
Mladen Đorđević

Analiza mogućnosti za modulaciju poluprovodničkog lasera

Određivane su strujno-naponske karakteristike GaAs poluprovodničke diode i ispitivana je zavisnost vremena kašnjenja registrovanog laserskog signala u odnosu na frekvenciju pobudnog signala. Digitalnom obradom (metodom unakrsne-korelacije - cross correlation) se izračunavalo vreme kašnjenja odziva u odnosu na pobudni signal. Naden je prag laserskog zračenja i eksperimentalno su određene optimalne frekvencije laserske pobude na kojima je vreme kašnjenja sistema najmanje.

Uvod

Laseri rade na principu stimulisane emisije koju inicira pojava inverzne populacije. Kada je sistem u stanju termodinamičke ravnoteže populacija elektrona na višim energetske nivoima manja je od populacije na nižim nivoima (slika 1, levo).

Inverzna populacija GaAs poluprovodničkog lasera predstavlja stanje kada je populacija gornjeg dela provodne zone veća od populacije na nižim nivoima (slika 1, desno), što se dobija dovođenjem većeg napona sa signal generatora na poluprovodničku diodu. Tada će foton koji ima energiju veću od energije zabranjene zone verovatnije da stimuliše emisiju iz pobudenog stanja, nego da bude apsorbovan od strane nižih nivoa. Rezultat je laserski snop, pojačanje, tj. povećanje broja fotona sa energijom potrebnom za prelazak iz valentne u provodnu zonu, proporcionalno razlici između stimulisane emisije i apsorpcije na toj talasnoj dužini.

Da bi se održala laserska emisija, potrebno je konstantno popuniti gornje energetske nivoe i simultano depopulirati donje, za šta je potrebno konstantno pumpanje energije, tj. neki električni izvor

stabilnog napona. Poluprovodnički laser ima više modova rada, pa se lasersko pojačanje može dogoditi na nizu talasnih dužina. Opseg talasnih dužina na kojima se mogu dogoditi i emisija i apsorpcija determinisan je molekularnim kretanjem, vibracijom i rotacijom energetskih nivoa, kao i drugim faktorima. Ipak, energija se ne može beskonačno pumpati i snaga laserskog snopa beskonačno rasti. Posle određenog napona (što je ujedno i ispitivano u ovom radu) dolazi do zasićenja viših energetskih nivoa, što znači da dalje povećanje napona neće dovesti do pojačanja snage laserskog snopa, već će ona ostati ista. Ovakvo funkcionisanje lasera važi kada se na njegove krajeve dovodi jednosmeran napon. Međutim, ako se pored jednosmerne dovede i naizmenična komponenta čija frekvencija varira, na izlazu (meraču snage) dobija se deformisana sinusoida sa izraženim maksimumima. Upravo ta osobenost laserskog snopa je ispitivana u ovom radu.

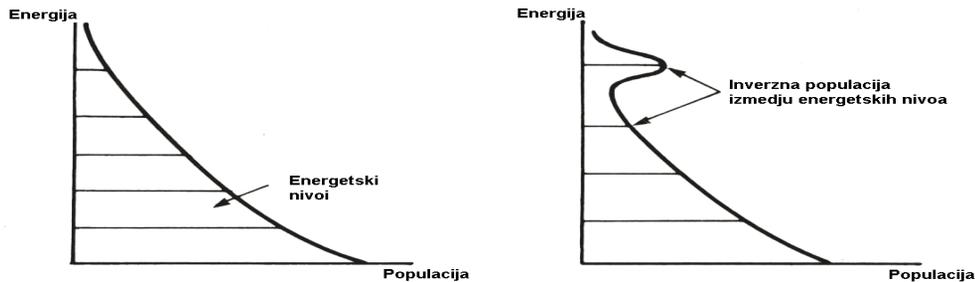
Cilj rada je merenje osnovnih strujno-naponskih karakteristika poluprovodničkog lasera, odnosno ispitivanje fenomena laserske emisije i određivanje zavisnosti vremena kašnjenja laserskog signala od frekvencije električne pobude, radi zadavanja što boljih uslova modulacije laserskog signala.

