

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр **Абдулгадер Г. Р. Злитниа**

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 918/3 од 11.07.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације мр **Абдулгадер Г. Р. Злитниа** под насловом

**Модулациони одзив и пропусни опсег инјекционо синхронизованих Фабри-Перо ласерских диода**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисије је сачинила следећи

## РЕФЕРАТ

### 1. Увод

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде тезе

Кандидат је тему докторске дисертације под називом „Модулациони одзив и пропусни опсег инјекционо синхронизованих Фабри-Перо ласерских диода“ пријавио Комисији за студије трећег степена на Електротехничком факултету у Београду 19.09.2012. године и за ментора предложио проф. др Дејана Гвоздића.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој 753. седници одлуком бр. 918/1 од 25.09.2012. године именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: проф. др Дејан Гвоздић, проф. др Јован Радуновић и проф. др Витомир Милановић (професор Електротехничког факултета у Београду у пензији).

На 759 седници од 12.02.2013. године Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду усвојило је извештај Комисије за оцену услова и прихватања теме докторске дисертације.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на својој седници од 04.03.2013. усвојило извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (одлука 61206-918/2-13).

На 764 седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета од 11.07.2013 године формирана је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: проф. др Дејан Гвоздић, проф. др Јован Радуновић и проф. др Витомир Милановић (професор Електротехничког факултета у Београду у пензији).

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом „Модулациони одзив и пропусни опсег инјекционо синхронизованих Фабри-Перо ласерских диода“ припада техничким наукама, ужој научној области Физичке електронике за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Абдулгaдер Злитни рођен је 1969. године у Триполију, Либија. Дипломирао је 1991. на Вишем институту за цивилну авијацију, где је стекао титулу комуникационог инжењера. У периоду од 1992. до 2007. године био је запослен у одељењу за ласерско навођење Центра за истраживање и развој у Триполију. У периоду од 2001. до 2003. године боравио је на Електротехничком факултету у Београду, где је радио на изради магистарског рада под називом „Error positioning of laser illuminated object“, који је одбранио 29.09.2003. У току своје професионалне каријере радио је на многим пројектима из области фотонице и развоја одбрамбених система, као што су на пример, унапређење телеметријске јединице далекодометних ракета, развој трансивера противтенковских ракета, развој ласерског навођења противтенковских ракета типа FAGOT, итд. Од 2007. године поново борави у Београду, и на Електротехничком факултету ради на својој докторској дисертацији која се бави проблемом моделовања “безбојних” трансмитера за приступне пасивне оптичке мреже, које се базирају на мултиплексу таласних дужина. У току израде докторске дисертације, кандидат је објавио 1 рад у међународном часопису са СЦИ листе.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертације мр Абдулгaдер Г. Р. Злитниa под називом „Модулациони одзив и пропусни опсег инјекционо синхронизованих Фабри-Перо ласерских диода“ садржи насловну страну, кратак резиме рада на енглеском и српском језику, садржај, 7 поглавља, списак коришћене литературе и кратку биографију аутора. Теза је написана на 116 страна и садржи 44 слике, 2 табеле и 111 библиографских јединица које су наведене по редоследу цитирања у тексту дисертације. Поглавља су насловљена на следећи начин: Увод, Пасивне оптичке мреже са мултиплексирањем по таласним дужинама, Инјекционо синхронизовани ласери у мрежама са мултиплексирањем по таласним дужинама, Теорија инјекционе синхронизације, Теоријске основе модулативног одзива инјекционо синхронизованих Фабри-Перо ласерских диода, Резултати и дискусија модулативног одзива, Закључак.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу дисертације аутор даје приказ и указује на основне предности примене оптичких телекомуникационих система у телекомуникацијама. Кандидат у овом поглављу даје преглед технологија за реализацију приступних телекомуникационих мрежа и посебно се бави значајем FTTx технологије која се базира на оптичким телекомуникационим системима и подсистемима. Последњих година се као посебно атрактивно решење у оквиру FTTx технологије издвајају

