

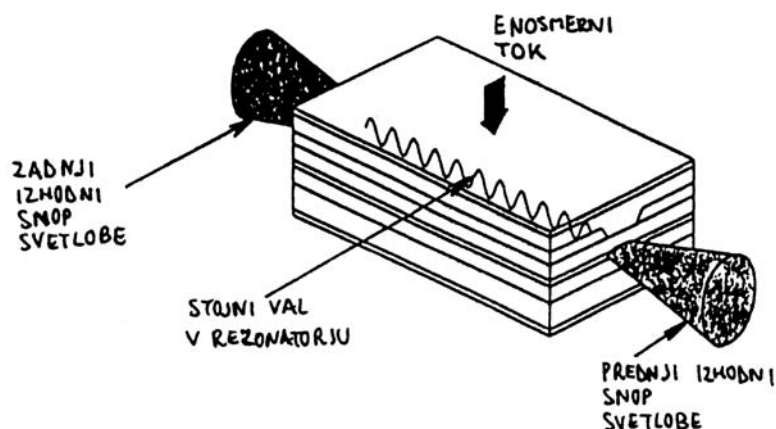
VAJA 21. - MERITEV JAKOSTNEGA ŠUMA POLPREVODNIŠKEGA LASERJA

21.1. Rodovi nihanja polprevodniškega laserja

Osnovni svetlobni izvori za vse vrste optičnih komunikacij so polprevodniške svetleče diode in laserji. Tehnološko je sicer najlažje izdelati GaAs svetleče diode in GaAlAs laserje za področje valovnih dolžin od 800 do 900nm. Zaradi zahtev prenosne poti (steklena optična vlakna) pa so razvili tudi tehnološko zahtevnejše svetleče diode in laserje iz kombiniranih polprevodnikov InGaAsP za valovne dolžine 1300nm in 1550nm.

Glavni pomanjkljivosti svetleče diode sta razmeroma širok spekter valovnih dolžin (pas 30nm do 100nm) in majhna prečna koherenčna dolžina, saj posamezne točke svetleče diode ne sevajo koherentno. Majhna prečna koherenčna dolžina pomeni majhno sklopljeno moč v optično vlakno (še posebno v enorodovno vlakno), širok spekter valovnih dolžin pa pomeni veliko popačenje impulzov zaradi barvne disperzije na prenosni poti.

S primerno konstrukcijo polprevodniškega laserja (laserske diode) je možno delno ali v celoti rešiti obe opisani pomanjkljivosti svetleče diode. Na sliki 21.1 je prikazana enostavna konstrukcija laserske diode s Fabry-Perot-ovim rezonatorjem. Polprevodniški čip takšnega laserja sploh ne potrebuje posebnih zrcal, pač pa zadošča odboj na meji polprevodnik/zrak, saj je lomni količnik polprevodnikov na osnovi GaAs zelo visok (okoli 3.5 - 4).



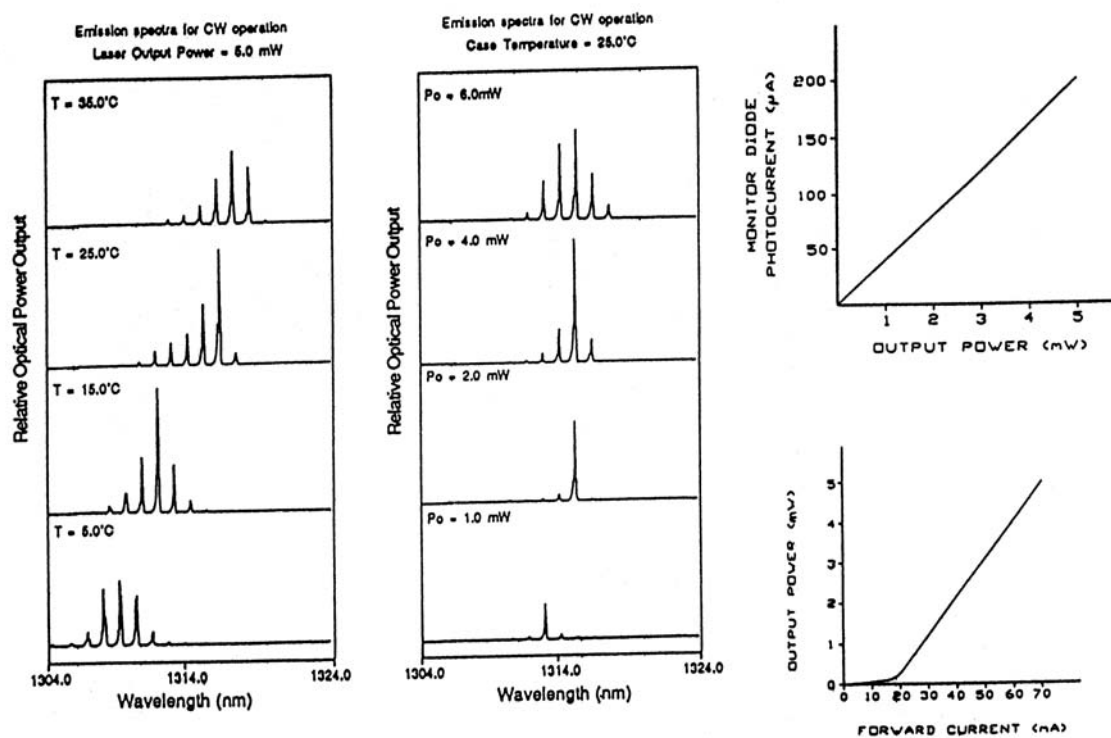
Slika 21.1. – Polprevodniški laser s Fabry-Perot-ovim rezonatorjem.