Aparatura, merenje i metoda

Aparatura se sastojala od (slika 2):

- signal generatora koji je proizvodio napon jednosmerne komponente od 3 V i naizmenične komponente od ± 1 V
- voltmetra koji je merio jednosmernu i naizmeničnu komponentu napona na poluprovodničkom laseru
- poluprovodničkog GaAs lasera talasne dužine 630-690 nm
- merača snage lasera
- digitalnog osciloskopa (Gagescope kartice);

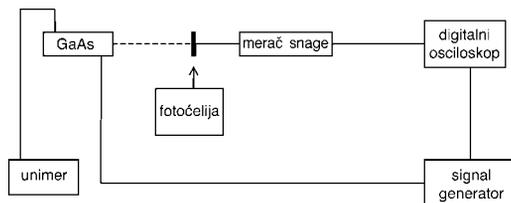
Mladen Đorđević (1984), Niška Banja, Čegarska 2, učenik 3. razreda Gimnazije "Bora Stanković" u Nišu



Slika 1. Distribucija energije po energetskim nivoima

Figure 1. Energy distribution by levels

Iz signal generatora su zadavana dva signala. Jedan signal je napajao poluprovodnički laser, dok je drugi direktno išao na jedan od ulaza digitalnog osciloskopa. Na laser je paralelno vezan voltmeter kojim se merio odgovarajući napon. Promene intenziteta laserskog snopa praćene su pomoću merača snage. Signal sa merača snage je predstavljao drugi ulaz digitalnog osciloskopa.



Slika 2. Šema aparature

Figure 2. Experimental setup

Dobijeni parovi signala su dalje obrađivani metodom unakrsne korelacije. Ona se izračunava množenjem ulaznog, eksperimentalno dobijenog signala sa signalom date učestanosti, a zatim određivanjem usrednjenog proizvoda. Ova komponenta je različita od nule jedino u slučaju postojanja komponenti u oba signala sa istom frekvencijom. Ostale komponente šuma tako otpadaju, pa se jasno uočava maksimum vrednosti funkcije unakrsne korelacije, koji predstavlja vrednost za koju treba pomeriti jedan signal da bi se po svojim maksimumima poklopio sa drugim. U ovom radu je unakrsna korelacija upotrebljena za pronalaženje vremena kašnjenja signala.

Rezultati i diskusija

Kao rezultati određivanja karakteristika GaAs lasera, dobijene su četiri zavisnosti (slika 3):

- zavisnost intenziteta laserskog snopa od jednosmerne komponente
- zavisnost jačine struje na laserskoj diodi od ulaznog napona
- zavisnost naizmjenične komponente napona od frekvencije signal generatora
- zavisnost jednosmerne komponente napona od frekvencije signal generatora