системи на бази пасивних оптичких мрежа (PON), који захтавају присуство активних компоненти само на крајевима линка. Чињеница да се дуж линка не користе активне компоненте, доводи до општег смањења трошкова одржавања мреже, али и до компликованог система контроле саобраћаја у мрежи. Кандидат у овом делу разматра досадашње технологије које се односе на старије генерације пасивних оптичких мрежа међу којима се издвајају: BPON, EPON и GPON које су у основи базиране на мултиплексирању у времену. Да би се превазишле лимитације постојећих PON система везаних за контролу и брзину протока, у литератури је предложена примена мултиплексирања по таласним дужинама (WDM), које је наслеђено из оптичких транспортних мрежа великог информационог капацитета.

У другом поглављу аутор даје кратак осврт на пасивне оптичке мреже на бази мултиплексирања по таласним дужинама. Разматрање спроведено у овом делу је фокусирано на реализацију пасивних оптичких мрежа са мултиплексирањем по таласним дужинама, опис њихове архитектуре и основних подсистема и компоненти које користе ове мреже. Поред тога, кандидат анализира потребу реализације „безбојних“ трансмитера у пасивним оптичким WDM мрежама и даје преглед постојећих решења.

У оквиру трећег поглавља кандидат дискутује примену инјекционо синхронизованих трансмитера у пасивним оптичким WDM мрежама као основе за реализацију оптичке мрежне јединице, уређаја који омогућава емисију оптичког сигнала од корисника ка централу, али на учестаности која је одређена оптичким сигналом који долази из централе. Поред тога, спроведена је кратка анализа примене инјекционе синхронизације у оптичкој обради сигнала.

Четврто поглавље дисертације бави се теоријским основама инјекционе синхронизације. У овом поглављу показано је како се полазећи од таласне једначине у апроксимацији споропроменљиве анвелопе долази до једначине која описује анвелопу електричног поља у ласерској структури у функцији оптичког појачања, времена живота фотона и учестаности, а затим, како се од ове једначине долази до брзинске једначине у случају спрезања инјекционог електричног поља водећег (мастер) ласера и сопственог поља пратећег (слејв) ласера. Из ове брзинске једначине по електричном пољу резонаторске шупљине, изведене су брзинске једначине по концентрацији фотона и фазне разлике између водећег и пратећег ласера, што представља основу модела инјекционе синхронизације. У наставку су разматрани услови и дијаграм стабилности инјекционе синхронизације у функцији инјекционе снаге водећег ласера и фреквенцијске раздешености између водећег и пратећег ласера, чиме су дефинисане вредности улазних параметара за које је могуће постићи стабилан рад инјекционо синхронизованих ласера.

У петом поглављу кандидат је формулисао модел за истраживање модулационог одзива инјекционо синхронизованог Фабри-Перо ласера који осим брзинских једначина по концентрацији фотона и фази за инјекционо-синхронизован лонгитудинални мод садржи и брзинске једначине по концентрацији фотона за остале, несинхронизоване лонгитудиналне модове, као и једначину по концентрацији парова електрон-шупљина која обједињује утицаје различитих модова. У овом поглављу извршен је избор погодног модела оптичког материјалног појачања, који осим зависности од концентрације носилаца, у обзир узима и симетричну расподелу појачања по модовима. Овај модел оптичког појачања је у даљем разматрању проширен резултатима из литературе, који се базирају на детаљној електронској структури изведеној из k.p метода и која као резултат даје асиметричан спектар