S primerno izbiro polprevodnikov z različnimi lomnimi količniki vgradimo v laserski čip kos dielektričnega valovoda, s spremenljivo širino prepovedanega energijskega pasu pa zagotovimo rekombinacijo elektronov in vrzeli v samem valovodu ter hkrati preprečimo neželjeno absorpcijo nastalega valovanja drugod v laserskem čipu. Končno polprevodniška struktura zagotavlja veliko koncentracijo električnega toka skozi PN spoj v valovodu.

V Fabry-Perot-ovem rezonatorju se lahko vzpostavi množica različnih rodov. Prečne rodove višjih redov zadušimo v polprevodniških laserjih tako, da naredimo valvod dovolj tanek po višini in dovolj ozek po širini. Po višini zadošča že debelina PN spoja, po širini pa lahko višje prečne rodove preprečimo na dva načina: s primernim potekom lomnega količnika (angl. index-guided) oziroma s primerno porazdelitvijo vzbujevalnega električnega toka (angl. gain-guided).

Če polprevodniški laser ne niha na višjih prečnih rodovih, lahko vso izhodno moč enega od obeh izhodnih snopov svetlobe sklopimo v enorodovno vlakno s primernim sistemom leč. Drugače povedano, sklopljena moč v enorodovno vlakno je za faktor 20dB do 25dB višja kot pri svetleči diodi enake izhodne svetlobne moči. Za običajne polprevodniške laserje se sklopljena moč v vlakno giblje v velikostnem razredu od 1mW (+0dBm) do 100mW (+20dBm).

Žal v polprevodniškem laserju z enostavnimi zrcali na koncih rezonatorja (Fabry-Perot) ne moremo preprečiti nastanka množice vzdolžnih rodov, saj je laserski čip razmeroma dolg (100-500 μ m) v primerjavi z valvno dolžino svetlobe. Laserska dioda s Fabry-Perot-ovim rezonatorjem zato niha na več vzdolžnih rodovih, kot je to prikazano na sliki 21.2. Še več, s spreminjanjem krmilnega toka (modulacija izhodne moči) oziroma s spreminjanjem temperature laser preskakuje med različnimi rodovi v širšem pasu valovnih dolžin.



Slika 21.2. – Spekter svetlobe polprevodniškega laserja s FP rezonatorjem.

Širina optičnega spektra FP laserja je v velikostnem razredu 3nm do 10nm, kar je desetkrat ožje od svetleče diode. Širina spektra laserja zato prispeva k popačenju signala šele pri komunikacijah na velike razdalje oziroma pri zelo širokopasovnih signalih. Nihanje laserja na več različnih rodovih in stalno preskakovanje na nove rodove doprinese v zvezo dodaten šum, ki ga označimo z veličino RIN (angl. Relative Intensity Noise ali jakostni šum laserja). Glede na dolžino čipa laserske diode pade neposredna interferenca med sosednjimi rodovi laserja v frekvenčno področje nad 100GHz, vendar preskakovanje med rodovi povzroča precej šuma tudi na nižjih frekvencah, ki padejo v modulacijski spekter optičnih zvez.

Jakostni šum laserja (RIN) je zato lahko omejitveni dejavnik pri tistih zvezah, kjer zahtevamo zelo visoko razmerje signal/šum. Za analogni prenos televizijskih signalov po optičnih vodnikih zato potrebujemo boljše izvore, naprimer polprevodniške laserje s porazdeljeno povratno vezavo (DFB), ki stabilno nihajo na enem samem vzdolžnem rodu.

