

Meritve povečanega dometa optičnega dostopnega omrežja z rodovno vklenitvijo polprevodniške Fabry-Pérotove laserske diode

Rok Kropej, Boštjan Batagelj

Laboratorij za sevanje in optiko, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani
E-pošta: rok.kropej@gmail.com

Extended-Range Measurements of an Optical Access Network by Fabry-Pérot Semiconductor Laser Diode Injection Locking

Abstract. *Semiconductor Fabry-Perot laser diodes are simple, low-cost, lasers which are nowadays widely used in point-to-point and point-to-multipoint optical access networks. Since a Fabry-Perot laser diode emits in a wide spectrum, the optical link length and bit rate are limited by fiber chromatic dispersion.*

By injection-locking the Fabry-Perot laser diode at a certain wavelength it can be used in wavelength-division multiplexed optical access networks and is a more suitable choice for user equipment than a more expensive tunable laser.

In this paper we describe how by using an injection-locked Fabry-Perot laser diode the range of an optical access network can be extended. The comparison of signal intensity between the injection-locked laser and its free run mode was made in a laboratory. In the case of injection locking, an improvement in the frequency response and optical communication link length were detected.

1 Uvod

V današnjih optičnih dostopnih omrežjih so najpogosteje uporabljene cenovno ugodne polprevodniške Fabry-Perotove laserske diode (FP-LD). [1], [2] Zaradi relativno širokega valvnodolžinskega spektra, ki ga ima svetloba iz Fabry-Perotove laserske diode, so tovrstne optične zveze ob prisotnosti barvne disperzije omejene po dometu in prenosnih zmogljivostih.

Za zagotavljanje višjih prenosnih zmogljivostih v optičnih dostopnih omrežjih je vse bolj razširjena tehnologija valvnodolžinskega multipleksiranja (razvrščanja) signalov (angl. Wavelength Division Multiplexing – WDM). [3] Pri tem centralna postaja telekomunikacijskega operaterja z vsakim uporabnikom komunicira po drugem valvnodolžinskem kanalu. Za operaterje je ob zanesljivosti in zmogljivosti tehnologije pomembna tudi končna cena, še posebej pri uporabniški opremi.

Eden izmed načinov, kako znižati stroške optičnega dostopnega omrežja, osnovanega na tehnologiji valvnodolžinskega multipleksiranja, je uporaba

preprostejših cenovno ugodnih polprevodniških Fabry-Perotovih laserjev. [3] Ker ima Fabry-Perotov laserski vir širok sevalni spekter, ga je potrebno ustrezno vkleniti na referenčni spektralno čistejši laser. V dostopnem optičnem omrežju se lahko uporabi Fabry-Perotov laser v opremi, ki jo ima uporabnik doma, nato pa se ga z dražjim nastavljivim laserjem iz centrale vzbuja in izbira valovno dolžino za uporabnikov komunikacijski kanal. [4], [5]

V prispevku se osredotočamo na praktično uporabo rodovne vklenitve Fabry-Perotove laserske diode z zunanjim svetlobnim vzbujanjem. S tem dosežemo povečano dolžino optične zveze [6] in izboljšan frekvenčni odziv v primerjavi z meritvami brez zunanjega vzbujanja.

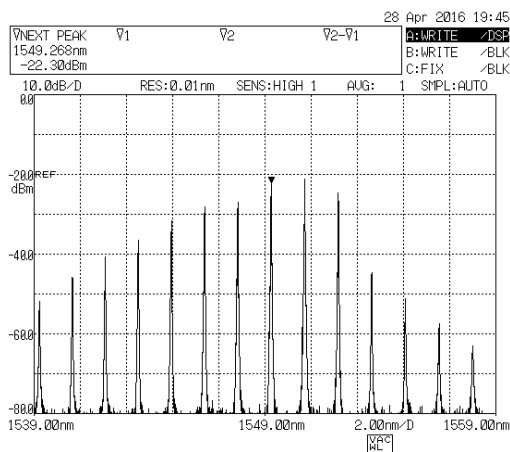
2 Izvedba rodovne vklenitve Fabry-Pérotove laserske diode

Rodovna vklenitev je frekvenčno odvisen pojav, pri katerem en oscilator vzbujamo z drugim oscilatorjem, ki niha pri bližnji frekvenci prvega. S pomočjo rodovne vklenitve se doseže, da oba oscilatorja nihata na enaki frekvenci.

