

VAJA 19. - RODOVI NIHANJA HELIJ-NEONSKEGA LASERJA

19.1. Rodovi nihanja laserskega izvora

Laserski izvor svetlobe je v marsičem podoben običajnim električnim oscilatorjem. Vsak električni oscilator potrebuje ojačevalnik in povratno vezavo, ki določa frekvenco nihanja oscilatorja. Na frekvenco nihanja električnega oscilatorja seveda vplivajo tudi lastnosti ojačevalnika, predvsem frekvenčni potek ojačenja in nelinearne lastnosti ojačevalnika pri velikih signalih v področju zasičenja.

Laserski izvor svetlobe vsebuje kot ojačevalnik aktivno snov, ki daje lasersko ojačenje svetlobe. Povratno vezavo zagotovimo z zrcali različnih izvedb. Zrcala tvorijo optični rezonator, ki je frekvenčno močno odvisen. Tudi lasersko ojačenje aktivne snovi je frekvenčno odvisno. Za razliko od električnih ojačevalnikov, ki se običajno obnašajo kot nizkoprepustna sita, se obnaša lasersko ojačenje kot pasovno sito okoli ene ali več različnih valovnih dolžin, ki ustrezajo laserskim energijskim prehodom v aktivni snovi.

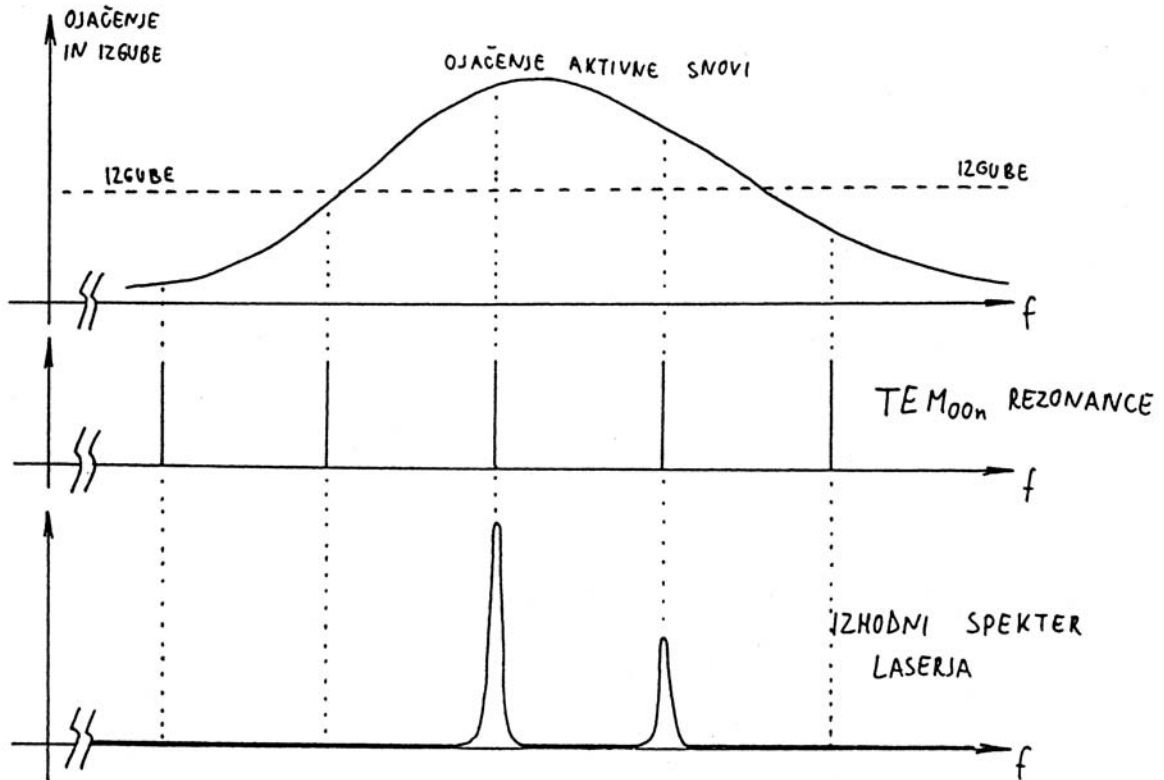
Frekvenčni potek in število rezonančnih frekvenc optičnega rezonatorja sta odvisna od vrste uporabljenih zrcal in njihove medsebojne namestitve. V laserjih z dvema koncentriranimi zrcalom na obeh koncih rezonatorja (imenovan tudi Fabry-Perot ali FP rezonator) je število rezonančnih frekvenc izredno visoko, nekje med 1000 in 1000000. Število rezonančnih frekvenc lahko znižamo z uporabo frekvenčno odvisnih zrcal oziroma z uporabo porazdeljene povratne vezave (angl. distributed feed-back ali DFB laser).