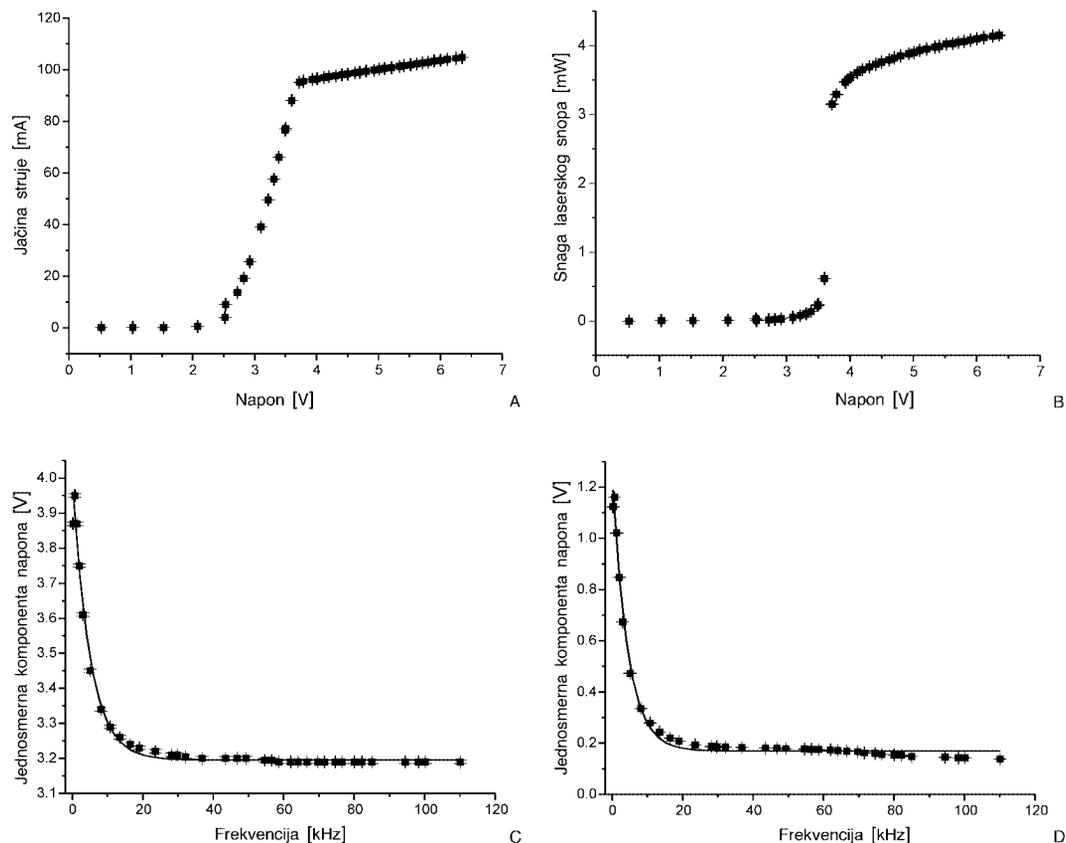
Zavisnost naizmjenične komponente napona od frekvencije pobudnog signala fitovana je funkcijom:

$$y_1 = A_1 + A_2 \cdot \exp\left(\frac{-x_1}{t_1}\right)$$

Zavisnost jednosmerne komponente napona od frekvencije pobudnog signala fitovana je funkcijom:

$$y_1 = A_3 + A_4 \cdot \exp\left(\frac{-x_2}{t_2}\right)$$

Na graficima A i B (slika 3) jasno se vidi prag laserske emisije koji se nalazi na (3.2 ± 0.1) V. Grafici C i D pokazuju da u merenom opsegu frekvencija nema neočekivanih fluktuacija što je omogućilo predviđanje komponente napona na diodi na osnovu poznate frekvencije i automatsko izbegavanje neželjenih efekata na višim naponima (uništavanje diode, na primer). Greške su isključivo sistematske greške aparature i određene su na pola poslednje sigurne cifre na displeju, i iznose u zavisnosti od opsega od 0.005 do 0.0005 odgovarajućih jedinica. One



Slika 3. A – Zavisnost jačine struje na laserkoj diodi od napona signal generatora; B – Zavisnost snage laserskog snopa od napona signal generatora; C – Zavisnost jednosmerne komponente napona na diodi od frekvence signal generatora; D – Zavisnost snage laserskog snopa od napona signal generatora.

Figure 3. A – Dependence of current on the laser diode from voltage; B – Dependence of laser beam power from voltage; C – Dependence of the DC component of voltage on the diode from frequency; D – Dependence of laser beam power from voltage.

su male i kontrolisane zbog potune automatizacije i odličnih performansi digitalnih aparata.

