

БИДИРЕКЦИОНА ОПТИЧКА КОМУНИКАЦИЈА КРОЗ ЈЕДНО ОПТИЧКО ВЛАКНО

BIDIRECTIONAL OPTICAL COMMUNICATION THROUGH A SINGLE OPTICAL FIBER

Драгана Драшковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – У овом раду реализована је бидирекциона оптичка комуникација кроз једно оптичко влакно, чиме је остварен симултани пренос сигнала са обе стране система. Извршена су мерења оптичке снаге, брзине преноса података, BER (енг. Bit Error Rate), одзив детектора TSL14-SM и TSL257, као и слурејма (енг. Slew Rate) операционог појачавача. Електричне шеме и дизајн PCB плоче урађени су у програму Altium Designer.

Кључне речи: Оптикелектроника, бидирекциона оптичка комуникација, оптичко влакно, LED предајници, фотодетектори.

Abstract – In this work, bidirectional optical communication was implemented through one optical fiber, which achieved simultaneous signal transmission from both sides of the system. Optical power, data transfer rate, BER (Bit Error Rate), response of TSL14-SM and TSL257 detectors, as well as Slew Rate of the operational amplifier were measured. The electrical schematics and design of the PCB board were done in Altium Designer.

Keywords: Optoelectronics, bidirectional optical communication, optical fiber, LED transmitters, photodetectors.

1. УВОД

Бидирекциона оптичка комуникација преко једног оптичког влакна омогућава пренос сигнала у оба смера, чиме се оптимизује коришћење ресурса и смањују трошкови мреже. Ова техника користи се како би се омогућило симултани пренос података у оба смера у једном оптичком влакну, што је корисно за телекомуникационе мреже и системе за пренос података на даљину. Предности бидирекционе оптичке комуникације се огледају у ефикаснијој употреби оптичких влакана и мањим трошковима инфраструктуре, јер је потребно само једно оптичко влакно за пренос у оба смера, као и смањење латенције у односу на коришћење засебних влакана за сваки смер. Главни циљеви рада укључују пројектовање и имплементацију бидирекционог оптичког система, оптимизацију анализа перформанси, евалуацију компоненти, експерименталну верификацију, повезивање са рачунарима, документацију и препоруке за будући рад.

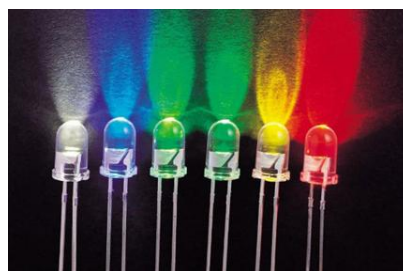
НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Бранислав Батинић, доцент.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

2.1 Историјски развој LED предајника

Историја настанка светлећих LED (енг. Light-emitting-diode) предајника обухвата развој кроз неколико деценија, током којих су научници истраживали и унапређивали технологију која данас омогућава ефикасну светлост у многим применама, од осветљења до дисплеја и телекомуникација. Разумевање принципа који стоји иза LED технологије започело је раније него што су сами LED предајници били изумљени. Први практични светлећи предајник у видљивом делу спектра, црвени, развио је 1962. године Ник Холоњак. Он је користио галијум-арсенид-фосфид (GaAsP) за стварање црвене светлости када струја пролази кроз предајник, због чега се често назива „оцем LED”. Развој LED представља кључну прекретницу у области оптоелектронике и оптичких комуникација. Од првих открића електролуминесценције почетком 20. века, па до развоја савремених, високоефикасних LED предајника, технологија је прешла дуг пут. Захваљујући иновацијама у области полупроводника и напорима научника, LED предајници постали су кључне компоненте савремених технологија осветљења и визуелних комуникација обликујући свет у којем живимо. На слици 1 приказани су LED предајници различитих таласних дужина.

