

Stabilizacija temperature DFB laserskega modula

Aljaž Hrastar, Luka Bogataj, Boštjan Batagelj

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

Temperature stabilization of a DFB laser module

Abstract. *This paper describes the need, realization and behavior of temperature stabilization in a distributed feedback (DFB) laser diode module, which is necessary for achieving optimum performance when a certain optical power is coupled into the optical fiber. First, we present some DFB laser basics and the reason why we choose certain lasers for our multi-core fiber testing. Some of the DFB laser's characteristics, for example, the bandwidth, structure and wavelength of the operation, will be presented. Next, we discuss important questions about why exactly the temperature stabilization is needed and how the change in the temperature affects the output power and the wavelength. While the temperature-stabilization hardware was carried out in our laboratory, we describe some typical procedures that we have resorted. When we want to stabilize the temperature, the important circuit is the PID controller, some basics are written. Finally, we discuss the results of testing the temperature stabilization, what we have achieved and compare our stabilization time with the work that was conducted in the past.*

1 Uvod

Eden od glavnih sestavnih delov optične komunikacijske zveze preko optičnega vlakna, tudi večjedrnega, je polprevodniški laser, ki se nahaja v oddajniku in pošilja svetlobo v optično vlakno. Ker je laserjev več vrst, se tako v članku najprej seznanimo z laserjem s porazdeljeno povratno vezavo (angl. distributed feedback – DFB), katerega lastnosti zadovoljujejo naše želje in potrebe. Za pravilno delovanje laser potrebuje elektroniko, ki onemogoči spreminjanje njegovih lastnosti ob spremembi napajalnega toka ali temperature, kar je prikazano v poglavju 3. Tovrstna elektronska vezja omogočajo stabilizacijo temperature laserskega modula na predhodno nastavljen vrednost. V nadaljevanju je opisana izdelava vezja od samega izrisa električne sheme do končnega fizičnega vezja. Opisano je tudi proporcionalno-integrirano-diferencialno (PID) krmilno vezje za povratno vezavo, ki omogoča stabilen sistem. V 6. poglavju so predstavljeni rezultati testiranja vezja za stabilizacijo temperature in odziv pri različnih vhodnih referencah.

Namen članka je predstavitev zgradbe elektronskega vezja za stabilizacijo temperature, njegove zasnovne, opis postopka izdelave in testiranja na DFB laserskem

izvoru. Izdelan sistem zagotavlja stabilno temperaturo znotraj laserskega modula in se ustrezno odziva na spremembe referenčnih vrednosti in okoljskih sprememb.

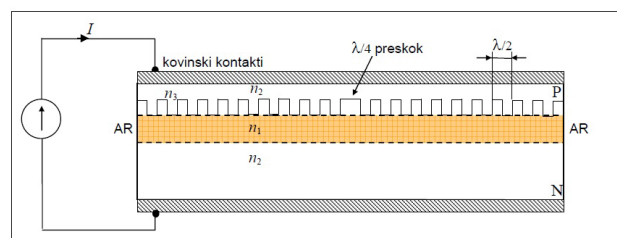
2 DFB laser

Vse visoko zmogljive optične zveze uporabljajo laser s porazdeljeno povratno vezavo (angl. Distributed Feedback – DFB). Pri DFB laserju je za razliko od Fabry-Perot (FP) laserja, optični spekter sestavljen iz zgolj ene zelo ozke spektralne črte. Prav tako je širina spektra pri DFB laserjih 10^4 krat boljša kot pri FP in znaša približno 30 MHz [1].

V celotni strukturi DFB laserja je porazdeljena povratna vezava, kot prikazuje slika 1. Od posameznih nepravilnosti v porazdeljeni povratni vezavi se signal delno odbija. Na sredini laserske strukture je preskok za $\lambda/4$, kar omogoča, da se odboji iz obeh strani seštejejo v fazi. Če preskoka ne bi bilo, bi laser nihal na dveh rodovih. Na zunanji strani laserja je dodan antirefleksni sloj, ki poskrbi, da končni odboj ne moti delovanja periodične strukture.

Periodična struktura je v čipu izdelana s pomočjo fotolitografije (v industriji polprevodnikov pomemben postopek površinskega mikrostrukturiranja). Od vsakega zobca periodične strukture se odbije nekaj malega valovanja. Na ta način dobimo porazdeljeno zrcalo. Če so zobci razmaknjeni za lambda polovic, se nazaj odbiti vali ravno seštejejo.