Kot posledica velikega števila rezonančnih frekvenc laserji običajno nihajo na več različnih valovnih dolžinah hkrati. Ker so laserski rezonatorji običajno podolgovate oblike, največkrat opazimo le vzdolžne rodove vrste TEM_{00n} . Pri širših rezonatorjih (laserji velike moči) opazimo tudi pojav prečnih rodov vrste TE_{lmn} in TM_{lmn} . Medtem ko vzdolžni rodovi kazijo le frekvenčni spekter izhodne svetlobe, prečni rodovi kazijo tudi obliko izhodnega žarka laserja.

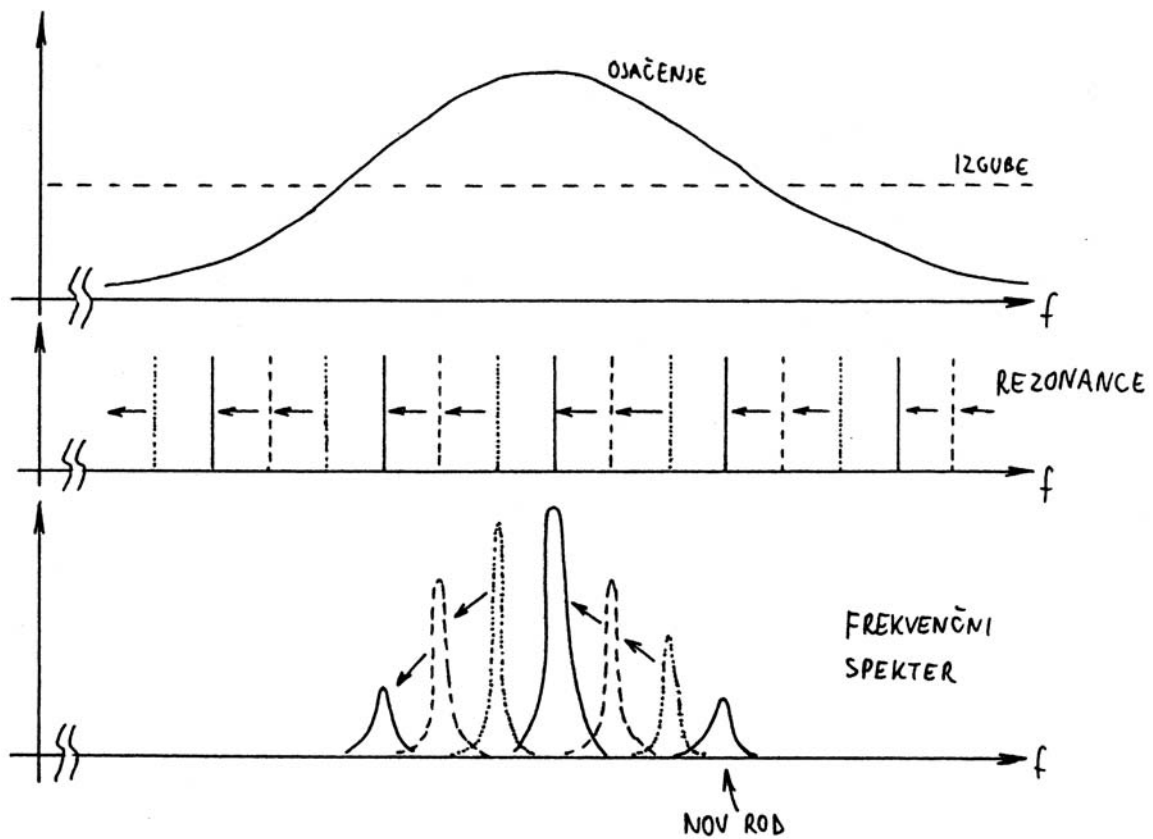
HeNe laser je plinski laser z majhnim ojačenjem in zelo podolgovatim rezonatorjem preseka okoli 1mm in dolžine okoli 250mm. V HeNe laserju zato običajno opazimo le pojav več vzdolžnih TEM rodov. Aktivna snov, primerno vzbujeni Ne atomi, daje lasersko ojačenje na več različnih valovnih dolžinah. Z uporabo frekvenčno odvisnih zrcal na obeh koncih rezonatorja dosežemo delovanje laserja na valovnih dolžinah okoli 632.8nm (vidna rdeča svetloba).

