

Stabilizacija optične moči pri laserski diodi

Blaž Lavrič, Luka Bogataj, Boštjan Batagelj

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: blaz.lavric91@gmail.com, bostjan.batagelj@fe.uni-lj.si

Stabilization of laser diode optical power

Abstract. Today, semiconductor lasers are one of the key elements of optical communications systems. For an optimum and precise laser operation a technology that reliably stabilizes the power of the laser is required. This paper presents a method by which the power of the LMC10NEG laser is stabilized. The presented stabilization system works with the help of a detector circuit, which is connected to the output pins on the laser. The measured values are used for controlling the laser diode, the light of which is sent forward through the optical fiber.

Keywords – semiconductor laser, optical power, LMC10NEG, control

1 Uvod

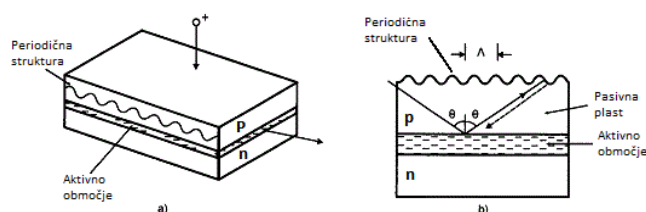
Dandanes so laserji eden izmed ključnih elementov za učinkovito delovanje optičnega komunikacijskega sistema in vse kaže, da bodo to vlogo imeli tudi v bodočih omrežjih [1]. Brez koherentnih in ozkopasovnih svetlobnih virov ne bi bilo mogoče pošiljati svetlobnih signalov od operaterske centrale do končnega uporabnika, ki sta razmaknjena za več deset ali celo nekaj sto kilometrov.

Za izvor laserske svetlobe se v sodobnih komunikacijskih zvezah danes največkrat uporabijo polprevodniške laserske diode s porazdeljenim povratnim sklopom (angl. Distributed Feed-Back – DFB) [2]. Polprevodniški laser spada med oscilatorje, pri čemer niha na frekvencah s področja optičnih valov v elektromagnetnem spektru. Bistvena elementa laserja sta optično aktivna ojačevalna snov, ki jo predstavlja polprevodniška struktura, ter optični resonator, ki prostorsko omeji tako nastalo elektromagnetno polje, ter zagotovi pozitivni povratni sklop, potreben za vzdrževanje nihanja. Optično aktivno snov, ki je zmožna optičnega ojačanja predstavlja polprevodniška p-n struktura iz slike 1 [3].

Različni tipi laserjev se med seboj razlikujejo po načinu izvedbe povratnega sklopa [4]. DFB laser je polprevodniški laser, ki nima pozitivnega povratnega sklopa izvedenega s frekvenčno neodvisnim zrcalnim odbojem, ampak je pozitivni povratni sklop porazdeljen vzdolž resonatorja. Laser niha le na tistem longitudinalnem rodu, za katerega so izgube resonatorja najmanjše. Izgube so najmanjše za tisti longitudinalni rod, katerega valovna dolžina je enaka dvakratni periodi periodične strukture Λ , kajti takrat se odboji seštejejo.

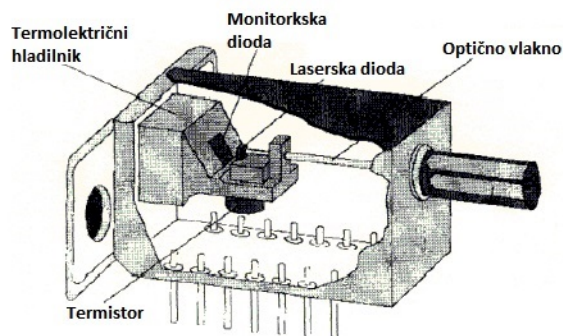
Delovna valovna dolžina je določena z ustrezno izbiro periodične strukture. [3]

Na sliki 1(a) je prikazana sama polprevodniška struktura p-n laserja, z aktivnim območjem in resonatorjem. Slika 1 (b) pa prikazuje periodično strukturo.



Slika 1. Struktura DFB laserja z aktivnim območjem in periodično strukturo.

