

# КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 27.08.2019. године, именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Младена Бановића под насловом „Моделовање мултимодног полупроводничког ласера применом-просторно временских брзинских једначина“. Након прегледа материјала, Комисија подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. Биографски подаци кандидата

Младен Бановић је рођен 10.02.1995. године у Лозници. Завршио је основну школу "Анта Богићевић" у Лозници као вуковац и ђак генерације. Уписао је гимназију „Вук Карацић“ у Лозници коју је завршио као вуковац.

Електротехнички факултет, Универзитета у Београду, уписао је 2014. године. Током основних академских студија је био студент демонстратор на предметима Физичко-техничка мерења и Оптичке телекомуникације 1. Дипломирао је у септембру 2018. године на Одсеку за физичку електронику, модул Наноелектроника, оптоелектроника и ласерска техника, са просечном оценом 9.17 и дипломским радом на тему: „Карактеристике шума у фреквенцијским чешљевима добијеним директном модулацијом полупроводничког ласера“. У току основних академских студија био је на шестомесечној пракси у компанији *Elsys Eastern Europe* у области валидације силицијумских чипова.

Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду, на Одсеку за физичку електронику уписао је у октобру 2018. године. Положио је све испите са просечном оценом 10.

### 2. Опис мастер рада

Мастер рад кандидата обухвата 44 стране текста, са укупно 36 слика и 2 табеле. Рад садржи увод, 3 поглавља и закључак (укупно 5 поглавља). Списак литературе садржи 10 референци.

Прво поглавље представља уводно поглавље у ком је дата мотвација за рад. На крају увода дат је преглед организације мастер рада.

У другом поглављу објашњен је теоријски модел брзинских једначина на бази путујућег таласа, са извођењем једначина које чине овај модел. Поред овог модела, представљен је и систем брзинских једначина са концентрисаним параметрима.

У трећем поглављу приказана је нумеричка имплементација модела брзинских једначина на бази путујућег таласа применом методе коначних разлика.

У оквиру четвртог поглавља представљени су резултати. Провера модела брзинских једначина на бази путујућег таласа остварена је поређењем са моделом брзинских једначина са концентрисаним параметрима. Приказане су просторно-временске расподеле електричног поља, односно густине фотона лонгитудиналних оптичких модова, као и концентрације носилаца у оквиру резонаторске шупљине мултимодног ласера.

На крају мастер рада, дат је његов закључак, литература и списак ознака, слика и табела.

### 3. Анализа рада са кључним резултатима

Мастер рад кандидата Младена Бановић разматра дистрибуирани мултимодни модел полупроводничког ласера, код кога се интеракција електромагнетског поља са носиоцима наелектрисања описује путем просторно-временских брзинских једначина, а које се обично називају брзинске једначине на бази путујућег таласа. У оквиру свог мастер рада кандидат је реализвао нумерички поступак и програмски код, чијом применом је могуће пратити просторно - временску еволуцију лонгитудиналних модова у полупроводничком ласеру, као и расподелу носилаца унутар ласерске шупљине, што је иначе немогуће учинити у случају модела са

концентрисаним параметрима и код кога је концентрација носилаца фиксна за целу ласерску структуру. Пропагација таласа дуж оба смера ласерске шупљине доводи до "просторног сагоревања" носилаца и до модификације њиховог профила расподеле, што, са друге стране, утиче на профил расподеле електричног поља модова и на одзив ласера. На тај начин, применом овог модела и релизованог кода могуће је симулирати индиректну интеракцију модова у мултимодном полупроводничком ласеру. Поред тога, у оквиру кода реализован је генератор спонтане емисије, који води рачуна о средњим вредностима брзине спонтане емисије добијене на бази прорачуна базираног на k.p методи, чијом применом је могуће симулирати одзив ласера и његов шум.

Кључни резултати мастер рада огледају се у следећим достигнућима:

1. Модел ласера на бази путујућег таласа и програмски код развијени у тези представљају основу за квалитетнију симулацију мултимодног одзива ласера на произвољну електричну побуду у односу на стандардни модел са концентрисаним параметрима, будући да омогућава просторно - временску анализу међумодалне интеракције и интеракције између носилаца наелектрисања и електромагнетског поља.
2. Применом симулациног кода могуће је приказати и одредити расподелу профила наелектрисања и испитати утицај "просторног сагоревања", као и проценити фактор потискивања појачања услед овог ефекта.
3. Развој случајног генератора спонтане емисије и његова интеграција са мултимодним моделом на бази путујућег таласа, као и његова софтверска имплементација, омогућавају да се спроведе реалнија симулација шума, његова редистрибуција и расподела по модовима и установе његове фазне карактеристике, што је немогуће одрадити применом стандардног модела са концентрисаним параметрима.
4. У оквиру тезе је спроведена анализа утицаја шума на мултимодни одзив ласера, као и недостаци везани за модел шума.

#### 4. Закључак и предлог

Кандидат Младен Бановић је у свом мастер раду успешно спровео нумеричку имплементацију модела просторно - временских брзинских једначина у оквиру њихове примене у симулацији мултимодног режима рада полупроводничког ласера, уз урачунавање случајног допириноса радијативне спонтане емисије. Применом развијеног програмског кода кандидат је демонстрирао утицај мултимодног режима на расподелу поља и носилаца унутар ласера, као и њихов ефекат на одзив ласера. Рачунарски код развијен на бази модела просторно - временских брзинских једначина представља основу за даље испитивање међусобне интеракције модова и њихове синхронизације путем нелинеарних ефеката у активној средини ласера.

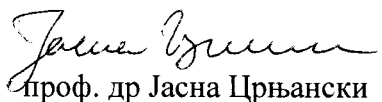
Кандидат је исказао самосталност и систематичност у реализацији постављеног задатка и предложио иновативне поступке у решавању проблематике овог рада.

На основу горе наведеног Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да прихвати рад „Моделовање мултимодног полупроводничког ласера применом просторно-временских брзинских једначина“ дипл. инж. Младена Бановића као мастер рад и одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 13.09.2019.

Чланови комисије:

  
проф. др Дејан Гвоздић

  
проф. др Јасна Црњански

  
др Марко Крстић, доц.