DFB laserje torej uporabljamo zato, ker imajo ožji spekter. Uporabljen ožji spekter je pri komunikacijah preko optičnega vlakna deležen manjše kromatske disperzije, saj je razširitev impulza odvisna od spektralne širine vira [2].



Slika 1. Prerez, ki prikazuje zgradbo DFB laserja.

Laser je polprevodniška dioda, ki ima prenosno I-P karakteristiko s tipičnim kolenskim prevojem. Pri tokovih pod kolonom iz laserja izhaja svetlobo, ki je nizke jakosti in spektralno povsem neustrezna za prenos informacije. Pri tokovih, ki se nahajajo nad kolonom, izhodna optična moč narašča premo-sorazmerno z napajalnim tokom. Napajanje laserja je potrebno

tokovno omejiti, ker prevelik tok proizvede velike svetlobne jakosti, kar vodi v sežig zrcal in posledično do uničenja laserja.

Frekvenco, na kateri niha laser, določa resonator. Povsem razumljivo je, da se bo s spremembo resonatorja spremenila tudi centralna frekvenca nihanja laserja in frekvenčni spekter. Na žalost se dolžina laserskega resonatorja lahko spremeni s spremembo temperature ali gostoto nosilcev elektrine, ki jih določa napajalni tok.

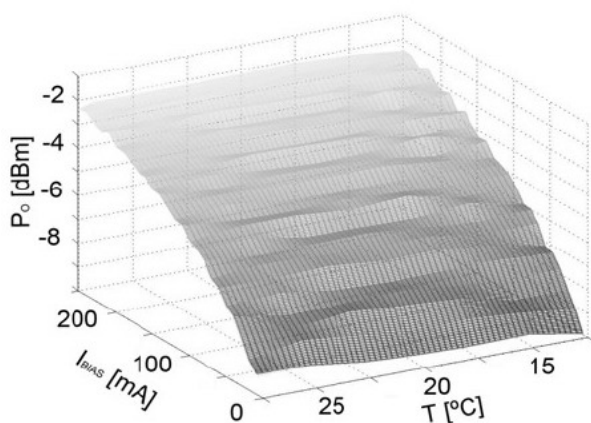
Čip DFB laserja je vgrajen v ohišje, kot ga prikazuje slika 2. Poleg samega laserskega čipa se v modulu nahajajo tudi monitorska fotodioda, termistor s negativnim temperaturnim koeficientom (angl. negative temperature coefficient – NTC) in Peltierova toplotna črpalka [3]. Naloga monitorske fotodiode je, da svetlobni tok spreminja v električni tok. V laserski modul, pa je nameščena z namenom preverjanja delovanja laserja.



Slika 2. DFB laserski modul LMC10NEG5575-J57.

3 Zasnova vezja

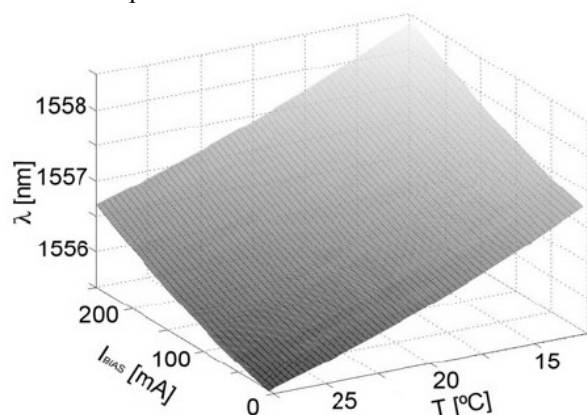
Pred začetkom načrtovanja vezja za stabilizacijo temperature je potrebno dodobra spoznati lastnosti izbranega laserskega modula. Pri tem je pomembno poznavanje povezave med spreminjanjem valovne dolžine laserja v odvisnosti od spreminjanja temperature. V ta namen je bilo najprej potrebno pomeriti izhodno optično moč v odvisnosti od toka delovne točke in temperature, kot prikazuje slika 3.