Sami DFB laserji se danes dobijo v hermetično zaprtem prostoru ali laserskem modulu, katerega primer prikazuje slika 2. V laserskem modulu so še drugi sestavni elementi. Modul sestavljajo še termo električni hladilnik (angl. thermoelectric cooler – TEC), monitorska fotodioda in termistor z negativnim temperaturnim koeficientom (angl. negative temperature coefficient – NTC).



Slika 2. Hermetično zaprt laserski modul s sestavnimi elementi [3].

Optimalno in čim bolj precizno delovanje laserja zahteva tehnologijo, ki precizno in zanesljivo stabilizira valovno dolžino laserja. Ključni del predstavlja zaklep valovne dolžine in moči polprevodniškega laserja.

Sama potreba po zaklepanju valovne dolžine in moči je stara že nekaj desetletij, kjer so jo začeli uvajati v prvih optičnih sistemih z valovnodolžinskim multipleksiranjem (angl. wavelength – division multiplexing – WDM) optičnih sistemih [5]. Konstanten razvoj tehnologije dosega nove meje optičnega sistema in zahteva nove pristope za doseg cilja. V zgodnjih sistemih so uporabljali optične filtre za sprejem kratkih

valovnih dolžin na enem mnogo-rodovnem vlaknu. Prvotni sistemi so delovali tako, da so valovno dolžino »zajeli« na neznani valovni dolžini, ter jo tako zadrževali. Uporabljali so kombinacijo opto-elektronike za kontroliranje temperature laserja in tako ustvarili povratno zanko, s katero so nadzorovali valovno dolžino. [6]

Tipičen modul za zaklep valovne dolžine ali moči deluje v načinu sprejemanja signala, katerega primerja z referenčno vrednostjo. Modul pa potem na podlagi primerjave ustvari krmilni signal, ki pove, ali je v sistemu prišlo do spremembe ali ne. V kolikor zazna spremembo v sistemu, jo modul uravnava s temperaturo laserja ali pa s tokovnim virom laserja. [6]

Dobršen del projekta »Večjedrno optično vlakno« v okviru programa »Po kreativni poti do praktičnega znanja« [7] je bila zasnova sistema, ki bi omogočal pravilno delovanje laserskega modula in vkleitev optične moči laserske diode. Cilj je bil zasnovati in zgraditi sistem, ki bi omogočal stabilizacijo moči pri polprevodniškem laserju za namene testiranja večjednega optičnega vlakna [8].

2 Zasnova sistema

Celoten projekt je bil zasnovan z optičnim laserjem LMC10NEG, ki je namenjen za sisteme z gostim valvnodolžinskim razvrščanjem (angl. Dense Wavelength Division Multiplexing – DWDM) [9]. Sam laser je v osnovi zasnovan kot DFB laser.

Naveden laserski modul lahko uporabljamo na dva načina. Prvi način nam omogoča, da s pomočjo Mach-Zenderjevega modulatorja (MZM) kontroliramo zanko in tako optimiziramo optično delovanje laserja skozi daljše časovno obdobje. V drugem načinu pa uporabimo konstanten tokovni krmilnik, ki upravlja z laserjem. V tem članku je predstavljen drugi način delovanja, kjer smo skušali zasnovati krmilno zanko, s katero bi kontrolirali tok skozi laser in posledično svetlobno moč laserja.

Sama krmilna zanka za popolno delovanje ne bi bila dovolj, saj ima na delovanje laserskega modula velik vpliv temperatura laserja [10]. Tako smo morali tudi zasnovati sistem, ki je skrbel za samo regulacijo temperature laserja [11].

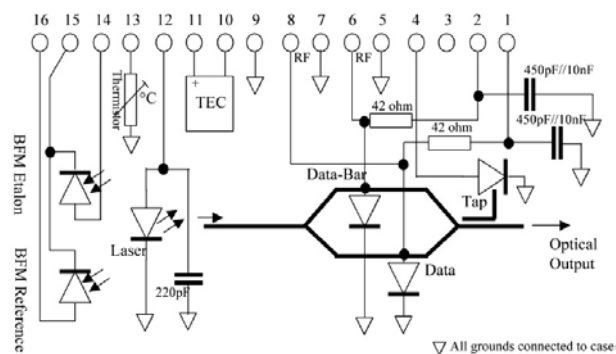
2.1 Načrtovanje krmilne zanke

Da smo lahko začeli s samim načrtovanjem, smo morali predhodno ugotoviti, kako zaznati spremembo svetlobne moči ter jo primerjati z referenčno napetostjo in kako tokovno krmiliti laser ter ohranjati konstantno moč v zanki.