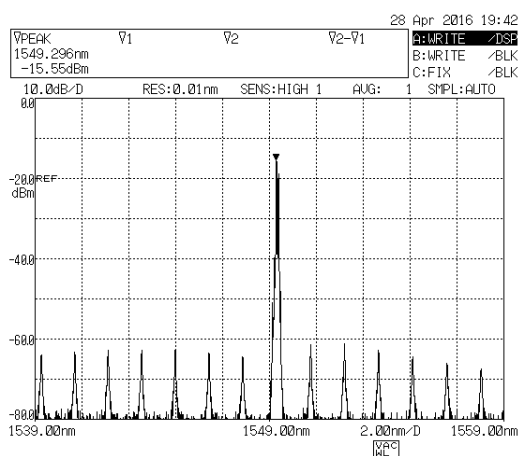
Pri praktičnem preizkusu v laboratoriju smo rodovno vklenitev laserja izvedli tako, da smo Fabry-Perotovo lasersko diodo vzbujali z zvezno nastavljivim laserjem (angl. Tunable Laser Source – TLS) tipa HP 8168F. Na optičnem spektralnem analizatorju (angl. Optical Spectrum Analyzer – OSA) tipa Ando AQ 6317B smo nastavili ločljivost na 0,01 nm ter opazovali spekter Fabry-Perotove laserske diode.

Pred nastopom zunanjega vzbujanja z nastavljivim laserjem se je na zaslonu optičnega spektralnega analizatorja izrisal optični spekter v tipični obliki optičnega glavnika, ki je prikazan na sliki 1. Pomerili smo najdominatnejši rod, ki se nahaja pri valovni dolžini 1549,268 nm in ima vršno optično moč -22,30 dBm.

Po vklopu nastavljivega laserja z nastavljeno valovno dolžino 1549,296 nm, sta se laserja rodovno vklenila. Amplituda najdominantnejšega roda se je sedaj povečala na -15,55 dBm, vsi bočni rodovi pa so postali zadušeni in njihova moč je bila pod -60 dBm, kot je razvidno iz slike 2. Prikazane meritve na sliki 1 in 2 so zagotovile, da je prišlo do rodovne vklenitve Fabry-Perotove laserske diode. [7]



Slika 1: Optični spekter FP-LD pred zunanjim vzbujanjem.



Slika 2: Optični spekter FP-LD po vzbujanju.

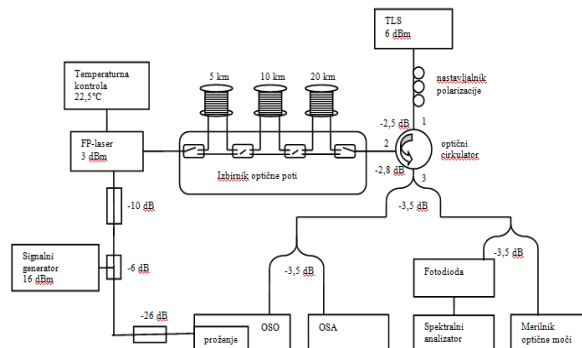
3 Meritve frekvenčne karakteristike

Opravljeni so bili trije sklopi meritev frekvenčne karakteristike sprejetega signala: meritev brez vlakna, meritvi s kolutom enorodovnega optičnega vlakna dolžine 20 km in meritvi z enorodovnim optičnim vlaknom skupne dolžine 35 km, ki so ga sestavljali odseki optičnih vlaken dolžine 5 km, 10 km in 20 km. Uporabljeno optično vlakno je tipa G.652 in ima kromatsko disperzijo, ki znaša približno 16 ps/(nm*km) pri valovni dolžini 1550 nm. Izračunana je iz Sellmeierjeve enačbe in specifikacij optičnega vlakna, ki so podane za valovno dolžino 1310 nm pri kateri znaša kromatska disperzija nič. [8] Koluti optičnega vlakna so bili nameščeni na izbirnik optične poti.