Slika 3. Karakteristika optične moči v odvisnosti od napajalnega toka in temperature. [4]

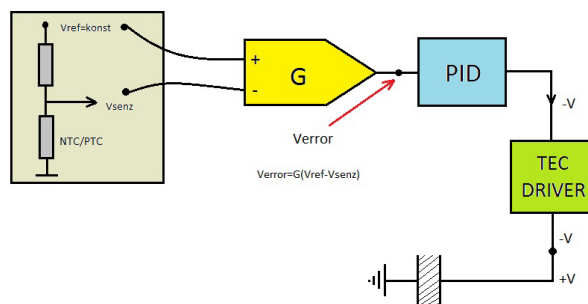
Ob meritvi odvisnosti optične moči od napajalnega toka in temperature se izkaže, da se poleg spremembe optične moči dogaja tudi sprememba valovne dolžine laserja, kot prikazuje slika 4. Izkaže se, da so tok delovne točke, izhodna optična moč in premik valovne dolžine tesno povezani parametri, ki jih je potrebno skrbno upoštevati pri načrtovanju elektronskega vezja za stabilizacijo delovanja laserja.

Bistvena zahteva stabilizacijskega temperaturnega sistema je konstantna, v naprej določena, izhodna optična moč laserja. Kot prikazuje slika 3, je optična izhodna moč odvisna od temperature. Se pravi, če se laser segreje, bo ob konstantnem napajalnem toku moč na izhodu upadla in obratno.



Slika 4. Karakteristika valovne dolžine v odvisnosti od napajalnega toka in temperature. [4]

Te odvisnosti izhodne optične moči od temperature si v praktični izvedbi optične komunikacijske zveze prav zagotovo ne želimo, saj bo vnašala spremembe v moči optičnega signala, s pomočjo katerega komuniciramo. Da bi se izognili tej nevšečnosti, se izvede povratna zanka, ki je prikazana na sliki 5. Elektronika v povratni vezavi s pomočjo termistorja ve, kdaj je prišlo do razlike v temperaturi in posledično laser greje ali hladi, s čimer se vzdržuje optična moč na izhodu.



Slika 5. Modulna shema za hlajenje oziroma segrevanje DFB laserja.

Naslednji problem pri stabilnosti laserja se navezuje na valovno dolžino laserja. Namreč če se laser

nenadzorovano segreva, se nenadzorovano veča tudi valovna dolžina, kot prikazuje slika 4. Tudi tega si ne želimo, saj je optična zveza lahko frekvenčno odvisna, kar je še posebej značilno za sisteme, ki temeljijo na valvnodolžinskem multipleksiranju (angl. Wavelength-Division Multiplexing – WDM).

Iz vsega tega lahko povzamemo, da je za prenos informacije z določeno optično močjo in na določeni valovni dolžini ves čas delovanja telekomunikacijske zveze potrebno skrbeti, da se temperatura laserja ohranja nespremenjena.

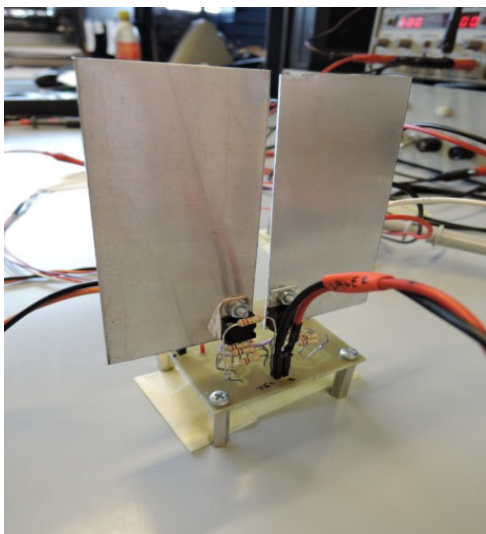
4 Izdelava vezja

Postopek izdelave vezja se je začel z izdelavo električne sheme vezja s pomočjo programa Altium Designer. Shemo je bilo potrebno prenesti v datoteko PCB (angl. Printed Circuit Board) in jo natisniti na bakreno ploščico. Pred tiskom na ploščico je bilo le-to potrebno natančno očistiti, da se na površino ne vtisnejo nečistoče, katere bi v kasnejšem procesu povzročale težave. Ko je ploščica natisnjena, se jo spere z vodo, dokler se odvečen papir ne loči od tiska.

Naslednji korak je jedkanje v raztopini, ki jo sestavlja 35% solne kisline, 15% vodikovega peroksida in vode. Obstaja pa še več različnih »receptov« za pripravo mešanice za jedkanje. Po končanem postopku jedkanja se ploščico ponovno spere z vodo in jo posuši. Sledi vrtnanje načrtovanih lukenj, ter prekrivanje vseh bakrenih povezav vezja s cinom.