Unakrsna korelacija je dala funkciju čiji lokalni maksimumi i minimumi, međusobno povezani, čine romb. Apscisa njihove maksimalne vrednosti, tj. x koordinata najviše tačke romba predstavlja vrednost kašnjenja prvog signala u odnosu na drugi u relativnim jedinicama. Vremensko kašnjenje u nanosekundama dobijamo po formuli:

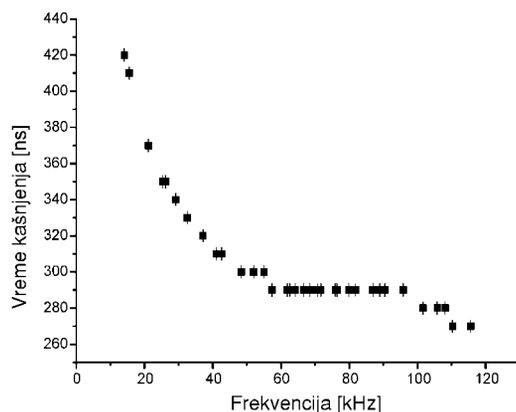
$$t = \frac{x - u}{v}$$

gde x predstavlja apscisu maksimuma funkcije, v frekvenciju semplovanja digitalnog osciloskopa, a u broj članova signala pojedinačno. Tražena zavisnost

vremena kašnjenja od frekvencije prikazana je grafički na slici 4.

Zavisnosti dobijene kao karakteristike GaAs diode pokazuju da je intenzitet laserskog snopa do praga emisije jednak nuli, dok posle toga dolazi do skoka intenziteta, a zatim i zasićenja. Pri nižim frekvencijama signal generatora dobijaju se visoke vrednosti i za jednosmernu i za naizmjeničnu komponentu napona.

Slično, grafik zavisnosti vremena kašnjenja detekcije signala od frekvencije može se podeliti na tri dela: prvi deo do 60 kHz, kada vreme kašnjenja eksponencijalno opada, drugi deo od 60 do 100 kHz, kada je vreme kašnjenja konstantno, i treći deo preko 100 kHz gde vreme kašnjenja ponovo opada.



Slika 4. Zavisnost vremena kašnjenja sistema od frekvencije pobudnog signala

Figure 4. Dependence of system delay time from the initiating signal frequency

Verovatno postoji međusobna povezanost između vremena kašnjenja i samih promena komponenti napona, jer su u sva tri slučaja u pitanju eksponencijalne zavisnosti. To je i najverovatniji razlog ovakvog ponašanja zavisnosti vremena kašnjenja od frekvencije.

Zaključak

Naše mišljenje je, na osnovu dobijenih rezultata, da je vreme kašnjenja u direktnoj proporcionalnosti sa naponom, što bi moglo da predstavlja put za dalja istraživanja i bolje razumevanje i samog fenomena inverzne populacije i fizike zabranjenih zona u čvrstom stanju. Konačni zaključak je da su idealne frekvencije za modulisanje lasera iznad 60 kHz, prvenstveno između 60 i 100 kHz, jer se tada vreme kašnjenja stabilizuje i veoma je malo. Kašnjenje je tada reda veličine 100 ns.

Literatura

Hecht J. 1986. *The lasers guidebook*. London: McGraw-Hill Book Company

Muncaster R. 1993. *A-level Physics (fourth edition)*. Gloucestershire: Stanley Thornes (Publishers) Ltd.

Aničin I.V. 1990. *Obrada rezultata merenja*. Beograd: Fizički fakultet

Mladen Đorđević

Analysis of Possibilities for Semiconductor Laser Modulation

Current-voltage characteristics of the GaAs semiconductor diode and the dependence of the time delay of the registered laser signal from the initiating signal frequency were determined. Research was conducted using the apparatus made of: a signal generator, voltmeter, powermeter and a digital oscilloscope. The laser was powered by a signal generator, which simultaneously generated both the direct and the analog component of the voltage. The frequency range of measured signals was from 0.1 kHz to 110 kHz. The digital oscilloscope was used to simultaneously record signals both from the power source and the laser. Time delay of the response to the initiating signal was calculated by means of digital processing (cross-correlation). The bound of the laser transmission was found and optimal frequencies of laser initiation, at which the time delay of the system is minimal, were experimentally determined.