Zaznavanje spremembe svetlobne moči na laserski diodi omogoča monitorska fotodioda (BFM Reference, PIN16) v laserskem modulu, kot je razvidno na sliki 3. Izmerjena napetost je potem vodena skozi senzorsko vezje do proporcionalno-integrirno-diferencirnega (angl. proportional-integral-derivative – PID) krmilnika, ki v

zanki ohranja konstantno napetost. To napetost vodimo naprej na tokovni vir, ki krmili DFB lasersko diodo.

Samo vezje je zasnovano tako, da napetost, ki jo dobi preko PID krmilnika pretvori v tok ter ga ohranja na konstantni vrednosti. Ta tok se pelje naprej za napajanje polprevodniškega laserja.



Slika 3. Električna shema laserskega modula [9].

2.2 Delovanje krmilne zanke

Krmilna zanka v sistemu določa svetlobno moč laserske diode glede na referenčno napetost, ki jo določa uporabnik. S tem uporabnik tudi spreminja svetlobno moč laserske diode.

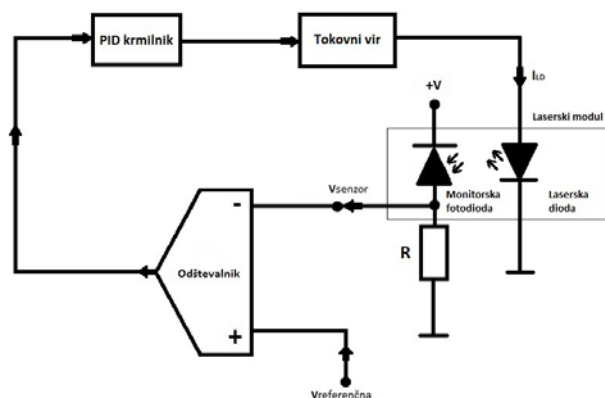
Cilj krmilne zanke je, da ohranja konstantno svetlobno moč laserske diode, ampak le če ima referenčna napetost konstantno vrednost. Krmilna zanka vpliva na svetlobno moč laserske diode s krmiljenjem toka skozi lasersko diodo. Svetlobna moč laserske diode se lahko pod vplivom zunanjih faktorjev (npr. temperature) spremeni.

Sama zanka deluje v dveh načinih:

1. način: če sta referenčna napetost ali svetlobna moč konstantni, se tok skozi lasersko diodo ne spremeni.
2. način: če se referenčna napetost (zaradi spremembe uporabnika) ali svetlobna moč (zaradi spremembe temperature) spremenita, se tok skozi lasersko diodo spremeni.

Na sliki 4 je predstavljen blokovni načrt sistema, ki prikazuje ključne elemente v zanki. To so PID krmilnik, tokovni vir laserske diode in laserski modul, ki vsebuje lasersko diodo ter monitorsko fotodiodo v skupnem ohišju.

Za zaznavanje svetlobne moči laserske diode služi monitorska fotodioda, ki vrednost svetlobne moči laserske diode poda v toku. Tok, ki gre skozi monitorsko fotodiodo je premo sorazmeren moči laserske diode. Ta tok se pretvori v napetost s pomočjo upora R in sama senzorska napetost (V_{senzor}) se pošlje naprej v odštevalnik. V odštevalniku se primerja skupaj z referenčno napetostjo, razlika pa se pošlje PID krmilniku, ki na podlagi zgoraj podanih pogojev regulira napajalni tok laserske diode (I_{LD}).



Slika 4. Blokovni načrt krmilne zanke s ključnimi elementi, ki so potrebni za delovanje zanke.

V primeru spremembe svetlobne moči laserske diode (na primer zaradi spremembe temperature na laserski diodi) to zazna monitorska fotodioda, ki detektira spremenjeno svetlobno moč. Monitorska fotodioda spremeni prebrano svetlobno moč v tok, ki ga s pomočjo upora R pretvorimo v napetost (V_{senszor}). Napetost se primerja v odštevalniku skupaj z referenčno napetostjo ($V_{\text{referenčna}}$). Po primerjavi v odštevalniku se vrednost pošlje naprej do PID krmilnika. Če PID krmilnik ugotovi da je izhod na odštevalniku enak nič, se vse veličine znotraj zanke ohranijo. V kolikor je izhod na odštevalniku različen od nič, PID krmilnik to zazna kot spremembo svetlobne moči laserske diode in preko tokovnega vira popravi tok I_{LD} na tako vrednost, da bo napetost na izhodu odštevalnika ponovno nič.

