

Rodovno vklenjena FP-LD za brezbarvni WDM-PON

Vesna Eržen, Boštjan Batagelj

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: vesna.erzen@fe.uni-lj.si, bostjan.batagelj@fe.uni-lj.si

Injection-Locked FP-LD in a Colorless WDM-PON

Abstract. A wavelength-division multiplexed passive optical network (WDM-PON) is an attractive optical access technology. For the practical implementation of a WDM-PON, low-cost communications light-source units are very important. Among the various options being offered, the colorless optical units are a very promising technology. One of the possible ways to achieve a low-cost, colorless optical network unit is by using an injection-locked Fabry-Pérot laser diode (FP-LD) with a seeding light. In this paper we experimentally investigate the frequency response of a FP-LD, which can be used in a WDM-PON. In the case of wavelength seeding we noticed an improvement of the frequency response of the FP-LD in comparison with the laser-free run mode.

1 Uvod

Pasivno optično omrežje (angl. Passive Optical Network – PON), katerega dostopovno razdelilno omrežje drevesne arhitekture sega od centralne postaje do končnega uporabnika, je v dveh desetletjih postala dobro uveljavljena tehnologija v svetovnem merilu. Čeprav PON sistemi povečini še vedno temeljijo na komunikacijski tehniki časovnega multipleksiranja (angl. Time Division Multiplexing – TDM), jo vse bolj izpodriva tehnika valvnodolžinskega razvrščanja signalov (angl. Wavelength Division Multiplexing – WDM). Bistvena prednost PON sistemov v kombinaciji z WDM tehnologijo (WDM-PON) v primerjavi s TDM-PON se nanaša na zagotavljanje visokih prenosnih zmogljivosti, saj vsakemu uporabniku v omrežju pripada lasten valvnodolžinski kanal. Poleg tega WDM-PON sisteme odlikuje visoka stopnja zanesljivosti in varnosti ter relativno preprosto upravljanje omrežja. [1]

Za učinkovito in ekonomsko upravičeno praktično izvedbo WDM-PON sistema je zelo pomembna uporaba nizko cenovnih univerzalnih, brezbarvnih, to pomeni od valovne dolžine neodvisnih, svetlobnih virov v uporabniških modemih. Posledično je bilo v ta namen v zadnjem desetletju veliko pozornosti usmerjene v načine za izvedbo brezbarvnih uporabniških modulov. [2]

Za izvedbo brezbarvnih ONU je možnih nekaj različnih tehnoloških pristopov [3], ki jih lahko za lažje razumevanje razdelimo v dve skupini glede na lokacijo izvornega signala, ki omogoča delovanje brezbarvnega uporabniškega modema. V prvo skupino uvrščamo vse tiste tehnološke rešitve, ki za delovanje ne potrebujejo

zunanega svetlobnega vira iz centralne postaje. Gre za nastavljive laserje in za rešitve, ki temeljijo na metodi razreza spektra. Druga skupina pa zajema tiste rešitve, ki za svoje delovanje potrebujejo zunanji vzbujalni vir. Najbolj obetavni tehnološki rešitvi med njimi temeljita na rodovno vklenjeni (angl. Injection-locked – IL) Fabry-Pérot laserski diodi (angl. Fabry-Pérot Laser Diode – FP-LD) in odbojnem polprevodniškem optičnem ojačevalniku (angl. Reflective Semiconductor Optical Amplifier – RSOA) [4].

Prispevek se osredotoča na uporabo rodovne vklenitve FP-LD z zunanjim svetlobnim vzbujanjem za izvedbo brezbarvnih optičnih omrežnih enot (angl. Optical Network Unit – ONU) oziroma uporabniških modemov. Potencialno nizkim stroškom izvedbe takšnega WDM-PON sistema botruje tudi dejstvo, da je svetlobni vir v centrali namenjen za dotok podatkov (angl. downstream), medtem ko je FP-LD v večini primerov nameščen na strani končnih uporabnikov in služi za oddajo odtočnih podatkov (angl. upstream) v smeri priti centrali. Za kreiranje dotoka podatkov je možna tudi uporaba FP-LD v centrali oziroma uporaba FP-LD v obeh smereh prenosa. [5]

Zunanji vzbujalni vir, ki služi rodovni vklenitvi FP-LD, je praviloma nameščen v centralni postaji, od koder se vrši avtomatična izbira valovne dolžine, s katero FP-LD oddaja odtočni signal v smeri od uporabnika proti centrali. Tehnologija zunanega vzbujanja se je v optičnih komunikacijah uveljavila v zadnjem desetletju [6].