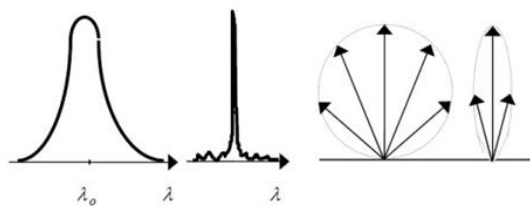


Слика 1. LED предајници различитих таласних дужина

2.2 Технологије и компоненте

Оптичка комуникација један је од најважнијих технолошких напредака модерног доба, омогућавајући пренос информација путем светлосних сигнала кроз оптичка влакна. Ова технологија лежи у срцу глобалних телекомуникација, омогућавајући брз пренос података на велике удаљености уз минималне губитке. Прва кључна компонента у оптичкој комуникацији је оптички предајник. Предајник је одговоран за претварање електричних сигнала у светлосне сигнале који се преносе кроз оптичка влакна.

Главне изворе светлости у оптичким телекомуникацијама представљају оптоелектронски полупроводнички елементи као што су светлеће LED и ласерске диоде. На слици 2 приказани су упоредни дијаграми ширине спектра и просторног зрачења за LED и ласерску диоду.



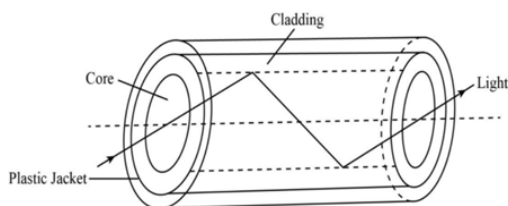
Слика 2. Упоредни дијаграми LED и ласерске диоде [1]

Следећу кључну компоненту у оптичким комуникацијама чине оптички пријемници, чија је главна компонента фотодетектор. Они конвертују светлосне сигнале у употребљиве електричне сигнале, који се затим обрађују и користе. Поред оптичких влакана, извора и детектора светлости, оптички комуникациони системи подразумевају употребу многих других компонената, као што су оптички појачавачи и атенуатори, оптички модулатори, компензатори дисперзије, оптички спрежници (рачве), оптички мултиплексери и демултиплексери сигнала, оптички филтри, оптички изолатори и циркулатори, оптичке компоненте за изједначавање појачања, поларизациони контролери итд. У савременим оптичким комуникационим мрежама ове компоненте се користе за манипулацију и обраду оптичког сигнала [2, 4].

3. ОПТИЧКА КОМУНИКАЦИЈА И КОМПОНЕНТЕ

3.1 Основни принципи оптичке комуникације

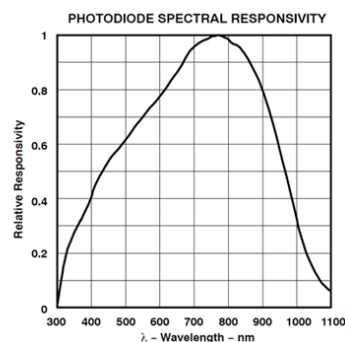
Оптична влакна представљају кључну технологију модерних комуникационих система. У срцу ове технологије лежи фасцинантан физички феномен који подразумева пренос светлости кроз танко оптичко влакно израђено од стакла или пластике. Главни принцип на којем се заснива пренос светлости кроз оптичка влакна је тотална унутрашња рефлексија, која омогућава да светлост остане заробљена унутар влакна и путује кроз њега великим брзинама са минималним губицима сигнала. Оптичка влакна представљају цилиндричне структуре (таласоводе) који се састоје од неколико кључних делова, односно концентричних слојева. Неопходно је да слојеви имају различит индекс преламања и да је индекс преламања језгра већи од индекса преламања омотача, што представља услов за појаву тоталне унутрашње рефлексије [3]. На слици 3 приказан је пренос светлости кроз оптичко влакно.