Vzbujeni Ne atomi so razmeroma ozkopasoven ojačevalnik na frekvenci 474THz, ki ustreza valovni dolžini 632.8nm. Frekvenčna pasovna širina ojačenja aktivne snovi (vzbujenih Ne atomov) je v velikostnem razredu nekaj GHz oziroma komaj nekaj milijonink osrednje frekvence 474THz.

Pri dolžini laserske cevi 250mm so posamične rezonančne frekvence TEM rodov med sabo razmaknjene za 600MHz. Pasovna širina vsake posamične rezonance je v velikostnem razredu 1MHz. Helij-neonski laser zato običajno niha na več spektralnih črtah hkrati, kot je to prikazano na sliki 19.1.



Slika 19.1. – Ojačenje, izgube, rezonance in spekter HeNe laserja.



Slika 19.2. – Časovni razvoj frekvenčnega spektra laserja.

Med delovanjem se HeNe laserska cev segreva, pri tem se cev razteza in razdalja med zrcali se počasi povečuje z naraščajočo temperaturo. Z razmikanjem zrcal se spreminjajo rezonančne frekvence posameznih rodov. Ker nudi aktivna snov zadostno ojačenje za vzdrževanje nihanja le v omejenem frekvenčnem pasu, nihanje določenega rodu presahne, ko frekvenca rodu zdrsne izven območja ojačenja aktivne snovi, kot je to prikazano na sliki 19.2.

Hkrati lahko začne laser nihati na povsem novem rodu, ki je ravnokar vstopil v območje zadostnega ojačenja aktivne snovi. Ob vklopu HeNe laserja opazimo pojav preskoka rodov s periodo v velikostnem razredu 10 sekund. Z rastočo temperaturo cevi postaja pojav počasnejši in se povsem ustavi, ko doseže temperatura cevi ravnotežno stanje.

Tudi ko HeNe laserska cev nima vgrajenega Brewstrovega okna, so posamični TEM rodovi linearno polarizirani. V nepolarizirani laserski cevi so sosednji rodovi vedno ortogonalno polarizirani, zato se s preskokom rodov menja tudi polarizacija izhodne svetlobe.