3 Testiranje krmilne zanke

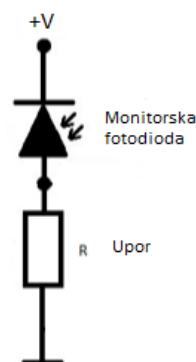
Testiranje krmilne zanke je potekalo v več fazah, saj smo morali testirati vsak del zanke posebej. Sprva smo začeli z izdelavo najpreprostejšega dela, to je tokovni vir. Po zasnovi vezja v programu je sledila izdelava vezja ter spajkanje elementov.

Sledil je kratek test povezav ter test napajanja s pomočjo zunanjega generatorja. Ker je glavna naloga vezja pretvorba napetosti v tok, je bilo ključno, da smo pravilno izračunali vrednosti dveh uporov na izhodu vezja, saj se s pomočjo teh uporov napetost pretvori v tok, katerega peljemo na lasersko diodo.

Druga faza testiranja je bil test PID krmilnika po podobnem principu kot za tokovni vir. Samo vezje je zasnovano tako, da ga lahko uporabimo tako za tokovno krmiljenje zanke kot za regulacijo temperature. Za to zasnovano smo se odločili predvsem iz praktičnega vidika. Po osnovnem testu povezav in napajanja je sledil test vhodov in izhodov naprave, na katerega priključimo senzorsko vezje in vezje za tokovni vir. Ker je PID krmilnik vmesno vezje, smo morali na vhode s pomočjo napetostnih generatorjev pripeljati tako vrednost, ki bi jo PID krmilnik dobil iz senzorskih vezij. Po izmerjenih vrednostih na izhodih smo tako dobili vrednosti, na podlagi katerih smo lahko izračunali ključne elemente PID-a po metodah, predpisanih za nastavljanje vezja.

V tretji fazi smo se lotili najtežjega dela, to je senzorski del vezja, ki ga v blok shemi (slika 4) predstavlja odštevalnik. Vezje je zasnovano tako, da lahko zaznava spremembe svetlobne moči laserja, valovno dolžino laserja in moč svetlobe, ki izhaja iz Mach-Zenderjevega modulatorja (MZM). Za naše potrebe smo izbrali zaznavanje spremembe moči laserske diode.

Samo vezje smo testirali po podobnem principu kot ostali dve, le da smo morali izračunati druge ključne elemente. Pomemben sklop vezja predstavlja del, na katerega pripeljemo vrednost monitorske fotodiode. Ključni element je upor »R«, ki pretvarja prebrano moč monitorske fotodiode v napetost, katero pošlje naprej v primerjalnik.



Slika 5. Monitorska fotodioda in upor, s katerim pretvorimo tok v napetost.

Vrednost upora »R« smo dobili s pomočjo izračuna ter izmerjenih podatkov in podatkov v skripti laserja [9]. Za izračun upora smo uporabili vrednosti vezja in sicer tok skozi laser I_{LD} , ter napetost na monitorski fotodiodi U_{LD} , ko je na njej maksimalni tok. Izračun je temeljil na Ohmovem zakonu.

Enačba za izračun upora:

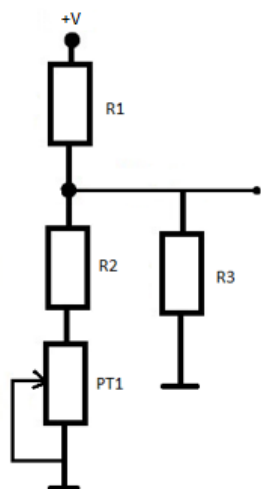
$$R = \frac{U_{LD}}{I_{LD}}$$

Drugi, pomembnejši del senzorskega vezja je referenčni del, prikazan na sliki 6. Le-ta določa referenčno napetost, ki se uporabi kot primerjalna napetost. Izbrati smo morali take upore, da bo napetost na senzorskem delu od 0 do 2 V. Izračunati smo morali elemente R_2 ter R_3 , s pomočjo katerih določimo potrebno napetost. Samo vrednost uporov uporabnik lahko spreminja glede na potrebe s pomočjo potenciometra PT1. Za lažji izračun smo sami določili vrednot upora R_1 , za katerega smo izbrali neko normalno velikost. Izračun je temeljil po zakonih vzporedne in zaporedne vezave uporov ter Ohmovem zakonu.