Za meritev frekvenčne karakteristike se je uporabil vezalni načrt merilnih pripomočkov, ki je prikazan na sliki 3. Meritve so se opravile na frekvenčnem področju od 50 MHz do 3 GHz s korakom 50 MHz. Ves čas meritve je bil Fabry-Perotov laser s pomočjo temperaturnega regulatorja stabiliziran na temperaturo 22,5°C.

Na izhodu optičnega vlakna je nameščen optični cirkulator, ki omogoči sklapljanje svetlobe iz nastavljenega laserja in preko optičnih razcepnikov

pripelje signal do optičnega merilnika moči, fotodiode z radijskim spektralnim analizatorjem, optičnega vzorčnega osciloskopa, in optičnega spektralnega analizatorja.



Slika 3: Vezalna shema elementov

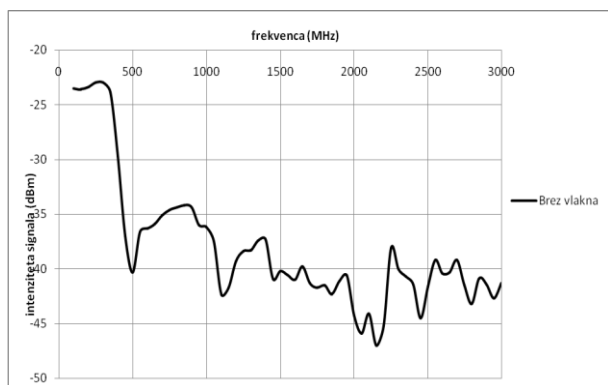
Signalni generator daje radiofrekvenčni signal za direktno amplitudno modulacijo Fabry-Perotove laserske diode. Modulirana svetloba pot nadaljuje po optičnih vlaknih do sprejemne fotodiode, ta svetlobo ponovno pretvori v električni signal, ki ga lahko opazujemo na radiofrekvenčnem spektralnem analizatorju.

Z namenom, da bi spoznali frekvenčno karakteristiko optičnega prenosnega sistema, ki predstavlja referenco za vse nadaljnje meritve je bila najprej opravljena meritev brez priključenega optičnega vlakna in brez zunanjega vzbujanja laserja. Nadaljnje meritve so bile opravljene z optičnim vlaknom dolžine 20 in 35 km brez in z vzbujanjem, ki je omogočila rodovno vklenitev.

Izbirnik optične poti omogoča preklapljanje optičnih vlaken različnih dolžin brez potrebnega fizičnega preklapljanja konektorjev, ki v praksi največkrat vnesejo merilno negotovost zaradi umazanih čelnih površin na tulki konektorja. S pomočjo izbirnika optične poti se meritve izvedejo preprosto in hitro. Omogoča pa tudi zmanjša možnost poškodb, saj je manj potrebnega čiščenja konektorjev.

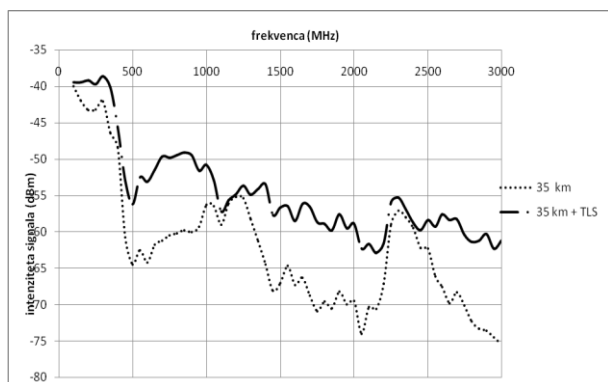
Na sliki 4 je prikazana prva meritev frekvenčne karakteristike opravljena brez priključenega vlakna. Opazna so velika nihanja v intenziteti pri različnih frekvencah, kar je posledica neprilagojene Fabry-Perotove laserske diode povezane na signalni generator z impedanco 50 Ω.