19.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

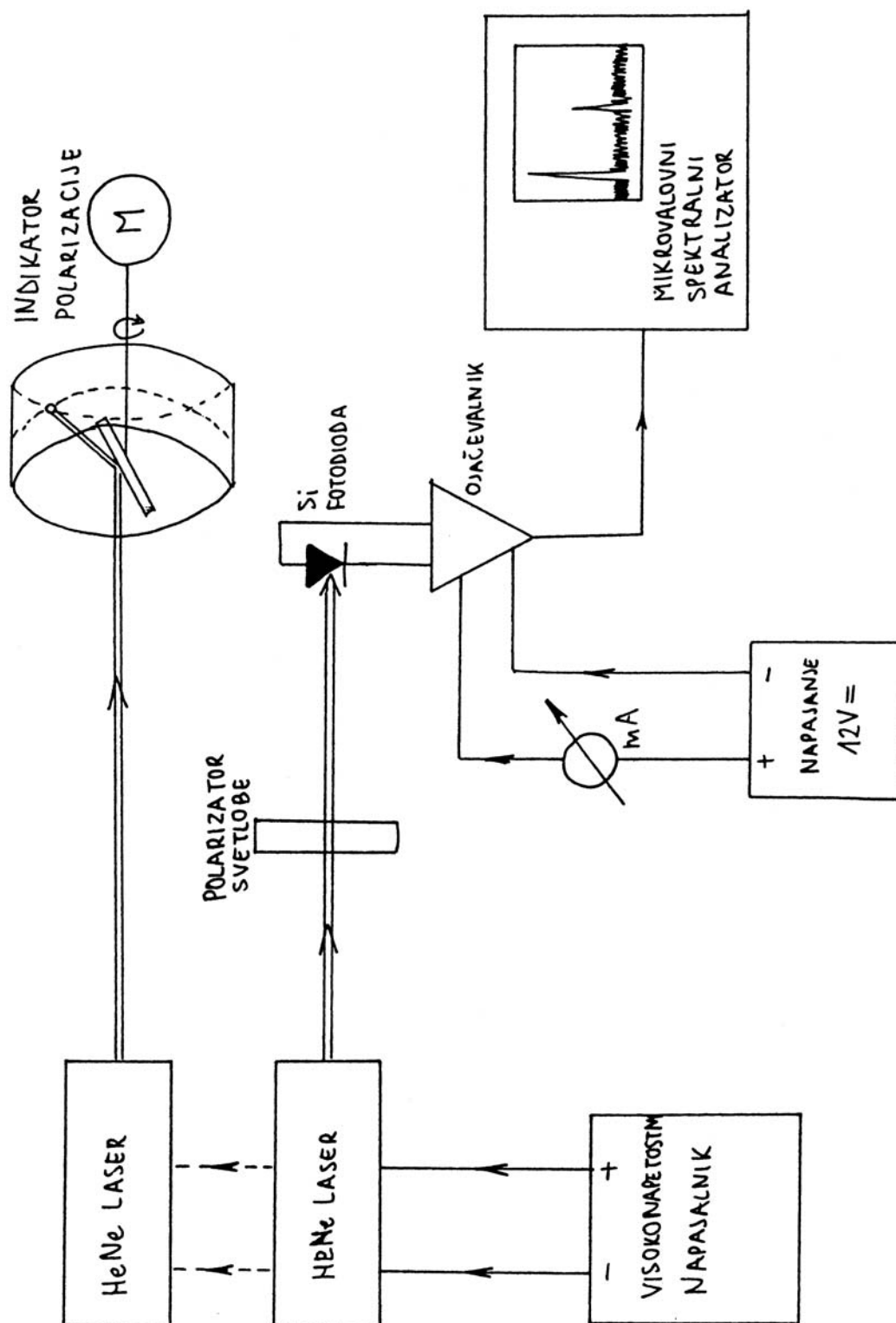
- (1) Običajno, nepolarizirano HeNe lasersko cev, brez ohišja.
- (2) Polarizirano HeNe lasersko cev, brez ohišja.
- (3) Nastavljivi visokonapetostni izvor za napajanje cevi.
- (4) Si fotodiodo s predojačevalnikom in napajalnikom.
- (5) Mikrovalovni (radijski) spektralni analizator 0-2GHz.
- (6) Nastavljivi polarizator svetlobe.
- (7) Indikator polarizacije svetlobe z vrtečim Brewstrovim zrcalom.
- (8) Mikro/miliamperimeter za merjenje toka fotodiode.
- (9) Optično klop s podstavki za sestavljanje vaje.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na sliki 19.3.