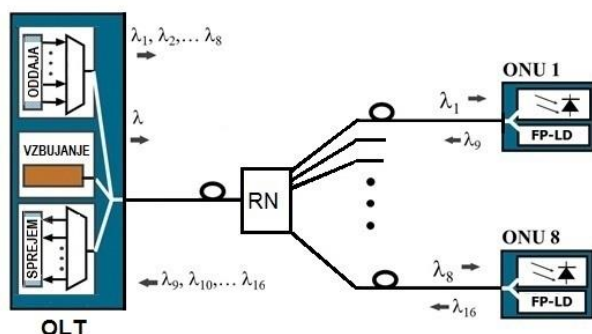
V nadaljevanju prispevka je predstavljena tipična izvedba WDM-PON sistema z uporabo zunanega vzbujanja za rodovno vklenitev FP-LD. V zadnjem delu članka je opis izvedbe laboratorijskega testiranja za ugotavljanje značilnosti rodovno vklenjene FP-LD, ter nastavitve laboratorijskih meritev za izvedbo frekvenčne analize.

2 Rodovno vklenjena FP-LD

Tipičen WDM-PON sistem z rodovno vklenjeno FP-LD je prikazan na sliki 1. V centralni postaji sta v optičnem linijskem terminalu (angl. Optical Network Unit – ONU) nameščeni oddajni enoti; ena je namenjena oddaji dotočnih signalov, druga pa služi kot centralni svetlobni vir za vzbujanje in vklenitev FP-LD, ki kreira odtočni promet. Poleg njiju se v enoti OLT nahaja tudi matrika sprejemnikov za sprejem odtočnega prometa.

V splošnem sta za vzbujanje FP-LD možna dva načina: z matriko nastavljivih laserjev (angl. Tunable Laser Source – TLS) v enoti OLT ali s pomočjo širokospektralnega svetlobnega vira (angl. Broadband Light Source – BLS).

Kadar za vzbujanje v centrali oziroma enoti OLT uporabimo BLS, je potrebno v oddaljenem vozlišču (angl. Remote node – RN) uporabiti metodo spektralnega razreza, ki je mogoča s pomočjo razvrstitvene valvodno strukture (angl. Arrayed waveguide grating – AWG), ki širok spekter BLS "razreže" na večje število spektralnih rezin. Spektralno rezanje omogoča usmeritev določene valovne dolžine k pripadajoči uporabniški enoti.



Slika 1. WDM-PON sistem z rodovno vkljenjeno FP-LD.

FP-LD je v osnovi širokospektralni laserski vir, ki niha na več rodovih oziroma valovnih dolžinah (z določenim frekvenčnim razmikom) in kot tak ne omogoča brezbarvnosti za uporabo v WDM-PON omrežjih. Centralni svetlobni vir, ki ga usmerimo v FP-LD, zagotavlja direktno vklenitev FP-LD na eno, točno določeno valovno dolžino, kar posledično spremeni lastnosti oddajanja FP-LD in omogoča brezbarvnost (oziroma neodvisnost od valovne dolžine) uporabniških modulov. Lastnost nihanja na več rodovih z enakomernim frekvenčnim razmikom omogoča, da lahko FP-LD obravnavamo kot navidezni brezbarvni laserski izvor [7]. Kot tako lahko vkljenjeno FP-LD na osnovi direktne modulacije uporabimo za oddajo odtočnih signalov na točno določenih valovnih dolžinah v vseh uporabniških moduli, s čimer lahko nadomestimo uporabo bistveno dražjih nastavljenih laserjev.