Izračun vrednosti uporov:

$$V_{R_{sf}} = R_1 * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{V_{R_{sf}}}{R_1} * (R_1 + R_2)$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{PT1} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow R_3 = \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{PT1} \right)^{-1}$$



Slika 6. Elementi referenčnega dela senzorskega vezja z ključnimi upori, za določanje referenčne napetosti.

Zadnja faza testiranja je bil test celotne krmilne zanke ter končno usklajevanje vezij, da je sama zanka delovala pravilno. Potrebno je bilo določiti še preostale elemente PID krmilnika ter senzorskega vezja, da je bila zanka časovno usklajena.

4 Zaključek

Sodobni komunikacijski sistemi za svoje delovanje potrebujejo DFB laserje s stabilno izhodno močjo ne glede na okoljske spremembe. V ta namen je laserjem potrebno dograditi krmilno zanko, ki omogoča stabilizacijo optične moči.

Članek opisuje zasnovano, delovanje ter testiranje vseh električnih vezij za stabilizacijo moči polprevodniškega DFB laserja. Sistem sestavlja senzorsko vezje, PID krmilnik, tokovno krmiljenje laserske diode, in vezja za uravnavanje temperature. Celoten sistem je bil preizkušen s pomočjo naprav v prostorih Laboratorija za sevanje in optiko na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani.

5 Zahvala

Delo je delno financirala Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada. Projekt "Večjedrna optična vlakna" se izvaja v okviru programa "Po kreativni poti do praktičnega znanja". Operativni program razvoja človekovih virov za obdobje 2007-2012, 1. razvojna prioriteta: "Spodbujanje podjetništva in prilagodljivosti" ter prednostne usmeritve 1.3 "Štipendijske sheme", v okviru potrjene operacije "Po kreativni poti do praktičnega znanja".

Literatura

- [1] Boštjan Batagelj, Vijay Janyani, Sašo Tomažič, »Research challenges in optical communications towards 2020 and beyond = Raziskovalni izzivi optičnih komunikacij do in preko leta 2020« Informacije MIDEM, 2014, letn. 44, št. 3, str. 177-184.
- [2] Jožko Budin, »Optične komunikacije«, 1. izd. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, 1993.
- [3] Matjaž Pučko, Diplomsko delo: Optični reflektometer v frekvenčnem prostoru s temperaturnim spreminjanjem valovne dolžine DFB laserja, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2005.
- [4] Patrik Ritoša, »Nastavljivi laserji«, Zbornik Optične komunikacije, Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, str. 117-122, 2008.
- [5] Boštjan Batagelj, »WDM – tehnologije«, Zbornik Optične komunikacije, Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 1999.
- [6] Ed Miskovic, »Wavelength Lockers Keep Lasers in Line«, Photonic Spectra, 1999.
- [7] Preko kreativne poti do znanja, <http://www.sklad-kadri.si/si/razvoj-kadrov/po-kreativni-poti-do-prakticnega-znanja/>, 8.7.2015
- [8] J. Sušin, et al., »Prostorsko multipleksiranje v vlakenskih optičnih komunikacijah«, Elektrotehniški vestnik, Volume 82 (2015).
- [9] DWDM LMC10NEG Laser, http://www.lightwavestore.com/product_datasheet/OSC-MOD-10Gb-500C_pdf5.pdf 9.7.2015
- [10] Luiz Fernando Henning, Paulo Miguel Nepomuceno Pereira Monterio, Alexandre de Alemida Prado Pohl, »Temperature and bias current behavior of uncooled light sources for application in Passive Optical Networks«, ICTON, 5-9 julij 2015, Budimpešta, Madžarska, 2015.
- [11] Aljaž Hrastar, Luka Bogataj, Boštjan Batagelj, »Stabilizacija temperature DFB laserskega modula«, ERK 2015.