Pri sestavljanju vezja se najprej spajkajo vsi stalno obstoječi elektronski elementi. Sestavljanje pa se nato nadaljuje z elementi, katerih vrednosti je potrebno izračunati oziroma določiti glede na prvotne in kasnejše meritve vezja z obstoječimi elementi.

Zaradi dveh močnostnih tranzistorjev, ki se grejeta, smo na vsakega pritrtili aluminiјasto ploščico, ki služi kot hladilnik (slika 6).



Slika 6. Elektronsko vezje za stabilizacijo temperature s hladilnimi ploščami.

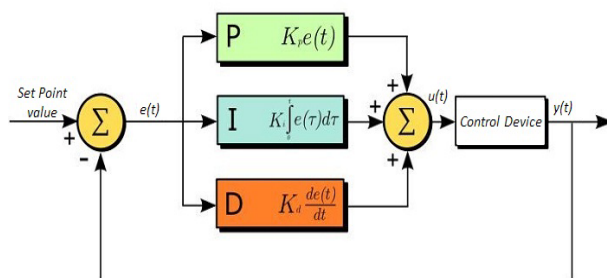
5 PID krmilnik

PID krmilnik, katerega delovanje je ponazorjeno na sliki 7, se pogosto uporablja kot krmilnik za povratno kontrolno zanko, prav tako pa se uporablja za mnoge oblike servo vezij. Črke, ki sestavljajo kratico PID pomenijo proporcionalni (P), integrirni (I) in diferencialni (D) člen, predstavljajo pa tri kontrolne nastavitve. Namen vsakega servo vezja je obdržati sistem na že vnaprej določeni vrednosti (angl. set point) za daljše časovno obdobje.

PID krmilnik aktivno nadzoruje sistem na nastavljeni vrednosti tako, da generira signal napake, kateri predstavlja točno razliko med nastavljeno referenčno vrednostjo in trenutno vrednostjo.

Zgoraj predstavljeni členi krmilnika so odvisni od časovne napake. Proporcionalni člen je odvisen od trenutne napake, integrirni člen je odvisen od akumulacijske napake v preteklosti, diferencialni člen pa predvideva prihajajoče napake.

Rezultat vseh treh je na koncu združen v seštevalnik, kateri na koncu prilagodi izhodni signal $u(t)$. Izhodni signal je nato povezan na kontrolno napravo (angl. Control Device), njegova vrednost pa je preko povratne zanke povezana nazaj v tokokrog, s čimer dosežemo stabilizacijo vhoda proti izhodu, se pravi obdržimo sistem na nastavljeni vrednosti.



Slika 7. Shema delovanja PID krmilnika s povratno zanko za stabilnost sistema.

6 Testiranje delovanja in rezultati

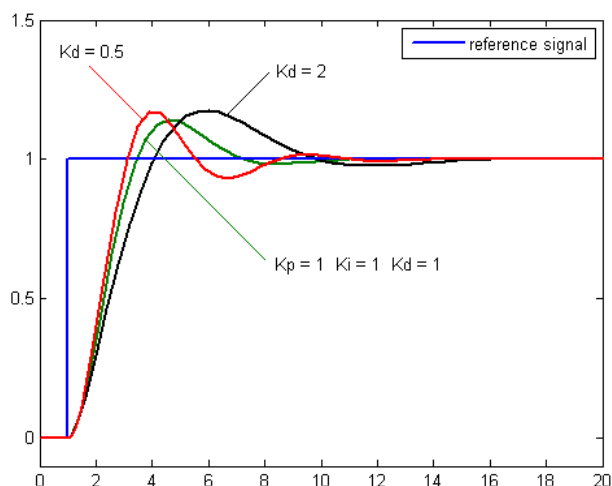
Cilj krmilnika je izvesti stabilizacijo temperature DFB laserskega modula v relativno kratkem času. Od regulacijskega sistema pa poleg hitrega odziva želimo še ob prehodu skozi referenčni signal dobiti prenihaj. S prenihajem čez referenčno točko zagotovimo, da se stabilizacija ne bo samo približevala referenci, kar bi se po teoriji zgodilo v neskončnosti, v praksi pa bi pomenilo izredno dolg čas stabilizacije.

Slika 8 prikazuje različne oblike odziva PID krmilnika na stopničasto spremembo referenčne vrednosti. Od prikazanih treh različnih odzivov je zelen signal tisti, ki nastopi pri ojačenju 0,5.