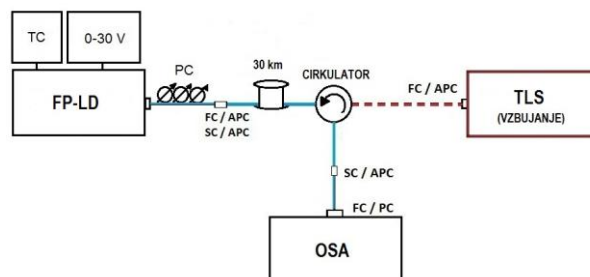
3 Laboratorijska izvedba rodovne vklentive

Meritve, ki smo jih izvedli v laboratoriju za optiko, lahko razdelimo v dva sklopa. V prvem sklopu smo preverjali pogoje, ki so potrebni za rodovno vklenitev FP-LD.

Na sliki 2 je prikazana laboratorijska izvedba rodovne vklentive FP-LD. [8] Kot zunanji vzbujalni vir je bil uporabljen nastavljeni laser (angl. Tunable Laser Source – TLS), s katerim je bila zagotovljena vzbujalna svetloba za rodovno vklenitev FP-LD. Z optičnim spektralnim analizatorjem (OSA) z resolucijo 0,05 nm smo opazovali nivo izhodne moči ter spekter FP-LD. Pri laboratorijskem preizkusu je bilo potrebno paziti na

pravilno namestitev optičnega cirkulatorja, prek katerega je bila vzpostavljena optična povezava do FP-LD.

Izvedba laboratorijskega poskusa je temeljila na dveh scenarijih: z dodanim in brez dodanega 30 km koluta optičnega vlakna, ki temelji na standardu G.655. Optična kromatska disperzija tovrstnega vlakna je znašala 3,1 ps/(nm*km) pri valovni dolžini 1550 nm.



Slika 2. Postavitev elementov za izvedbo rodovne vklentive FP-LD.

Ker je FP-LD odvisna od polarizacije vzbujalne svetlobe, je bilo potrebno za namen vzdrževanja maksimalne izhodne moči v laboratorijsko testiranje vključiti kontrolo polarizacije. V krožno simetričnem optičnem valvodu se polarizacija svetlobe spreminja v odvisnosti od temperature, dolžine in ukrivljenost optičnega vlakna, kar je težko nadzirati. Zagotavljanje polarizacijske neodvisnosti v praktični izvedbi WDM-PON z rodovno vkljenjeno FP-LD torej predstavlja svojevrsten tehnični izziv. V strokovni literaturi [2], [9] je možno zaslediti nekaj načinov za zagotavljanje polarizacijske neodvisnosti v tovrstnih sistemih, vendar se jih v našem poskusu zaenkrat nismo posluževali.

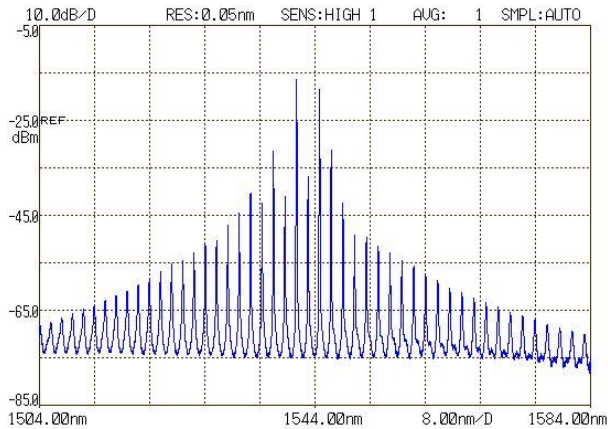
Poleg polarizacijske neodvisnosti je bilo potrebno za pravilno izvedbo laboratorijske meritve zagotoviti tudi temperaturno stabilizacijo FP-LD modula. Oblika in moč izhodnega optičnega spektra iz FP-LD je namreč odvisna od temperature samega laserja. Ker je rodovna vklentive precej odvisna od položaja spektra, je temperaturna stabilizacija nedvomno nujna. V nasprotnem primeru bi namreč nastavljenemu laserju morali prilagajati valovno dolžino vzbujalne svetlobe.

Na slikah 3 in 4 sta prikazana izmerjena optična spektra v primeru vzbujanja in brez vzbujanja z zunanjim svetlobnim virom. Iz slike je razvidno, da FP-LD niha na večjem številu rodov v valvnodolžinskem pasu od 1504 do 1584 nm, z medsebojnim frekvenčnim razmikom 200 GHz, kar ustreza valvnodolžinskemu razmiku 1,6 nm.