21.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

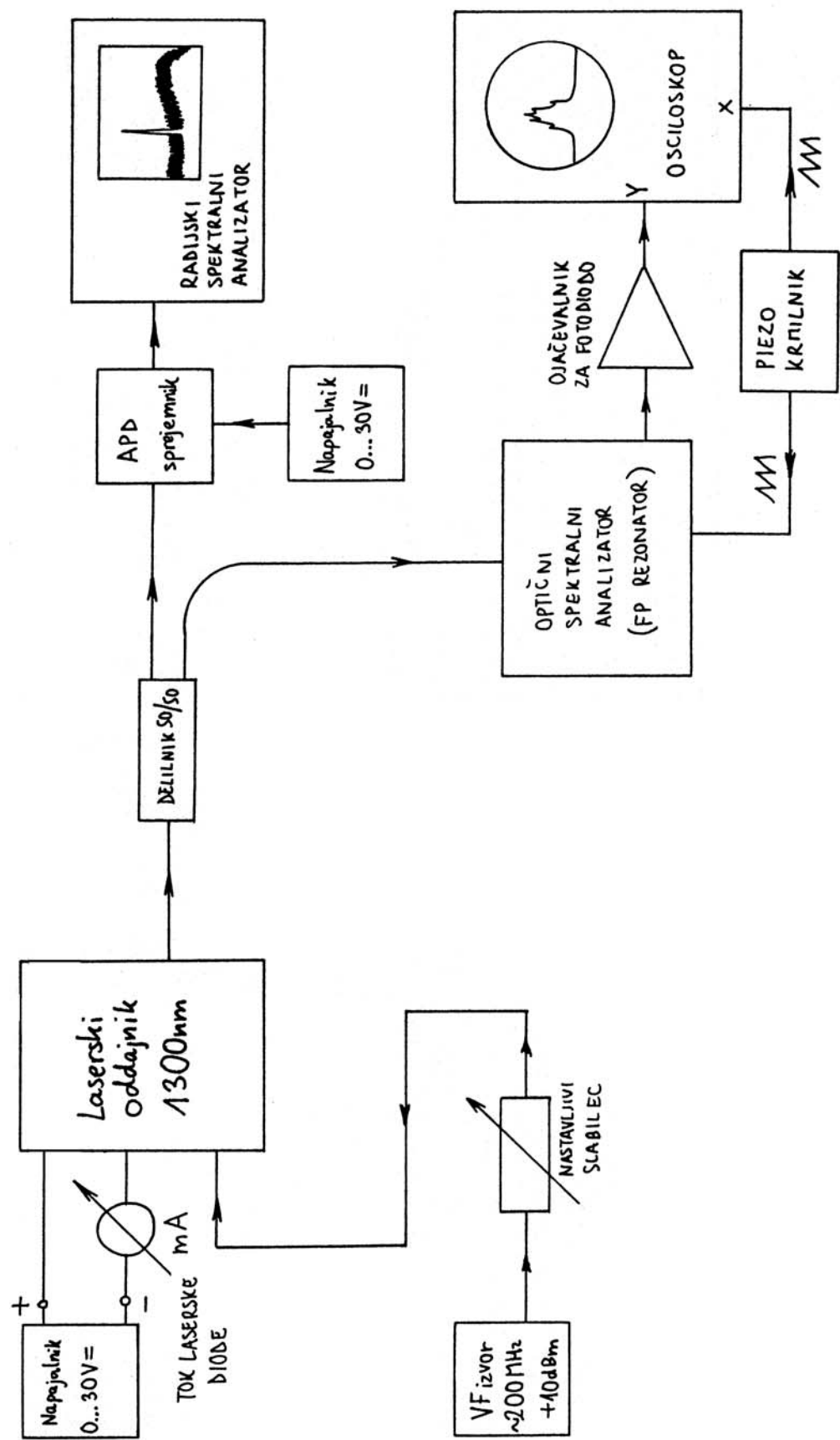
- (1) Polprevodniški laserski modul z ustreznim zaščitnim vezjem ter izhodnim enorodovnim optičnim vlaknom s FC konektorjem.
- (2) Dva nastavljiva enosmerna izvora 0-30V.
- (3) Miliampermeter 0-50mA za opazovanje toka laserske diode.
- (4) Visokofrekvenčni izvor 200MHz +10dBm z nastavljivim slabilnikom.
- (5) Optični delilnik moči 50/50 (3dB sklopnik) za 1300nm.
- (6) Optični spektralni analizator s FP rezonatorjem.
- (7) Krmilnik piezoelektričnih premikalnikov in predojačevalnik za fotodiodo v optičnem spektralnem analizatorju.
- (8) Osciloskop s pomnilnikom.
- (9) Optični sprejemnik s plazovno diodo (APD).
- (10) Radijski (električni) spektralni analizator do 1000MHz.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na sliki 21.3.

21.3. Obrazložitev in opis poteka vaje

V vaji merimo razmerje signal/šum v optični zvezi z majhnim slabljenjem na prenosni poti. V tem slučaju omejuje razmerje signal/šum predvsem jakostni šum laserja. Vsi ostali šumi (predvsem šum sprejemnika) so za nekaj velikostnih razredov manjši in pri pravilni postavitvi merilnih inštrumentov ne bi smeli motiti meritve jakostnega šuma laserja.

