



## УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73, 11000 Београд, Србија

Тел. 011/324-8464, Факс: 011/324-8681

### КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 10.07.2018. године именовало нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Софије Павловић под насловом „Четворталасно мешање модова у полупроводничким ласерима“ (енг. „Four-wave mixing of modes in semiconductor lasers“). Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

#### ИЗВЕШТАЈ

##### 1. Биографски подаци кандидата

Софија Павловић је рођена 20.10.1994. године у Суботици. Завршила је Гимназију "Светозар Марковић" у Суботици као носилац Вукове дипломе. Електротехнички факултет у Београду уписала је 2013. године, на одсеку за Физичку електронику. Дипломирала је у септембру 2017. године са просечном оценом на испитима 9,36 и на дипломском са оценом 10. Мастер студије на Електротехничком факултету у Београду је уписала у октобру 2017. године на Модулу за наноелектронику и фотонику. Положила је све испите са просечном оценом 10.

##### 2. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 35 страна, са укупно 17 слика, 2 табеле и 7 референци. Рад садржи увод, 5 поглавља и закључак (укупно 7 поглавља), списак коришћене литературе, списак слика и списак табела.

Прво поглавље представља увод у коме су описани предмет и циљ рада. Истакнут је значај проучавања утицаја нелинеарних ефеката у полупроводничким ласерима.

У другом поглављу је дат опис основних оптичких карактеристика полупроводничког ласера. Посебан значај је дат опису оптичког појачања и спонтане емисије у полупроводницима, лонгитудиналним модовима, губицима у полупроводничком ласеру и прагу појачања. Треће поглавље садржи дефиницију линеарне и нелинеарне поларизације. Дато је теоријско објашњење настанка и утицаја нелинеарних ефеката у ласеру. Издвојене су две значајне врсте нелинеарне поларизације које настају под утицајем модулације инверзне насељености носилаца услед ефекта избијања између лонгитудиналних модова и ефекта четворталасног мешања.

У четвртном поглављу је изведен систем брзинских једначина ласера који укључује линеарне и нелинеарне ефекте.

У оквиру петог поглавља је описан поступак нумеричке имплементације модела базираног на изведеном систему брзинских једначина.

Шесто поглавље садржи резултате имплементираних модела. Представљен је профил оптичког појачања и спонтане емисије у спектралном домену за различите концентрације носилаца у ласеру. Приказана је динамика ласера под утицајем линеарног ефекта појачања, а затим и динамика ласера са заједничким утицајем линеарног и нелинеарног ефекта. Уочене су разлике између ових динамика, у доминацији различитих модова ласера и синхронизацији модова. При повећању јачине струје показано је да утицај нелинеарних ефеката постаје значајан и доводи до стабилизације фазне разлике модова.



Седмо поглавље је закључак у оквиру кога су резимирани резултати рада. Описане су разлике у поређењу динамике ласера под утицајем линеарног појачања и динамике увођењем нелинеарних ефеката. На крају је дат значај постигнутог решења и могућа даља унапређења.

### 3. Анализа рада са кључним резултатима

Мастер рад дипл. инж. Софије Павловић бави се проблемом утицаја четвороталасног мешања модова у полупроводничком ласеру на њихову фазну синхронизацију. Мултимодни режим ласера у случају фазне синхронизације модова омогућава формирање "фреквенцијског чешља", којим је могуће остварити оптичке изворе погодне у реализацији оптичког ортогоналног фреквенцијског мултиплекса (ОФДМ). То је један од кључних разлога за проучавање и разумевање нелинеарног ефекта какво је четвороталасно мешање модова у полупроводничким ласерима.

Кључни доприноси овог мастер рада су следећи:

- Применом формализма матрице густине формиран је модел четвороталасног мешања који обухвата два нелинеарна ефекта. У првом случају, реч је о ефекту временске флукуације инверзне насељености (концентрације) носилаца, који произилази из ефекта избијања између различитих лонгитудиналних модова и која након спрезања са адекватним модом доводи до варијације интензитета и фазе посматраног мода.
- Други ефекат је резултат суцептибилности трећег реда, чији допринос у случају довољно великих интензитета модова, постаје упоредив са линеарном суцептибилношћу.
- Изведен је систем мултимодних брзинских једначина, који осим стандардног доприноса линеарне суцептибилности, узима у обзир нелинеарне ефекте четвороталасног мешања који настају како услед ефекта избијања, тако и услед суцептибилности трећег реда. Овај систем обухвата једначине које се односе на интензитет и фазу сваког од разматраних модова.
- Применом изведеног система брзинских једначина, показано је да у случају када је у обзир узета само линеарна суцептибилност, не постоји могућност фазне синхронизације. Такође је показано да у случају када су у обзир узети појединачни ефекти четвороталасног мешања долази до фазне синхронизације, која је у присуству суцептибилности трећег реда праћена пулсирањем фазе. У случају урачунавања оба нелинеарна ефекта, фазна синхронизација се може у потпуности постићи и учинити константном.
- Нумеричка симулација показала је да времена релаксације носилаца и спектралног ширења линије имају утицај на то да ли се и при којим вредностима струје се постиже фазна синхронизација модова.
- Показано је да интензитет модова у великој мери зависи од нелинеарне интеракције између њих и да поред линеарне суцептибилности при јачим струјама поларизације ласера доминантне модове одређују и нелинеарни ефекти четвороталасног мешања.

### 4. Закључак и предлог


Кандидат Софија Павловић је у свом мастер раду успешно формулисала и нумерички имплементирала модел четвороталасног мешања лонгитудиналних модова у полупроводничким ласерима, користећи проширене мултимодне брзинске једначине, које узимају у обзир наведене ефекте. Применом овог модела показано је да нелинеарни ефекти доводе до фазне синхронизације модова ласера, чиме је отворен пут анализи механизма фазне синхронизације мултимодних ласера и испитивању фазног шума који том приликом настаје.

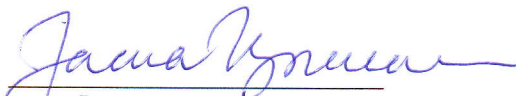
Кандидат је исказао самосталност и систематичност у своме поступку као и иновативне елементе у решавању проблематике овог рада.

На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да прихвати рад „Четворталасно мешање модова у полупроводничким ласерима“ (енг. „Four-wave mixing of modes in semiconductor lasers“) дипл. инж. Софије Павловић као мастер рад и одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 03. 09. 2018. године

Чланови комисије:

  
др Дејан Гвоздић, ред. проф.

  
др Јасна Црњански, доц.