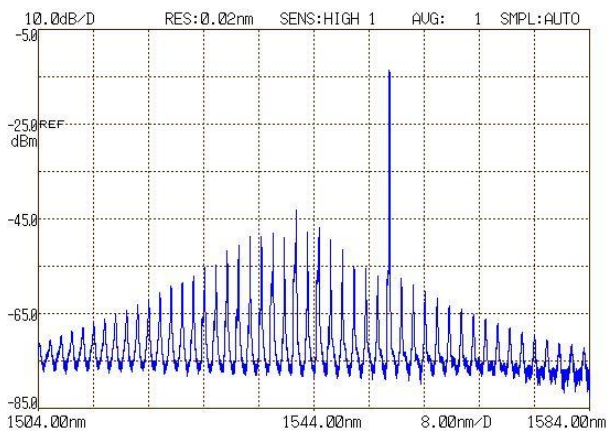
V primeru vzbujanja z zunanjim svetlobnim virom na valovni dolžini 1554,658 nm je bila dosežena rodovna vklentive na tej valovni dolžini. To je bilo razvidno z ojačeno intenziteto moči tega rodu, medtem ko so bili ostali rodovi občutno zadušeni, kar je razvidno s slike 4.

Pri meritvi brez dodanega optičnega vlakna je znašala moč vzbujalne svetlobe -3 dBm. V primeru dodanega 30 km optičnega vlakna, ki bolj ustreza realni

optični zvezi, je bila zaradi slabljenja vlakna potrebna za 6 dB višja moč vzbujalne svetlobe. Sliki 3 in 4 se nanašata na izvedbo meritve z dodanim 30 km optičnim vlaknom.



Slika 3. Optični spekter FP-LD.



Slika 4. Spekter FP-LD po vzbujanju z zunanjim optičnim virom.

4 Meritve frekvenčnega odziva

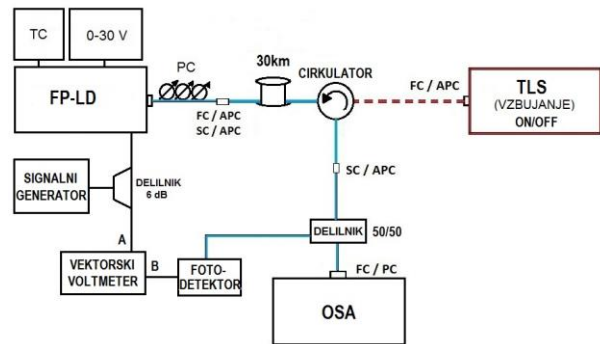
Drugi del laboratorijskih meritev se nanaša na izvedbo frekvenčne analize. Preveriti smo želeli frekvenčni odziv FP-LD v primeru različnih laboratorijskih scenarijev, in sicer:

- z dodanim kolutom 30 km optičnega vlakna in brez,
- v režimu vzbujanja z zunanjim svetlobnim virom (režim rodovne vklemitve) in brez (režim prostega teka).

Slika 5 prikazuje namestitve in povezavo optičnih (nastavljiv laser, FP-LD, polarizator, kolut 30 km optičnega vlakna, optični cirkulator, 50/50 optični delilnik, OSA, optični fotodetektor) in elektronskih (teperaturna kontrola in napajanje za FP-LD, signalni generator, 6 dB razdelilnik, vektorski voltmeter) komponent za izvedbo meritve frekvenčnega odziva FP-LD z uporabo direktne modulacije.

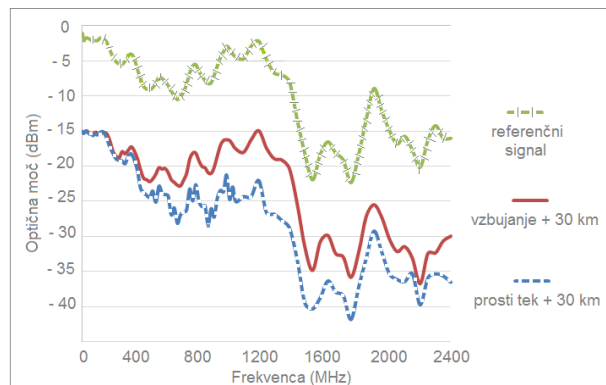
S pomočjo vektorskega voltmetra, ki ima dva kanala, smo opazovali in med seboj primerjali nivo moči direktno moduliranega signala na izhodu iz signalnega generatorja (kanal A) in sprejetega signala iz optičnega fotodetektorja (kanal B). Amplitudni odziv

predstavlja razliko obeh kanalov, torej razliko oddanega in sprejetega signala.