Слика 3. Пренос светлости кроз оптичко влакно

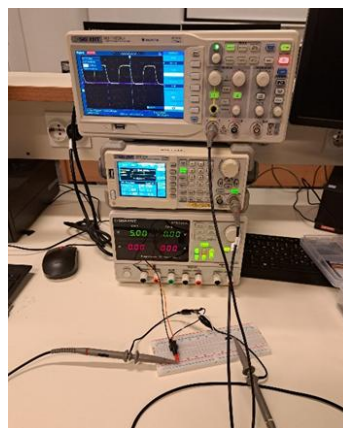
3.2 Физичке карактеристике компоненти

USB-to-serial FT232RL је популаран конвертер који је развила компанија FTDI (енг. *Future Technology Devices International*) који претвара сигнале са серијског интерфејса у USB формат и обрнуто. Ова функционалност омогућава уређајима са серијском комуникацијом да комуницирају са модерним рачунарима који често немају серијске портове. LED предајници представљају један од кључних елемената у савременим оптичким комуникационим системима. Они омогућавају конверзију електричног сигнала у светлосни талас, који се даље преноси кроз оптичко влакно до пријемника и морају бити усклађени са карактеристикама пријемне фотодетекторске јединице. Фотодиода детектује светлосне сигнале и конвертује их назад у електрични сигнал, који се даље појачава и обрађује. BPW34 је класична фотодиода која захтева трансимпедансно појачање, док TSL14-SM директно даје напон. Графикон представљен на слици 4 приказује релативни спектрални одзив детектора TSL14-SM у функцији таласне дужине.



Слика 4. Релативни спектрални одзив детектора TSL14-SM у функцији таласне дужине

У контексту бидирекционе комуникације кроз једно оптичко влакно, коришћење LED извора са таласним дужинама у опсегу у којем фотодетектор има најизраженију осетљивост (око 700 nm) требало би да обезбеди најбољи квалитет преноса и најмање губитке. На слици 5 приказана је поставка која омогућава тестирање максималне брзине у виду учестаности прекидања светлосних импулса које детектор може да региструје на свом излазу без значајних изобличења са фотодетекторима TSL14-SM и TSL257.



Слика 5. Поставка за мерење сигнала са фотодетекторима TSL14-SM и TSL257

Тестирањем се дошло до закључка да будући да TSL257 има изузетно велик отпорник у интегрисаном трансимпедансном појачавачу (који је реда око 320 MΩ), одзив није могао прећи брзине комуникације реда пар десетина kHz, што је у складу са очекивањима. Код TSL14-SM тај отпорник је мањи, реда 5 MΩ и запажа се да одзив детектора нема изобличења сигнала до 256 kbps.

Трансимпедансни појачавач је електронска компонента која претвара мали струјни сигнал, обично из фотоосетљиве компоненте као што су фотодиоде, у пропорционални напон. Овај тип појачавача се користи у многим оптичким комуникационим системима, сензорским апликацијама и системима за мерење, где се обрађују врло мали струјни сигнали [3].

Операциони појачавач је високо осетљива електронска компонента која се користи за појачање напонских сигнала у разним апликацијама, од једноставних појачавача до сложених аналогних кола.

Компаратор у систему детектује прелаз напонског сигнала изнад или испод задатог прага и даје дигитални излаз. Он игра кључну улогу у претварању аналогног сигнала из фотодетектора или појачавача у дигитални облик, погодан за микроконтролер или серијску комуникацију.

3.3 Оптичко влакно

Оптичка влакна представљају цилиндричне структуре, односно таласоводе, који се састоје од два концентрична слоја. Унутрашњи слој назива се језгро, а спољашњи омотач. Ови слојеви су начињени од стакла или пластике, а некада и од њихових комбинација. Као услов за појаву тоталне унутрашње рефлексије неопходно је да слојеви имају различите индексе преламања и да је индекс преламања језгра већи од индекса преламања омотача. Омотач се у циљу заштите пресвлачи слојем полиетилена који има улогу примарне заштите. Пластична оптичка влакна представљају важан део модерне технологије преноса података, али и осветљења и сензорских апликација. У овој области, мултимодна пластично оптичко влакно (POF) пречника 2 mm игра кључну улогу због својих специфичних особина и способности које га чине посебно погодним за одређене апликације. Мултимодно пластично оптичко влакно пречника 2 mm је иновативно и изузетно корисно решење у свету оптичких комуникација, сензорике и осветљења. Његове кључне предности укључују флексибилност, отпорност на ударце, савијање и хабање, једноставност у инсталацији и одржавању, као и ниже трошкове у поређењу са стакленим влакнима. Иако није идеално за дугодометне и високо-брзинске апликације, његова свестраност чини га савршеним избором за специфичне индустријске и комерцијалне потребе на краћим удаљеностима [3].