појачања. У оквиру овог поглавља, кандидат је спровео стационарну и транзијентну анализу одзива ласера за случај без и са инјекцијом у циљу утврђивања интензитета емитованих фотона и стања у којима је, осим стабилне синхронизације, обезбеђена доминација синхронизованог мода над централним модом без инјекције. Разлог за ово истраживање повезан је са чињеницом да инјекционо-синхронизован ласер демонстрира ефекте бистабилности, па се може наћи у стању које је блиско режиму без инјекције, што може значити и смањење интензитета синхронизованог мода у односу на мод који одговара максимуму оптичког појачања. Након ове анализе основног модела брзинских једначина, спроведено је извођење модела инјекционо-синхронизованог Фабри-Перо ласера за мале сигнале. У том извођењу узети су у обзир и они модови који могу значајно допринети модулационом одзиву, а то значи да су поред инјекционо-синхронизованог мода у обзир узети и несинхронизовани модови, као што су модови у околини максимума оптичког појачања.

У шестом поглављу приказани су резултати прорачуна модулационог одзива пратећег ласера у случају без и са инјекције, као и за случај симетричног и асиметричног оптичког појачања. Показано је да је модулациони одзив за сваки од модова различит и да би правилно поређење модулационог одзива морало да обухвати и недоминантне модове. Анализа модулационог одзива спроведена је за различите струје поларизације, фреквенцијске раздешености између водећег и пратећег ласера и инјекционе снаге водећег ласера. Показано је да за негативне и мале позитивне фреквенцијске раздешености пропусни опсег расте са порастом инјектоване снаге преко вредности које одговарају ласеру без икакве инјекције, а да при критичном опсегу снаге инјекције пропусни опсег постаје двозначна функција инјектоване снаге. Због тога се у области двозначности, као вредности коју систем прво достиже, узима мања вредност, која аутоматски доводи до наглог пада пропусног опсега. Увећање пропусног опсега може да иде и до 100% у односу на стање без инјекције. Међутим, показано је да при довољно позитивној фреквенцијској раздешености, пропусни опсег за исту инјекциону снагу има мање вредности него за мале позитивне или мале негативне раздешености, док је зависност пропусног опсега једнозначна функција која расте са порастом инјектоване снаге и након максимума континуално опада. Показано је да се резултати не разликују значајно ако се уместо симетричног примени реалистичан асиметричан спектар.

Седмо поглавље бави се закључним разматрањима у којима су постигнути резултати упоређени са полазним хипотезама и у којима је истакнут значај и доприноси саме тезе.

На самом крају дат је списак референци по редоследу њиховог цитирања у тексту дисертације.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

У овом тренутку технологија која у светским размерама доминира у реализацији приступних телекомуникационих мрежа заснива се на пасивним оптичким мрежама са мултиплексирањем у временском домену (TDM-PON). У ту категорију мрежа спадају данас добро познате технологије као што су BPON, EPON и GPON које обезбеђују реализацију FTTH/FTTP приступних мрежа, а са друге стране омогућују реализацију „triple-play“ сервиса за пренос видео записа, података и гласа до крајњег корисника и

од корисника према мрежи и другим корисницима. Данас, у научној заједници која се бави овом проблематиком, постоји општа сагласност, да ће у блиској будућности ову технологију заменити нова генерација приступних широкопојасних мрежа базираних на мултиплексирању по таласним дужинама (WDM-PON). Разлог за њено увођење проистиче из потребе да се повећа пенетрација приступних мрежа и да се информациони капацитет приступних мрежа до крајњег корисника драстично повећа. Од 2000. године када су се јавиле прве идеје о увођењу ове нове мрежне технологије, на проблему развоја WDM-PONa се непрестано ради. У основи ове напредне технологије лежи идеја да се сваком оптичком мрежном уређају (ONU) који се налази код корисника додели једна таласна дужина, путем које ће комуницирати са оптичким линијским терминалом (OLT) смештеним у централи. На тај начин би се елиминисала колизија информационих пакета која потичу од различитих корисника, што је основни проблем постојећих „time-sharing“ приступних мрежа. Поред тога, сваки корисник би могао себи да приушти онај пропусни опсег који му је у датом тренутку потребан, без угрожавања потреба других корисника. На овај начин повећао би се капацитет и флексибилност приступних мрежа.