Slika 5. Namestitve in povezava elementov za izvedbo laboratorijskih meritev frekvenčnega odziva FP-LD.

Da bi lahko izvedli frekvenčno analizo predstavljenega sistema, je bilo potrebno najprej izmeriti frekvenčni odziv referenčnega signala, ki predstavlja meritev brez vzbujanja in dodanega vlakna. Meritev je bila izvedena s spreminjanjem frekvence modulatorskega signala od 3 do 2400 MHz. V nadaljevanju smo dodali kolut 30 km optičnega vlakna in ponovno preverili frekvenčni odziv. Za pridobitev frekvenčnega odziva rodovno vklemitvene FP-LD je bilo potrebno ponoviti laboratorijsko meritev z dodanim vzbujalnim svetlobnim virom. Slika 6 prikazuje frekvenčni potek omenjenih treh meritev.

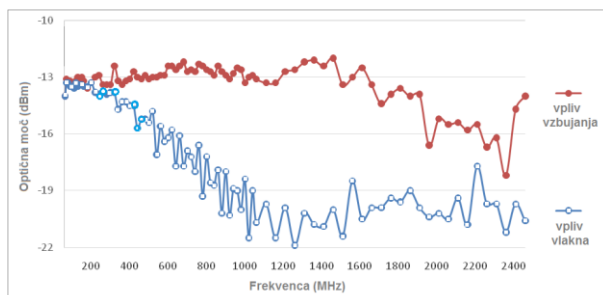


Slika 6. Frekvenčni odziv referenčnega signala, signala v režimu prostega teka in signala v režimu rodovne vklemitve FP-LD.

S slike 6 je razvidno, da imajo vsi trije grafi podoben frekvenčni potek, razlikujejo pa se v intenziteti moči. Pričakovano je moč nižja v primeru dodanega 30 km optičnega vlakna, pri čemer pa je očitna izboljšava v intenziteti moči v primeru rodovne vklemitve FP-LD razvidna pri frekvencah nad 400 MHz. Meritev frekvenčnega odziva motijo različni odboji na električnih in optičnih komponentah, ki so posledica neidealne prilagoditve laserja na frekvenčni izvor.

Frekvenčna analiza laboratorijske meritve rodovno vklemitvene FP-LD je prikazana na sliki 7. Spodnja krivulja na grafu predstavlja vpliv vlakna, zgornja pa vpliv vzbujanja z nastavljivim laserjem. Vpliv sistema smo izločili s primerjavo frekvenčnega odziva referenčnega signala in signala v prostem teku z

podanim 30 km optičnim vlaknom. Da bi izločili vpliv vzbujanja z zunanjim svetlobnim virom na merilni sistem, je bilo potrebno na enak način primerjati frekvenčni odziv referenčnega signala s frekvenčnim odzivom signala v režimu rodovne vklemitve z dodanim 30 km optičnim vlaknom.



Slika 7. Frekvenčna analiza laboratorijskega preizkusa.

Iz spodnje krivulje na sliki 7 je razvidno, da vlakno pričakovano zmanjšuje pasovno širino optične zveze. Sklepamo, da je vzrok za to v največji meri kromatska disperzija, ki kvarno vpliva na signal v optičnem vlaknu. Vendar pa rodovna vklemitve FP-LD, katere frekvenčna analiza je prikazana z zgornjo krivuljo na sliki 7, pripomore, k izboljšanju pasovne širine. To je razvidno iz tega, da krivulja počasneje upada, kar je posledica ožjega spektralnega izvora, ki je deležen manjšega vpliva kromatske disperzije.