4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ СИСТЕМА

4.1 Блок шема система

На слици 6 приказана је блок шема читавог система.



Слика 6. Блок шема система

4.2 Предајник

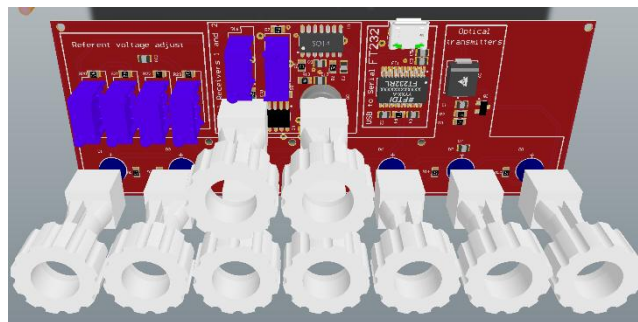
На предајном модулу налази се BC847C NPN транзистор, седам LED извора, шотки диода (енг. *Shottkey*), убрзавајући кондензатор и отпорници.

4.3 Пријемник

Пријемно коло се састоји од фотодиоде, трансимпедансног појачавача, операционог појачавача и компаратора.

5. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА

Комплетне електричне шеме и штампана плоча PCB (енг. *Printed Circuit Board*) модула неопходних за реализацију овог мастер рада израђене су у програмском пакету Altium Designer. На слици 7 приказана је PCB плоча.



Слика 7. PCB плоча

Систем је симетричан, састоји се од два идентична блока система, где су оба блока у стању да врше примопредају преко једног оптичког влакна. Након што се преко USB комуникације сигнал пренесе са рачунара на предајно коло, сигнал се у виду светлости преноси преко оптичке рачве и путем једног пластичног оптичког влакна на пријемну страну, где се сигнал даље обрађује и опет путем серијске комуникације прослеђује на други рачунар.

5.2 Повезивање са рачунарима

У свету технологије, развој савремених рачунара непрекидно тежи ка уклањању старих, физичких интерфејса, као што је RS232 серијски порт, који је некада био стандард за комуникацију са многим уређајима. Међутим, серијски порт је и даље широко заступљен у индустријским системима, микроконтролерима, сензорским уређајима, телекомуникацијама и у бројним наслеђеним системима. Да би се премостио јаз између застарелих серијских уређаја и модерних рачунара, FT232RL

USB-to-serial конвертер нуди једноставно и ефикасно решење.

5.3 Софтверска подршка

Terminal.exe апликација је због своје једноставности искоришћена за тестирање брзине комуникације, а Docklight.exe апликација за тестирање BER-а због могућности преноса велике количине података.

6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РАД

6.1 Испитивање делова оптичког система

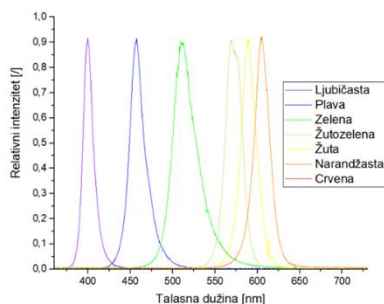
Извршене анализе:

Идентификација вршне таласне дужине: Проналажење вршне вредности на спектралним кривама LED извора за сваку поставку (LED директно, LED + влакно, LED + влакно + рачва).

Померање вршне таласне дужине: Упоредивање вршних таласних дужина између различитих поставки како би се квалификовало померање.