Да би се снизила цена WDM-PONa врло је пожељно да се развије ниско-буџетна и „безбојна“ оптичка мрежна јединица, тј мрежна јединица која може да ради на таласној дужини коју намеће или одређује сигнал који од централе долази до корисника. Применом „безбојних“ мрежних јединица могуће је снизити операционе и административне трошкове, као и трошкове одржавања и масовне производње. У реализацији ових јединица могуће је применити више различитих приступа и као „безбојни“ трансмитер користити мултимодне Фабри-Перо ласере (FP-LD), рефлексионе оптичке полупроводничке појачаваче (R-SOA) и површински емитујуће ласере са вертикалном шупљином (VCSEL). Након „осемењавања“ ових уређаја са сигнаlima који из централе долазе до корисника тј. до мрежне јединице, трансмитери ремодулишу долазни сигнал, успостављају свој рад на таласној дужини послатог сигнала и на тај начин преносе сигнале од корисника до оптичког линијског терминала у централи. Тиме је у потпуности успостављена веза између корисника и централе. Један од горућих проблема оваквог преноса је не само стабилност радне таласне дужине, већ и величина пропусног опсега које се овим путем може постићи.

Из претходног разматрања се може закључити да је проблем реализације „безбојног“ трансмитера врло акутан и атрактиван проблем савремених оптичко-комуникационих технологија на коме се последњих година интензивно ради. У својој основи овај проблем се своди на проблем инјекционе синхронизације трансмитера мрежне јединице са оптичким извором из централе и накнадне ремодулације долазних сигнала.

Техника инјекционе синхронизације је генерални феномен који је се може препознати у многим дисциплинама као што су физика, биологија, медицина, психологија, социологија, астрономија итд. Током времена, инјекциона синхронизација је постала корисна и у инжењерским дисциплинама које се односе на електричне, микроталасне и оптичке осцилаторе, односно ласере. Као напредна техника, инјекциона синхронизација је нашла велики број примена у области оптичких комуникација и оптичке обраде сигнала. Једна од примена је везана за реализацију уређаја за генерисање микроталасних сигнала оптичким путем. Са друге стране, реализација кохерентних пријемника у транспортним оптичким мрежама базира се на PLL уређају који се реализује применом инјекционе синхронизације. Једна од најновијих примена ове технике тиче се управо реализације „безбојних“ трансмитера у новој генерацији пасивних оптичких мрежа базираних на мултиплексирању по таласним дужинама. Досадашње теоријско и експериментално истраживање је

показало да се модулациони одзив ласера може поправити у поређењу са ласером који ради у аутономном режиму. Такође је примећено да се овом техником може обезбедити мономодни режим рада, да је могуће смањити Хенријев фактор, односно чирп предајника, елиминисати фазни цитер који настаје као резултат поскакивања модова и дисперзије оптичког влакна и друге штетне ефекте.

Све наведено сведочи о томе да је тема и проблем који разматра докторска дисертација мр Абдулгадер Г. Р. Злитниа врло актуелна и од великог интереса за развој савремених оптичких подсистема и мрежних јединица у пасивним оптичким мрежама са мултиплексирањем по таласним дужинама.

