

## КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ ДРУГОГ СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На својој седници од 16. јуна 2015. Комисија за студије другог степена нас је одредила за чланове Комисије за преглед и оцену мастер рада кандидата **Марка Цветиновића**, дипл. инж. електротехнике, под насловом „Анализа устаљених стања и прелазних појава у самопобудном асинхронном генератору“. После прегледа достављеног материјала, подносимо следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Биографски подаци

Марко Р. Цветиновић рођен је 20.12.1990. године у Лозници. Гимназију у Крупњу, општи смер, завршио је 2009. године, са одличним успехом, као ученик генерације. Исте године уписује основне студије на Електротехничком факултету у Београду. Дипломирао је 2013. године, као први у својој генерацији на Одсеку за енергетику, смер Електроенергетски системи, са просечном оценом 8,74 (оцена на дипломском 10). По завршетку основних студија уписао је дипломске академске - мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, смер Електроенергетски системи. Положио је све испите са просечном оценом 8,20.

Запослен је у фирми Електромонт-илт д.о.о и бави се пројектовањем и извођењем електричних инсталација. Течно говори енглески језик.

#### 2. Предмет и циљ истраживања

Асинхрони мотори су свакако најзаступљеније електричне машине у нерегулисаним електричним погонима, а у новије време, са развојем енергетске електронике, налазе све већу примену и у регулисаним погонима. Основне предности асинхронних мотора у односу на друге врсте обртних машина су робусност, ниска цена, мањи габарит, одсуство потребе за одржавањем итд.

У последњих неколико година, због све веће цене енергије из конвенционалних извора, интересовање за обновљиве изворе енергије, као што су сунце, ветар или геотермална енергија, значајно је интензивирано. Због тога су асинхроне машине нашле значајно место као генератор у производњи електричне енергије из обновљивих извора, и то углавном код ветроелектрана и малих хидроелектрана.

Предмет мастер рада дипл. инж. Марка Цветиновића је математичко моделовање прелазних појава и устаљених стања код самопобуђених асинхронних генератора, као и

симулација прелазних појава у одговарајућем рачунарском програму. Циљ рада је да се, уз коришћење литературе, формирају математички модели за анализу устаљених стања и прелазних појава и да се применом рачунарске симулације проучи ефекат промене вредности параметара и радних услова на перформансе генератора. Параметри чија вредност се мења су: вредност побудне капацитивности, тип оптерећења итд. Поред тога, анализирано је самопобуђивање у празном ходу и нагло оптерећивање генератора, као и пролазни кратак спој из оптерећеног режима.

### 3. Садржај и организација рада

Мастер рад, под насловом „Анализа устаљених стања и прелазних појава у самопобудном асинхронном генератору“, је изложен у осам поглавља, са Уводом и Закључком. Рад је представљен на 51 страни текста, међу којима се налази 47 слика и једна табела. Рад се позива на 9 референци.

У првом, уводном поглављу, дате су основне информације о асинхроним машинама и њиховим предностима у односу на друге врсте обртних машина и њиховом месту у савременим индустријским и комерцијалним апликацијама. Објашњен је принцип рада асинхроних машина, регулисање брзине обртања, начини пуштања у рад, док је на крају поглавља дата еквивалентна шема, као и биланс снага асинхроне машине.

Друго поглавље пружа основне информације о асинхронном генератору. Дат је принцип рада и конструкционе карактеристике асинхроног генератора. Наведене су његове предности у односу на синхроне, али и главни његови недостаци.

Треће поглавље је посвећено детаљном појашњењу принципа рада самопобудног асинхроног генератора. Дат је кратак осврт на откриће, шема повезивања кондензатора за самопобуду као и еквивалентно монофазно коло самопобудног асинхроног генератора у стационарном стању. Показано је да су излазни напон и фреквенција самопобудног асинхроног генератора нелинеарна функција брзине, реактансе магнећења, капацитивности и оптерећења.

Четврто поглавље посвећено је методама за анализу рада самопобудног асинхроног генератора. Укратко су објашњени модели за анализу у стационарном стању (модел импеданси и адмитанси) као и модел за анализу прелазних појава (ABC-dq трансформација). Дате су напонске једначине у ABC и dq систему променљивих, као и моментна једначина машине. На крају поглавља је дат комплетан модел самопобуђеног асинхроног генератора са прикљученим оптерећењем као и модел генератора у матричној форми.