5 Zaključek

Pasivna optična omrežja z valvnodolžinskim multipleksiranjem predstavljajo perspektivno tehnologijo za optična dostopna omrežja. Za praktično izvedbo so izredno pomembni nizko cenovni komunikacijski svetlobni viri. Da bi bili uporabniški modemi univerzalni, morajo biti brezbarvni oziroma neodvisni od valovne dolžine. Znanih je nekaj različnih tehnoloških rešitev za izvedbo brezbarvnih, nizko cenovnih uporabniških modulov, pri čemer najbolj izstopa uporaba rodovno vklemitve FP-LD z zunanjim vzbujalnim virom.

V prispevku so predstavljeni rezultati laboratorijskih meritev spektra in frekvenčnega odziva FP-LD, ki kažejo na znatno izboljšanje v primeru vzbujanja z zunanjim svetlobnim virom.

Razvoj WDM-PON sistemov v prvi vrsti sledi smernicam učinkovitosti in ekonomske upravičenosti. Med tehnologijami za izvedbo brezbarvnih WDM-PON sistemov predstavlja rodovno vklemitve FP-LD obetavno tehnološko rešitev, ki zadosti smernicam razvoja. Kljub perspektivnosti pa obstaja še nekaj tehnoloških izzivov oziroma odprtih vprašanj, na katera bo morala odgovoriti stroka. Le-ta se nanašajo na: izvedbo cenovno-ugodnega polarizacijsko neodvisnega uporabniškega modula s FP-LD, kompatibilnost tovrstnih modulov z ostalo opremo in fleksibilnost v

smislu koeksistence z vidika prihodnjih WDM-PON sistemov. [10]

Literatura

- [1] C.H. Yeh, C.W. Chow, H.Y. Chen, J.Y. Sung and Y.L. Liu. "Demonstration of using injection-locked Fabry-Perot laser diode for 10 Gbit/s 16-QAM OFDM WDM-PON"
- [2] Zhaowen Xu, Yang Jing Wen, Wen-De Zhong, Chang-Joon Chae, Xiao-Fei Cheng, Yixin Wang, Chao Lu, Jaya Shankar. "High-speed WDM-PON using CW injection locked Fabry-Pérot laser diodes", OPTICS EXPRESS, Vol. 15, No. 6, 19 March 2007
- [3] Jun-ichi Kani, »Enabling Technologies for Future Scalable and Flexible WDM-PON and WDM/TDM-PON Systems«, IEEE Journal of selected topics in quantum electronics, vol. 16, no. 5, September/October 2010.
- [4] Jun-ichi Kani, "Enabling Technologies for Future Scalable and Flexible WDM-PON and WDM/TDM-PON Systems", IEEE JOURNAL, Vol. 16, No. 5, September/October 2010.
- [5] Quoc Thai Nguyen, Pascal Besnard, Laurent Bramerie, Alexandre Shen, Christophe Kazmierski, Philippe Chanlou, Guang-Hua Duan, Jean-Claude Simon. "Bidirectional 2.5-Gb/s WDM-PON Using FP-LDs Wavelength-Locked by a Multiple-Wavelength Seeding Source Based on a Mode-Locked Laser", IEEE Photonic Technology Letters, Vol. 22, No. 11, June 2010.
- [6] Hee Yeal Rhy, Gwang Yong Yi, "Current status of WDM-PON system development and standardization", OECC 2012, Technical Digest, July 2012, Busan, Korea.
- [7] Zhaowen Xu, Yong-Kee Yeo, Xiaofei Cheng, and Ernest Kurniawan. "20-Gb/s Injection Locked FP-LD in a Wavelength-Division-Multiplexing OFDM-PON", OFC/NFOEC Technical Digest, January 2012.
- [8] Mikulič M., Eržen, V., "Using injection-locked Fabry-Prot laser diode for WDM-PON", Seminar on optical communications, Ljubljana, February 2015.
- [9] Alexandre Shen, Dalila Make, Francis Pointg, Lionel Legouezigou, Frédéric Pommereau, Odile Legouezigou, Jean Landreau, Benjamin Rousseau, François Lelarge, Guang-Hua Duan. "Polarisation insensitive injection locked Fabry-Perot laser diodes for 2.5Gb/s WDM access applications", ECOC 2008, 21-25 September 2008.
- [10] Vesna Eržen, Boštjan Batagelj, "NG-PON1: technology presentation, implementation in practice and coexistence with the GPON system", Electrotechnical Review, vol. 79, no. 3, 117-122, 2012.