Истраживања инјекционе синхронизације углавном су се односила на мономодне ласере и практично су искључиво у разматрање узимала само онај мод који је био изложен инјекцији водећег ласера. Оригиналан допринос ове дисертације проистиче из чињенице да је у њеном оквиру развијен приступ за разматрање мултимодних ласера, пре свега Фабри-Перо, који по својој структури спадају у најједноставније и најјефтиније полупроводничке ласере. У том контексту ова дисертација пружа алгоритам за укључивање произвољног броја несинхронизованих лонгитудиналних модова у прорачун модулационог одзива. Показује се да је код оваквих ласера од пресудне важности у модулациони одзив укључити не само синхронизовани мод, већ и доминантан мод у слободном режиму рада. Остали модови у принципу имају мањи утицај, али би потенцијална промена профила спектра појачања или губитака, у великој мери могла да доведе до тога да је број модова који је потребно узети у обзир много већи. Ова дисертација даје оригинално решење за овај проблем. Међутим, један од кључних и оригиналних доприноса ове тезе је потврда постојања максимума пропусног опсега који се јавља за умерени ниво инјекције и малу фреквенцијску раздешености водећег и пратећег ласера, при чему овај максимум значајно превазилази пропусни опсег без инјекције.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коју је кандидат користио у изради тезе обухвата највећи део референци које су релевантне за област којом се бави ова теза. Највећи број ових референци је релативно скоријег датума, будући да је и сам проблем однедавно дефинисан и присутан у научној и стручној литератури. Одређене референце старијег датума, уведене су у списак литературе због њихове релевантности за теоријске основе инјекционе синхронизације (нпр. референце 50, 62, 65, 66, 84, 85, 86, 93, 102, 103, 105). Део референци на почетку списка односи се на архитектуру WDM мрежа, технолошке аспекте реализације WDM-PONa и методе реализације оптичке мрежне јединице. Како је ова област од великог значаја за многе телекомуникационе компаније, литература није увек била доступна у форми стандардних научних радова у часописима или зборницима радова са конференција, већ у форми интернет новости, званичних извештаја компанија и презентација. Из тог разлога је одређен број референци дат преко интернет линкова на којима су доступни ови текстови. Ови извори су били од значаја за уводни део тезе. Међутим, само језгро тезе и сви релевантни закључци до којих се дошло у њој, базирани су на научним радовима са рецензијом, пре свега у рецензираном и врхунским међународним часописима као што су *IEEE Journal Quantum Electronics*, *IEEE/OSA Journal Lightwave Technology*, *IEEE Photonics Technology Letters*, *IEEE Electronics Letters*, *Optics Express*, *Optics Letters*, *Solid-State electronics* итд, док један мали део референци потиче са различитих, најчешће *IEEE* конференција.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Дисертација кандидата мр Абдулгадер Г. Р. Злитниа заснива се на фундаменталним методама које се користе у моделовању динамике ласера и других активних фотонских компоненти. Основу овог разматрања чини мултимодни модел брзинских једначина који, осим једначина по концентрацији фотона и фази за инјекционо синхронизован мод, укључује и једначине по концентрацији фотона за несинхронизоване модове. Ове једначине су изведене из једначина пропадајућег таласа под претпоставком споропроменљиве амвелопе електричног поља и након његовог просторног усредњавања. Једначина која повезује све променљиве из ових једначина у једну једначину, је она која се односи на концентрацију носилаца, тачније парова електрон-шупљина. Досадашња пракса и примена ових једначина, показала је да су брзинске једначине адекватан алат у моделовању одзива ласера на произвољну побуду, под условом да је динамика која се њима описује спорија од времена живота фотона у резонаторској шупљини, што је најчешће случај. Основни проблем ових једначина је то што су изразито нелинеарне и као такве могу довести до различитих решења у зависности од почетних услова и других системских параметара. У конкретном случају, број једначина може бити изразито велики, будући да број лонгитудиналних модова који је ексцитован може ићи од неколико десетина до неколико хиљада. У случају да се сви ови модови укључе у разматрање, резултат је систем једначина чији је ред једнак броју укључених модова увећан за два, при чему се ово увећање јавља због узимања у обзир једначине по фази инјектованог мода и једначине по концентрацији носилаца.

