiation-heating system", *Appl.Opt.*, **34**, 6095-6098, 20. септембар 1995.
- [3] T. Baer, F. V. Kowalski, J. L. Hall, "Frequency stabilization of a 0.633mm He-Ne longitudinal Zeeman laser", *Appl.Opt.*, **19**, 3173-3177, 15. септембар 1980.
- [4] N. Brown, "Frequency stabilized lasers: optical feedback effects", *Appl.Opt.*, **20**, 3711-3714, 1. новембар 1981.
- [5] T. Araki, Y. Nakajima, and N. Suzuki, "Frequency and intensity stabilization of a high output power, internal mirror He-Ne laser using interferometry", *Appl.Opt.*, **28**, 1525-1528, 15. април 1989.
- [6] D. V. Pantelic, A. G. Kovacevic, D. S. Rostohar, B. M. Panic, "He-Ne laser frequency stabilization by locking to the minimum of interference fringes visibility function", *Зборник радова XLIII конференције за FTP,III*, 1999, свеска IV стр.287-290.
- [7] M. Born, E. Wolf, "Principles of Optics", Pergamon Press, 1968, на руском.
- [8] Y. Akimoto and M. Ohi, "Stability Analysis of Frequency Stabilized Laser", *Bulletin of the NRI*, **41**, 3-7, 1980.

Abstract – We stabilized a helium-neon laser by computer-controlling the time of forced heating the laser tube. The error signal is obtained by interference measurement of the visibility. In order to evaluate stability, we compared the frequency with the frequency of a Zeeman-stabilized laser. The results show that this method can stabilize the helium-neon laser to the stability level as good as 10^{-9} .

Frequency comparison of a Zeeman-stabilized and an interference-stabilized helium-neon laser

Dejan Pantelic, Bratimir Panic, Aleksander Kovacevic,
Slobodan Zelenika