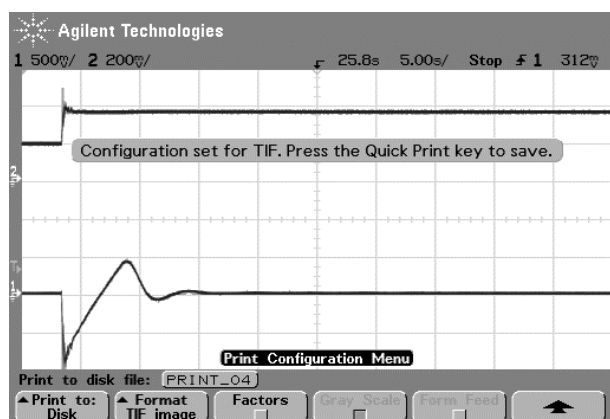
Na slikah 9 in 10 sta prikazana odziva izdelanega PID krmilnika pri povečanju in zmanjšanju referenčne vrednosti.

Izdelan stabilizacijski sistem, glede na odziv s slike 9, odlikuje hitra odzivnost in relativno kratek čas

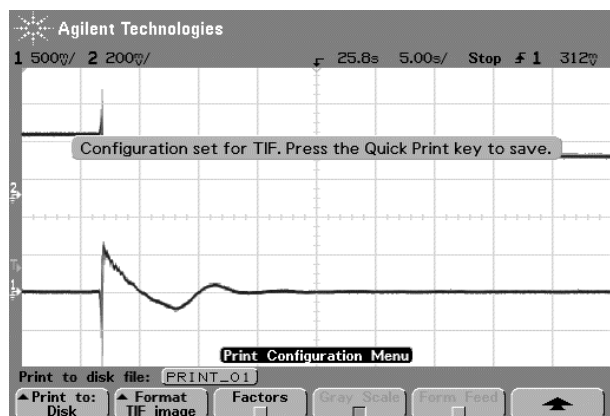
stabilizacije. Iz grafa na sliki 9 lahko ocenimo, da se v stabilizacija lahko zgodi v najkrajšem času $T_s \approx 9$ sekund.



Slika 8. Signal modre barve predstavlja nastavljeno referenco. Signali rdeče, zelene in črne barve predstavljajo odzive pri različnih ojačanjih K_d . Najhitrejši odziv predstavlja signal rdeče barve, saj se stabilizacija zgodi v najkrajšem času.



Slika 9. Odziv in stabilizacija sistema pri povečanju reference.



Slika 10. Odziv in stabilizacija temperature pri zmanjšanju vhodne reference.

7 Zaključek

Za uspešno pošiljanje informacije po optičnih vlaknih je potrebno zgraditi krmilni sistem, ki omogoča zagotavljanje stabilnega delovanja DFB laserjev. Le s pomočjo pravilno delujočega krmilnega sistema je mogoče uspešno stabilizirati temperaturo laserskega modula in posledično izvesti stabilizacijo izhodne optične moči.

V članku je opisan ključni element in sicer DFB laser, zasnova in izdelava vezja za stabilizacijo temperature ter testiranja in odzivi. Sistem je bil izdelan in preizkušen v prostorih Laboratorija za sevanje in optiko na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani.

Izdelan sistem za stabilizacijo odlikuje hitra odzivnost in kratek čas stabilizacije (9 sekund), kar pomeni, da se sistem ustrezno odziva in prilagaja na okoljske spremembe.

8 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 človeških virov za obdobje 2007-2013, 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] https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_feedback_laser, 13. julij 2015
- [2] http://antena.fe.uni-lj.si/studij/optika_vs/opticne%20komunikacije_BatageljB.pdf, 13. julij 2015
- [3] Boštjan Batagelj, Matjaž Vidmar, »Optične komunikacije: Laboratorijske vaje«, Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko, 2003.
- [4] Patrik Ritoša, »Vzbujanje prilagodljive antene z uporabo optične obdelave radiofrekvenčnega signala«, doktorska disertacija. Ljubljana, 2009.
- [5] Matjaž Pučko, diplomsko delo: »Optični reflektometer v frekvenčnem prostoru s temperaturnim spreminjanjem valovne dolžine DFB laserja«, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2005.
- [6] Thermoelectric Cooler Controller Design Made Simpler, <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=53054>, 13. julij 2015