Meritve frekvenčne karakteristike so se nadaljevale z meritvami na optičnem vlaknu skupne dolžine 35 km z rodovno vklenitvijo laserja in brez. Pri obeh meritvah z rodovno vklenitvijo laserja smo veliko pozornost namenili nastavljalniku polarizacije, saj se že z majhnimi spremembami nastavitve spreminja maksimalna izhodna moč. Ugotovljeno je bilo, da je merilni rezultat precej odvisen od polarizacije optičnega signala iz nastavljenega laserja. Izkazalo se je, da je polarizacija odvisna od spremembe temperature, vlakenskih krivin in nesimetričnosti optičnih vlaken.



Slika 4: Intenziteta signala v odvisnosti od frekvence, referenčna meritev brez vlakna.

Pri uporabljeni dolžini vlakna 35 km zelo pade intenziteta signala, zato smo pred odčitavanjem moči spektralni analizator nastavili tako, da je prikazoval povprečno vrednost stotih meritev vhodno sito pa ustrezno majhno, da je bil zajeti šum zadovoljivo majhen. Pri rodovni vklenitvi laserja se opazi očitna izboljšava intenzitete moči v večjem delu frekvenčnega spektra, kot je prikazano na sliki 5. Izjema sta dve frekvenčni področji (okoli 1,2 GHz in 2,4 GHz), kjer je intenziteta skoraj enaka, ne glede na to, ali je laser rodovno vklenjen ali ne.

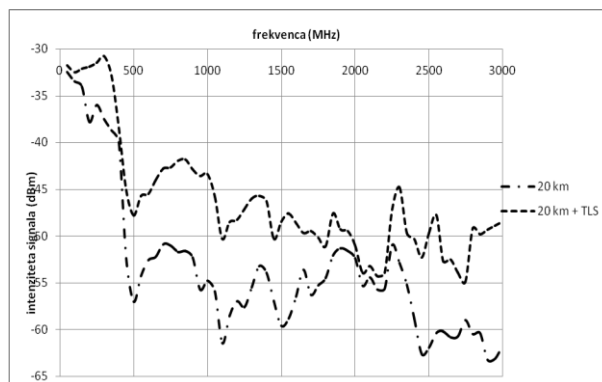


Slika 5: Intenziteta signala, meritev na vlaknu dolžine 35 km.

Razlaga nihanja prenosne funkcije analogne optične zveze se skriva v širokem sevalnem spektru Fabry-Perotove laserske diode, ki niha na več rodovih, in v kromatski disperziji uporabljenega enorodovnega optičnega vlakna. Ugotovljeno je bilo, da se slabljenje oz. minimumi in maksimumi zaradi kromatske disperzije pojavljajo kot večkratnik frekvence, ki pa je odvisna od dolžine priključenega optičnega vlakna. Tako se pri priključenem 1,4 km dolgem optičnem vlaknu minimum pojavi komaj pri frekvenci okoli 9 GHz, pri daljših priključenih optičnih vlaknih pa je prvi takšen minimum že pri nižjih frekvencah. [9]

Meritev frekvenčne karakteristike z optičnim vlaknom dolžine 20 km ima podobno značilnost kot tista s 35 km vlaknom. V večjem delu frekvenčnega spektra je moč sprejetega signala z rodovno vklenitvijo laserja večja za 5 do 10 dB. Tudi pri tej meritvi (slika 6) je območje - tokrat okoli frekvence 2,1 GHz - kjer med

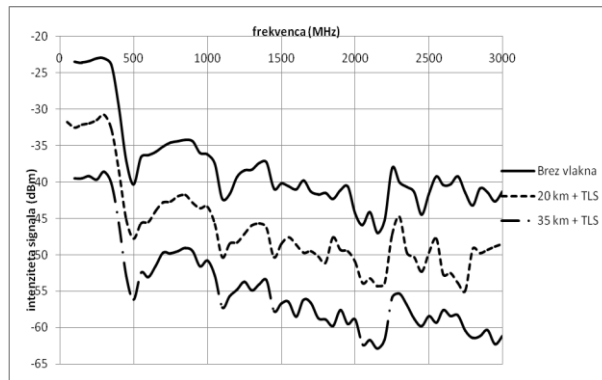
rodovno vklenjenim laserjem in laserjem brez vklenitve razlike v sprejeti intenziteti signala skorajda ni.