19.3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Vzdolžni rodovi v helij-neonskem laserju se neposredno kažejo v frekvenčnem spektru izhodne svetlobe, zato jih lahko neposredno opazujemo z optičnim spektralnim analizatorjem. Nihanje HeNe laserja na več rodovih zmanjšuje za več velikostnih razredov koherenčno dolžino izhodne svetlobe, kar lahko opazujemo z interferometrom.

Usihanje posameznih rodov, pojav novih rodov in preskakovanje med rodovi opazimo tudi s fotodiodo kot majhne spremembe izhodne moči laserja, kar lahko izmerimo z meritvijo enosmernega toka skozi fotodiodo. Nihanje laserja na več rodovih lahko povzroči interferenčni pojav, ki ga opazimo kot amplitudno modulacijo izhodne svetlobe s povsem določenimi frekvencami, ki natančno ustrezajo dolžini laserske cevi.



Slika 19.3. – Razporeditev in vezava merilnih instrumentov.

Glede na dolžine razpoložljivih laserskih cevi pričakujemo električne signale v frekvenčnem področju od 300MHz do 1000MHz. Takšne signale najlažje opazujemo in izmerimo z mikrovalovnim (radijskim) spektralnim analizatorjem. Iz izmerjene frekvence lahko potem natančno izračunamo razdaljo med zrcali znotraj laserske cevi. Iz celotnega frekvenčnega spektra lahko tudi določimo število rodov, na katerih hkrati niha laserska cev.

Interferenco med rodovi HeNe laserja najlažje opazimo pri polarizirani laserski cevi, saj imajo tu vsi rodovi isto polarizacijo in bo interferenčni pojav na fotodiodi vedno viden. Pri nepolarizirani HeNe laserski cevi so sosednji rodovi med sabo ortogonalno polarizirani, zato takšna svetloba ne tvori nobenega interferenčnega pojava na fotodiodi.

Pri nepolarizirani HeNe laserski cevi zato najprej določimo obe ravnini polarizacije rodov s pomočjo indikatorja polarizacije z vrtečim Brewstrovim zrcalom. Nato lasersko cev usmerimo na fotodiodo, vmes pa vstavimo polarizator. Polarizator zavrtimo tako, da je njegova ravnina pod kotom 45° glede na ravnini rodov v laserski cevi. Ko na mikrovalovnem spektralnem analizatorju opazimo interferenčni signal, z vrtenjem polarizatorja poskusimo izboljšati maksimum. Če pri nepolarizirani laserski cevi odstranimo zunanji polarizator, interferenčni pojav izgine oziroma močno oslabi.

19.4. Prikaz značilnih rezultatov

Kot rezultat vaje si na koncu zabeležimo oznako in vrsto izmerjenih laserskih cevi, izmerjeno frekvenco interference rodov, izračunano razdaljo med zrcali laserskega rezonatorja in število rodov. Pri daljših ceveh lahko opazimo interferenco med več kot dvema rodovoma, kar opazimo kot višje harmonske frekvence ter kot dodaten interferenčni pojav v okolici osnovne interferenčne frekvence, saj razlike frekvenc posameznih rodov niso povsem enake.

19.5. Vprašanja in naloge vaje

1. Izračunaj razdaljo med zrcali znotraj posamezne laserske cevi!
2. Oцени število rodov na katerih hkrati niha HeNe laserska cev!
3. Zakaj pri nepolarizirani cevi ne vidimo interference rodov brez polarizatorja pred fotodiodo?
4. Zakaj frekvenčne razlike pri nihanju laserja na treh ali več vzdolžnih rodovih niso povsem enake?