Визуелизација: Графичко представљање промене вршне таласне дужине.

На слици 8 приказан је график са свим LED изворима (директно без влакна снимљено за све LED).



Слика 8. График за све LED изворе

6.2 Тестирање, резултати и дискусија

Поред мерења оптичке снаге, слурејта (енг. *Slew Rate*) операционог појачавача и одзива детектора TSL14-SM и TSL257, такође су извршена и мерења BER-а, као и брзине преноса података.

Формула за израчунавање BER-а је:

$$BER = \frac{\text{БРОЈ ПОГРЕШНО ПРИМЉЕНИХ БИТОВА}}{\text{УКУПАН БРОЈ ПРЕНЕСЕНИХ БИТОВА}}$$

У оквиру овог рада, такође, спроведено је и мерење брзине преноса података. Резултати овог мерења добијени су коришћењем програма Terminal.exe. Мерење је спроведено тако што су се две идентичне плоче са различитим LED изворима повезале обе на рачунар. Циљ је био одредити брзину комуникације између диода парњака приликом слања сигнала једна другој за различите вредности бодрејта (енг. *Baudrate*), односно до које вредности бодрејта ће диоде слати међусобно сигнале без грешака у комуникацији. Резултати BER анализе за 256 kbps су следећи:

- Број послатих карактера: 10,240
- Број снимљених карактера: 11,645
- Број грешака (разлика у карактерима између послатих и примљених): 10,084

- Укупан број анализираних битова: 81,920
- BER: 0,1231

BER од 0,1231 је релативно висок, што значи да је око 12,31 % битова погрешно пренето или примљено. Овакав висок BER узрокован је ограничавајућим фактором брзине реаговања фотодетектора TSL14-SM. Добијени BER до 128 kbps је 0 за све успешно тестиране комуникације, што значи да није дошло до грешке у преносу између послатих и примљених података у погледу броја битова. Мерења су извршена за црвену LED за 128 kbps и за 256 kbps и за љубичасту LED за 128 kbps. У погледу брзине преноса података црвене LED остварују поуздану комуникацију за све вредности бодрејта, док су најлошији резултати забележени са жутозелену и плаву LED, где је непоуздан пренос података за 115,2 kHz.

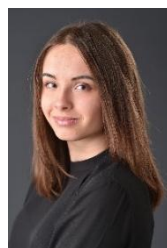
7. ЗАКЉУЧАК

Бидирекциона оптичка комуникација омогућава симултани пренос података у оба смера кроз једно оптичко влакно. У оквиру рада изнета је детаљна анализа и евалуација перформанси кључних компоненти система. Спроведен је низ експерименталних тестирања система како би се извршила верификација функционалности, перформанси, те на крају документовање експериментално добијених резултата. На основу три кључна лимитирајућа фактора оптичког система (извор, влакно, детектор) закључује се да је максимална брзина до 256 kbps у опсегу таласних дужина црвене LED. Кроз овај рад утемељена је добра основа за будући рад и развој многобројних истраживања у погледу анализа својстава оптичких влакана у различитим условима, као и свих осталих компонената и сегмената система.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д. Станковић, "Оптичке комуникације у WDM мрежама", Дипломски рад, Факултет техничких наука, Нови Сад, Р. Србија, 2011 [јул 2024]
- [2] С. Трајковић, "Предајници у оптичким мрежама", СИР, Факултет техничких наука, Чачак, Р. Србија, 2019 [јул 2024]
- [3] Ј. С. Бајић, "Оптоелектроника", Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, 2021 [септембар 2024]
- [4] В. Узелац, "Приказ структуре оптичких мрежа", Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, 2002 [август 2024]

Кратка биографија:



Драгана Драшковић рођена је 2000. године у Осијеку, Р. Хрватска. Дипломски рад на Факултету техничких наука у Новом Саду из области методи оптимизације – Примена машинског учења у дијагностиковању дијабетеса одбранила је 2023. године.

Контакт: draskovicdragana00@gmail.com