

# КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 25.09.2025 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Мирослав Поповић под насловом „Аналитички модел за оцену губитака снаге код галијум нитридних прекидача заснован на техничкој документацији произвођача“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. Биографски подаци кандидата

Мирослав Поповић је рођен 20.12.2001. у Београду. Завршио је основну школу „Деспот Стефан Лазаревић“ у Београду као вуковац и ђак генерације. Потом је уписао Прву београдску гимназију у Београду, коју је завршио са одличним успехом. Електротехнички факултет у Београду уписао је 2020. године. Дипломирао је на одсеку за Физичку електронику у септембру 2024. године са просечном оценом 9,56. Мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за Енергетску ефикасност, уписао је у октобру 2024. Током студија активно је учествовао у научно-истраживачким и практичним пројектима при Лабораторији за дигитално управљање претварачима и погонима. Са тимом H-Bridges 2023. године освојио је друго место на међународном такмичењу IFEC (International Future Energy Challenge) у Хановеру, Немачка. Током 2024. године похађао је праксу у компанији Infineon Technologies, у сектору за електрична возила. Такође, у оквиру мастер студија обавио је стручну праксу у Институту Никола Тесла. Своја истраживања представио је и у стручној јавности, учешћем на конференцији Енергетска електроника 2025 у Новом Саду.

### 2. Извештај о студијском истраживачком раду

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 25.9.2025. године именовало нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Мирослава Поповића под насловом „Аналитички модел за оцену губитака снаге код галијум нитридних прекидача заснован на техничкој документацији произвођача“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи извештај. Кандидат Мирослав Поповић је као припрему за израду мастер рада урадио истраживање релевантне литературе која се односи на област којој припада тема мастер рада. Анализирана су постојећа решења и проблеми у области моделирања процеса укључења и искључења галијум нитридних прекидача снаге. Истраживањем области утврђено је да се највећи број постојећих решења у литератури заснива на силицијумској полупроводничкој технологији, да не уважавају процес инверзног вођења као и променљивост паразитних капацитивности. Додатно, постојеће методе за оцену губитака снаге углавном захтевају употребу додатних давача и лабораторијске опреме како би се обезбедила прихватљива тачност у оцени губитака. Анализом решења је утврђено да постоји значајан простор у области за методе које се заснивају на променама релевантних физичких величина у времену и које уважавају промену паразитних параметара у функцији радних режима. Додатно је утврђено да би моделирање наведених појава значајно унапредило процес пројектовања уређаја енергетске електронике из угла погоднијег одабира учестаности прекидања и пројектовања система за хлађење.

### 3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 34 стране, са укупно 27 слика, 1 табелом и 8 референци. Рад садржи увод, 3 поглавља и закључак (укупно 5 поглавља), литературу, списак скраћеница, списак слика и табела, додаток.

У Поглављу 1. описан је предмет и циљ рада. Спроведено је поређење различитих технологија и то Si, SiC, GaN. У циљу поређења одабрано је пет критеријума који су доведени у везу са снагом губитака. Представљена је потреба за развојем нових модела за оцену губитака снаге код прекидача заснованих на GaN технологији.

У Поглављу 2. описани су структура и модел GaN прекидача. Анализа је обухватила модел дводимензионалног електронског гаса, механизам инверзног провођења као и структуре прекидача са нормално укљученим и искљученим понашањем. Моделирана је отпорност канала, напон прага провођења, паразитне капацитивности и анализирано је понашање параметара у функцији терминалних напона. Укупна струја прекидача подељена је струју проводног канала и струју паразитних капацитивности чиме је описано

динамичко понашање. Процеси укључења и искључења прекидача су подељени и анализирани кроз сегменте. Као резултат формиран је систем диференцијалних једначина који описује промену струја и напона на прекидачу током процеса прекидања у функцији наведених параметара.

У Поглављу 3. описан је развијени алгоритам за оцену губитака снаге на GaN прекидачима који се заснива на систему диференцијалних једначина. Приказан је процес прикупљања података из техничке документације коришћењем програма Automeris. У Поглављу 4. спроведана је експериментална верификација модела и алгоритма за оцену губитака. Разматрана су и поређена три GaN прекидача из угла оцењених губитака снаге. Транзистор са најбољим понашањем, IGC033, коришћен је за израду прототипа претварача са циљем испитивања модела при учестаности прекидања већим од 1 MHz. Анализом експериментални резултата потврђена је тачност предложеног алгоритма, уз релативну грешку мању од 10%. На крају, дати су закључци као предлози за даљи рад.

#### **4. Анализа са кључним резултатима**

Мастер рад дипл. инж. Мирослава Поповића се бави проблематиком моделирања губитака снаге на прекидачима снаге заснованим на галијум нитридној технологији полупроводника. GaN транзистори данас налазе широку примену код апликација до 450 V. Такође, све чешће постају сигуран избор код примена које изискују високе учестаности прекидања. Тада, губици услед укључења и искључења постају доминантни где постоји значајан простор за нове моделе за оцену губитака које би увећале поузданост уређаја енергетске електронике и свеобухватно унапредиле понашање нових решења.

Развијени аналитички модел, а даље и алгоритам за оцену губитака су испитани прво у програмском пакету MATLAB, а даље и верификовани на експерименталној поставци. Развијени модел губитака снаге показује велику тачност са одступањем до 10% у целом опсегу радних режима. Основни резултати рада су аналитички модел и алгоритам за примену на дигиталном сигналном процесору који показују:

- Оцену губитака снаге на GaN транзистору са максималним одступањем до 10% независно од угла вођења транзистора, напона једносмерног међукола или јачине струје оптерећења,
- да је предложени модел могуће реализовати на дигиталном сигналном процесору у циљу оптимизације дигиталне модулације импулса и мртвог времена,
- да је на основу развијеног модела могуће оптимизовати система за хлађење прекидача снаге,
- да је развијени модел могуће искористити у циљу оптимизације одабира учестаности прекидања, реализације дигиталног модулатора, а даље и у фази пројектовања реактивних елемената у претварачу.

## 5. Закључак и предлог

Кандидат Мирослав Поповић је у свом мастер раду истражио и развио аналитички модел и алгоритам за примену на дигиталном сигналном процесору за оцену губитака снаге на GaN транзистору. Развијени модел уважава кондукционе, комутационе и губитке услед инверзног провођења као и губитке у колу упаљача. Такође, модел уважава промене релевантних параметара којима се моделира транзистор у времену и у функцији радних режима. Модел је испитан и анализиран у симулационом окружењу, а на крају и верификован и испитан на експерименталној поставци. Развијени модел показује одличну тачност са мање од 10% одступања у односу на експериментално добијене резултате. Предложена побољшања могу значајно да унапреде могућности примене предложеног модела и алгоритма у процесу пројектовања уређаја енергетске електронике као и у процесу оптимизације дигиталних модулатора. 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 рад дипл. инж. Мирослава Поповића прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 15.10.2025. године

Чланови комисије:

---

др Александар Милић Доцент  
сагласан, 13.10.2025.

---

др Богдан Брковић Доцент  
сагласан, 13.10.2025.

---

Жарко Копривица Асистент  
сагласан, 13.10.2025.