Kot merjenec uporabimo Fabry-Perot-ovo lasersko diodo za 1300nm. Lasersko diodo napajamo z nastavljivim napajalnikom, da lahko opazujemo spreminjanje spektra in šuma laserja glede na delovno točko. Po potrebi pripeljemo na lasersko diodo tudi modulacijo okoli 200MHz, da lahko jakost šuma primerjamo z jakostjo koristnega signala.



Slika 21.3. – Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov.

Izhodni signal laserja peljemo preko delilnika 50/50 (3dB vlakenski smerni sklopnik) na dva povsem različna merilna inštrumenta. Optični spektralni analizator je izdelan kot Fabry-Perot-ov rezonator z nastavljivimi zrcali. Eno od obeh zrcal je vgrajeno na piezoelektrične premikalnike, ki premikajo zrcalo za velikostni razred valovne dolžine svetlobe. Na ta način lahko s primernim električnim signalom žagaste ali trikotne oblike uglašujemo optični rezonator v pasu valovnih dolžin, ki ga določa razdalja med zrcaloma.

Optični rezonator je sicer opremljen z vstopno optiko za merjeno svetlobo ter fotodiodo. Fotodioda zahteva še poseben ojačevalnik, ki je vgrajen v isto ohišje skupaj s piezo krmilniki. Za prikaz optičnega spektra uporabimo osciloskop s slikovnim pomnilnikom, da slika pri počasnejšem mehanskem skeniranju optičnega rezonatorja ne utripa.

Drugi izhod delilnika peljemo na optični sprejemnik s plazovno diodo (APD). Električni izhod sprejemnika opazujemo na radijskem (električnem) spektralnem analizatorju. Ker je frekvenčno področje radijskega spektralnega analizatorja omejeno na 1GHz, lahko opazujemo le spodnji del spektra jakostnega šuma laserja, ki je v resnični optični zvezi tudi najpomembnejši.

21.4. Prikaz značilnih rezultatov

V vaji najprej opazujemo spreminjanje optičnega spektra polprevodniškega laserja. V ta namen izključimo modulacijo (izključimo VF izvor) in počasi višamo napajalno napetost laserskega oddajnika. Pri tem si zabeležimo pragovni tok ter število rodov na pragu delovanja laserja in pri najvišjem dopustnem toku skozi laser.

Nato postopek ponovimo, le da opazujemo dogajanje na radijskem spektralnem analizatorju. Ko na radijskem spektralnem analizatorju nastavimo najvišjo možno občutljivost, moramo biti pozorni tudi na možne radijske motnje, ki nimajo prav nič skupnega z našim poskusom (radiodifuzne postaje okoli 100MHz ali GSM telefoni okoli 900MHz). Dodatno ojačenje optičnih signalov lahko dosežemo tudi s pravilno nastavitvijo delovne točke plazovne diode, vendar tudi tu ne smemo pretiravati, da plazovna dioda sama ne začne proizvajati preveč šuma.

Pri pravilno nastavljeni napetosti na plazovni diodi zlahka opazimo veliko povečanje šuma, ko tok skozi laser prekorači vrednost praga laserja. Jakostni šum laserja ni na vseh frekvencah enak. Slika jakostnega šuma laserja se z delovno točko laserja lahko tudi spreminja, saj laser preskakuje med različnimi vzdolžnimi rodovi.

Končno poskusimo merilni sistem umeriti tako, da vključimo modulacijo laserja. Pri tem se optični spekter laserja nekoliko spremeni, na radijskem spektralnem analizatorju pa dobimo močno črto na frekvenci VF izvora. Po potrebi zato vključimo dodaten slabilnik na vhodu radijskega spektralnega analizatorja.

Na koncu izračunamo razmerje signal/šum v takšni optični zvezi. Jakost signala lahko enostavno odčitamo na skali spektralnega analizatorja, pri jakosti šuma pa moramo upoštevati tudi pasovno širino sita v radijskem spektralnem analizatorju. Ker je jakostni šum močno frekvenčno odvisen, vzamemo neko smiselno povprečje za večje število frekvenc (pozor na logaritemsko skalo!). V končnem rezultatu zapišemo jakost šuma, normirano na 1Hz pasovne širine, da lahko rezultat enostavno preračunamo na poljubno pasovno širino.

21.5. Vprašanja in naloge vaje

1. Skiciraj optični spekter FP laserske diode pri različnih tipičnih tokovih!
2. Koliko je število rodov na pragu delovanja laserja in pri najvišjem dopustnem toku skozi laser?
3. Izračunaj razmerje signal/šum optične zveze pri jakosti šuma normirani na 1Hz!