Slika 6: Intenziteta signala, meritev na vlaknu dolžine 20 km.

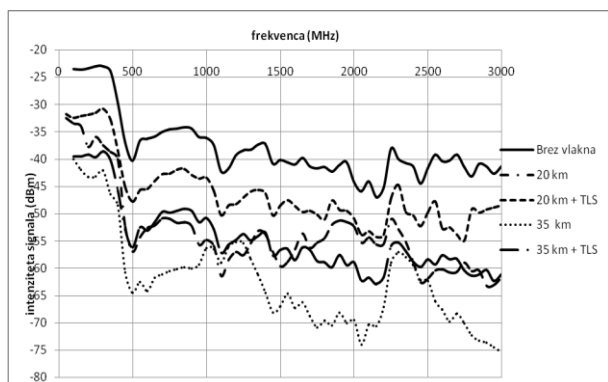
Na sliki 7 so zbrane: meritev brez vlakna in obe meritvi z vlaknom pri vzburjanju z zunanjim nastavljenim laserjem. Ti grafi so si skozi celotno frekvenčno področje zelo podobni, le da se med seboj razlikujejo po intenziteti zaradi slabljenja v vlaknu in na konektorjih. Pri tem je potrebno upoštevati, da ima optično vlakno pri valovni dolžini 1550 nm malo nad 0,2 dB izgub na dolžini enega kilometra.

Pri vzburjanju Fabry-Perotove laserske diode z nastavljenim laserjem se le-ta obnaša kot enorodovni laser. Iz grafa je razvidno, da v primeru z zunanjim vzburjanjem disperzija optičnega vlakna nima večjega vpliva na intenziteto signala.



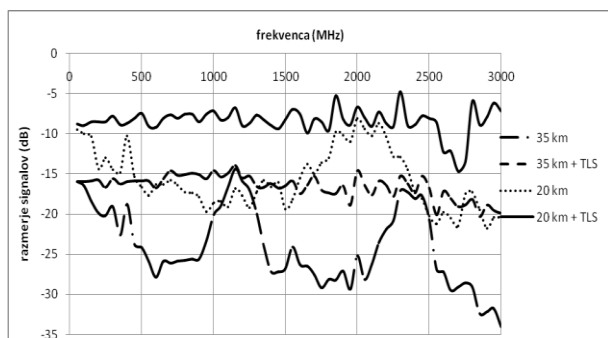
Slika 7: Intenzitete signalov pri vzburjanju FP-laserja s povezanim vlaknom in brez vlakna.

Na sliki 8 so zbrani grafi frekvenčnih karakteristik vseh petih opravljenih meritev. Intenziteta signala rodovno vklenjenega laserja s povezanim 35 km optičnim vlaknom je podobna tisti s priključenim 20 km vlaknom brez vzburjanja. Pri meritvi vzburjanja s povezanim 20 km dolgim vlaknom pa se razlika v intenziteti med meritvijo brez vlakna in meritvijo na 20 km dolgim vlaknu brez vzburjanja laserja skoraj prepolovi.



Slika 8: Intenzitete signalov vseh meritev.

Za boljšo predstavo so grafi, na sliki 9, še normirani, tako da je od vseh meritev odšteta referenčna meritev brez vlakna. Na ta način je pridobljena frekvenčna analiza analogne optične zveze.



Slika 9: Frekvenčna analiza karakteristike zveze.

4 Zaključek

V prispevku je predstavljena praktična rodovna vklemitve Fabry-Perotove laserske diode in možnost za njeno uporabo kot nizkocenovna alternativa nastavljenim laserjem v optičnih dostopovnih omrežjih.