У циљу истраживања модулационог одзива и његовог пропусног опсега, неопходна је линеаризација мултимодних брзинских једначина у околини мирне радне тачке, која је одређена струјом поларизације ласера. Линеаризација брзинских једначина омогућава генерисање модулационе карактеристике и њене анализе путем методе малих сигнала за различите степене фреквенцијске раздешености водећег и синхронизованог ласера и инјектоване снаге водећег ласера. Број линеаризованих једначина једнак је димензији полазног система мултимодних брзинских једначина.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Из претходног спроведених разматрања, посебно поглавља 3.1., могуће је закључити да је ова теза у великој мери произашла из конкретног технолошког проблема везаног за развој пасивних оптичких мрежа нове генерације, које свој рад базирају на мултиплексу таласних дужина. У том смислу, резултати ове тезе имају итекако практичан значај јер показују услове, тачније инјекционе снаге и фреквенцијске раздешености, под којима је могуће постићи максимални пропусни опсег трансмитера у оптичким мрежним јединицама смештеним код корисника. У фокусу овог истраживања су Фабри-Перо ласери, који су изузетно пожељни за реализацију ових трансмитера, будући да су јефтинији него било која друга врста полупроводничких ласера. Теза садржи и детаљан теоријски модел који у обзир узима произвољан број лонгитудиналних модова, који може послужити за даља истраживања овог и сличних типова ласера. Поред тога, линеаризоване брзинске једначине које су изведене у овом раду, могу се успешно применити у одређивању области стабилности синхронизованог ласера за коју ласер поседује линеаран модулациони одзив и не показује елементе детерминистичког хаоса. Метода одређивања области стабилности заснива се на анализи својствених вредности линеаризованог система једначина у

параметарском простору фреквенцијске раздешености и инјекционе снаге, као и њихове оцене са становишта асимптотске стабилности система.

### 3.5. Оцена достигнутих способности за самостални научни рад

У реализацији докторске тезе кандидат је у великој мери успео да самостално, систематично и зрело прође кроз све фазе њене израде. Кандидат је детаљно радио на изналажењу литературе и анализи релевантих референци. Након тога је уз консултације са ментором, успешно дефинисао кључне поставке и делове модела. У наставку рада је квалитетно реализовао програмске кодове потребне за евалуацију модела, спровео прорачуне и њихову анализу. Ове резултате кандидат је са коауторима успешно преточио у научни рад и објавио у међународном часопису. Након тога кандидат је у консултацији са ментором дефинисао структуру своје дисертације и успешно је реализовао. На основу претходног разматрања стиче се општи позитиван утисак да је кандидат у значајној мери способан за самостални научни рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОСИ**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Нова генерација пасивних оптичких приступних мрежа базираних на мултиплексирању по таласним дужинама, у основи захтева примену оптичких мрежних јединица, које почивају на економски исплативим „безбојним“ трансмитерима. Генерално гледано, допринос ове дисертације је експлицитан теоријски одговор на питање да ли је, и у којој мери, као „безбојне“ трансмитере могуће користити мултимодне полупроводничке ласере. У том погледу резултати ове тезе могу представљати један од значајних корака у даљем унапређењу оптичких мрежних јединица у приступним оптичким мрежама.

Остварени научни доприноси које је мр Абдулгaдер Г. Р. Злитниa постигао у својој дисертацији могу се сумирати кроз следеће констатације:

1. Одређен је опсег параметара инјекције, фреквенцијске рездешености и инјекционе снаге мастер ласера, при којима је пропусни опсег директно модулисаног пратећег ласера већи од пропусног опсега у слободном режиму рада.
2. Показано је да постоји оптимална вредност параметара инјекције за коју пропусни опсег има максималну вредност, која превазилази пропусни опсег у слободном режиму рада. Утврђено је да се ова вредност за конкретне структуре разматране у тези постиже за умерене инјекционе снаге које иду од 0 dBm до 2 dBm у зависности од фреквенцијске раздешености, а да пораст пропусног опсега наступа услед премештања и потискивања резонантног пика модулативног одзива.
3. Показано је да за мале негативне и мале позитивне фреквенцијске раздешености долази до пораста пропусног опсега, док за умерене и велике позитивне раздешености пропусни опсег опада на вредности које су испод пропусног опсега за слободни режим рада ласера.
4. Показано је да је број несинхронизованих модова потребних за успешну и прецизну реализацију укупног модулативног одзива релативно мали и да је у разматрање поред синхронизованог мода, довољно узети у обзир централни тј.