Пето поглавље бави се процесом самопобуде. Почетак поглавља посвећен је теоријском објашњењу процеса, док је већи део поглавља посвећен анализи самопобудног асинхроног генератора на конкретном примеру. Коришћени су резултати симулације на примеру ветроагрегата који се састоји од ветро турбине и самопобудног индукционог генератора. На основу тих симулација могу се сагледати неке опште зависности у раду индукционог генератора, односно промене које настају варирањем неких величина, на пример, промена погонског момента у условима константне снаге оптерећења или промена оптерећења. Размотрен је и случај

неуспешне побуде асинхроног генератора. Све зависности су приказане на дијаграмима уз које је детаљно појашњење појава које се дешавају.

*Шесто поглавље* посвећено је методи за одређивање побудне капацитивности индукционог генератора. Од посебног је значаја одредити минималну капацитивност која је потребна да самопобуда генератора успе. Приказан је директан метод за налажење  $C_{\min}$  и излазне фреквенције под  $RL$  оптерећењем. Вредност која се на овај начин добије представља теоријски минимум довољан за побуђивање. Наглашено је да за стабилан рад вредност побудне капацитивности мора да буде нешто већа од  $C_{\min}$ . Детаљно је објашњена метода адмитанси за добијање минималне потребне капацитивности. Метода се своди на полином шестог степена чијим решавањем се долази до вредности за  $C_{\min}$ . Обрађен је и математички модел за решавање добијеног полинома. Поново је урађена анализа стационарних стања и прелазних појава на конкретном примеру. Дати су дијаграми на којима се може видети тражена вредности минималне капацитивности за различите вредности и карактере оптерећења. Закључено је да су захтеви за реактивном енергијом највећи када је оптерећење претежно индуктивно. Такође, приказана је и зависност ефективне вредности и учестаности напона на крајевима генератора од оптерећења за неколико различитих вредности капацитивности кондензатора. Показано је да се повећањем капацитивности повећава опсег стабилних радних тачака генератора, тј. самопобуда је могућа при већим оптерећењима.

У наставку поглавља обрађене су прелазне појаве у самопобудном индукционом генератору. Дат је динамички модел у форми погодној за софтверску имплементацију. И у овом делу приказане су појаве на реалном конкретном примеру. Обрађено је самопобуђивање у празном ходу, и нагло оптерећивање генератора. Дати су дијаграми напона и струје генератора, струје оптерећења и реактансе магнећења. Показано је да трајање прелазних процеса расте са повећањем оптерећења.

Даље је обрађен случај пролазног кратког споја из оптерећеног режима. Кратак спој је моделован наглим смањењем импедансе оптерећења на нулу. Поново су дати дијаграми напона и струје генератора, струје оптерећења и реактансе магнећења. Показано је да ће асинхрони генератор остати у стабилном раду уколико на његовим крајевима дође до појаве привременог трофазног кратког споја.

*Седмо поглавље* се бави применама самопобудног асинхроног генератора. С обзиром на то да се они најчешће примењују код ветроелектрана и малих хидроелектрана посебно је посвећена пажња примени у ова два случаја.

*Осмо поглавље* је посвећено закључку, у ком је дат преглед примењених метода и резултата добијених у раду. Поново су укратко наведени различити приступи, и изнете њихове предности и мане, као и потенцијална подручја примене у пракси. На крају су предложени могући правци даљег истраживања.

*Девето поглавље* даје преглед референтне литературе.

На основу прегледа рада доносимо следећи


## ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду садржај и квалитет рада, актуелност и сложеност изабране теме, резултате и закључке до којих је кандидат Марко Цветиновић, дипл. инж. електротехнике у свом самосталном раду дошао, чланови Комисије за преглед и оцену мастер рада сматрају да рад кандидата испуњава све услове да буде прихваћен као мастер рад и са задовољством предлажу Комисији за други степен студија Електротехничког факултета Универзитета у Београду, да мастер рад Марка Цветиновића, дипл. инж. електротехнике, под насловом „Анализа устаљених стања и прелазних појава у самопобудном асинхронном генератору“, прихвати као мастер рад и кандидату омогући усмену одбрану.

У Београду,

14. септембар 2015. године

Чланови Комисије:

  
Др Зоран Лазаревић, редовни професор

  
Др Жељко Вуришић, доцент