Meritve v laboratoriju so potrdile hipotezo o izboljšanjem frekvenčnem odzivu z rodovno vklemitvenim laserjem. S tem je uporaba preprostega, cenejšega polprevodniškega Fabry-Perotovega laserja možna tudi na večjih razdaljah. Intenziteta sprejetega signala s priklopljenim 35 km dolgim optičnim vlaknom namreč dosega intenziteto signala pri meritvi z laserjem v prostem teku s povezanim 20 km dolgim optičnim vlaknom. Velik vpliv na meritve ima kromatska disperzija enorodovnega optičnega vlakna.

Pri praktični izvedbi poskusa s Fabry-Perotovo lasersko diodo se je izkazalo tudi nekaj slabosti. Nihajoč frekvenčni odziv laserja kaže na neidealno impedančno prilagoditev vezja na priklopljen modulatorjski izvor signala. Z zamenjavo direktne modulacije laserja z zunanji modulatorjem bi lahko to težavo odpravili in opravili meritve še pri višjih frekvencah. To pa bi najverjetneje otežilo in podražilo implementacijo končnega izdelka v uporabniški modem. Veliko spremembo v intenziteti sprejetega signala pri rodovni

vklemitvi predstavlja nastavitev polarizacije, ki jo je bilo pri poizkusu potrebno ročno prilagajati. Ročno prilagajanje pri dejanski implementaciji seveda ni mogoče. Prav tako se je izkazalo, da je težava tudi v premiku spektra Fabry-Perotove laserske diode, če laser ni temperaturno stabiliziran. Pri praktičnem preizkusu je bilo ugotovljeno, da temperaturno nestabiliziran laser že ob majhni spremembi delovne temperature ne bi ostal rodovno vklemitven.

Navkljub tem pomanjkljivostim se uporaba Fabry-Perotovega laserja v laboratorijskih meritvah kaže kot obetavna cenovno ugodnejša možnost za prenos podatkov na večjih razdaljah.

Literatura

- [1] Boštjan Batagelj. »Možnosti izvedb optičnega dostopovnega omrežja z arhitekturo točka-točka«. Elektrotehniški vestnik, letn. 77, št. 5, str. 259-266, 2010.
- [2] Boštjan Batagelj. »Pasivno optično dostopovno omrežje s časovnim razvrščanjem«. 1. izd. Ljubljana: Založba FE in FRI, 2011.
- [3] Vesna Eržen, Boštjan Batagelj. »Pasivna optična dostopovna omrežja z valovnodolžinskim multipleksiranjem odtočnega in pritočnega prometa uporabnika«. Elektrotehniški vestnik, letn. 83, št. 3, str. 87-92, 2016.
- [4] Vesna Eržen, Mitja Mikulič, Boštjan Batagelj. »Frequency-response measurements of an injection-locked Fabry-Pérot laser diode in a colorless WDM-PON«. FOAN 2015 proceedings, 5th International Workshop on Fiber Optics in Access Network, October 6, Brno, Czech Republic. IEEE, str. 26-30, 2015.
- [5] Vesna Eržen, Boštjan Batagelj. »Rodovno vklemitvena FP-LD za brezbarvni WDM-PON«. Zbornik štiriindvajsete mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2015, 21. - 23. september 2015, Portorož, Slovenija, Slovenska sekcija IEEE, zv. A, str. 61-64, 2015.
- [6] Rok Kropelj. »Povečana dolžina optične zveze z rodovno vklemitvijo polprevodniške Fabry-Pérotove laserske diode«. Diplomsko delo, Ljubljana 2016.
- [7] X. Jin, S. L. Chuang. »Injection-Locking in Fabry-Perot Quantum-Well lasers«, International Semiconductor Device Research Symposium, pp. 438-439, 2005.
- [8] ITUT Recommendation G.652, »Characteristics of a single-mode optical fibre and cable«.
- [9] José CAPMANY idr. »Transfer function of analog fiber-optic systems driven by Fabry-Perot lasers«. Optical Society of America, Vol. 22, No. 10, October 2005.