доминантни мод у слободном режиму рада. Међутим, овај приступ није у потпуности оправдан у случају превише широког спектра појачања и/или губитака.

5. Испитано је и показано да простији и симетрични модели оптичког појачања доводе до сличних резултата као и реални асиметрични профили, чиме је потврђена претпоставка да је ове резултате могуће експериментално верификовати.
6. Коначно, један од важних резултата представља развој самог модела, који у обзир узима произвољан број неинјектованих модова, будући да мултимодални модели модулационог одзива до сада нису били разматрани у литератури.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем циљева истраживања, постављених хипотеза и остварених резултата констатујемо да је кандидат успешно одговорио на сва битна питања и дилеме које суштински произилазе из проблематике којом се дисертација бави. Истраживања која су спроведена у докторској тези мр Абдулгадаер Г. Р. Злитниа недвосмислено су потврдила да постоји оптимална вредност инјекционе снаге мастер ласера и фреквенцијске раздешености при којима пропусни опсег постиже максимум, а који је при томе већи од пропусног опсега у слободном режиму рада. Такође је показано да за позитивне и велике фреквенцијске раздешености максимум не постоји, а да се пропусни опсег смањује испод вредности пропусног опсега које одговарају слободном режиму рада. Резултати тезе се заснивају на детаљном и прецизном моделу модулационог одзива трансмитера који у обзир узима и несинхронизоване модове и њихов утицај на укупни одзив ласера и синхронизованог мода.

У том смислу, резултати које је постигао кандидат дају чврст оквир и основу за препознавање овог рада као квалитетне докторске дисертације.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У току свог истраживачког рада, у ужој области теме докторске дисертације кандидат мр Абдулгадаер Г. Р. Злитни објавио је следећи рад:

1. A. G. R. Zlitni, M. M. Krstić and D. M. Gvozdić "Modulation response and bandwidth of injection-locked Fabry–Pérot laser diodes", Phys. Scr. T 149, pp. 014033 (2012). [ISSN: 0031-8949][IF = 1.204]

### **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

Дисертација кандидата мр Абдулгадаер Г. Р. Злитниа, под насловом „Модулациони одзив и пропусни опсег инјекционо синхронизованих Фабри-Перо ласерских диода“ представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос. Дисертација је мотивисана конкретним проблемом који је проистекао из развоја нове генерације WDM-PON мрежа, за чије је успешно функционисање потребно реализовати подсистем поузданих, јефтиних и квалитетних оптичких мрежних јединица, што демонстрира практичан значај дисертације. Кључан резултат и научни допринос ове дисертације су нови теоријски модел модулационог одзива инјекционо синхронизованих мултимодних Фабри-Перо ласера, који пружа могућност урачунавања свих релевантних лонгитудиналних модова у прорачуну модулационог

одзива и одређивања оптималних услова експлоатације Фабри-Перо ласера у оптичким мрежним јединицама. Дисертација је показала да за оптималну вредност инјекционе снаге мастер ласера и фреквенцијске раздешености пропусни опсег постиже максимум који значајно превазилази пропусни опсег у слободном режиму рада. Добијени резултати су објављени у часопису са СЦИ листе.

На основу претходног, Комисија констатује да је мр Абдулгадер Г. Р. Злитни испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду, те, са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да овај извештај прихвати, и у складу са законском процедуром, упути Већу области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.

У Београду, 12.07.2013.

Чланови комисије:

---

др Дејан Гвоздић, редовни професор  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

---

др Јован Радуновић, редовни професор  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

---

др Витомир Милановић, редовни професор у пензији  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет