

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<ol style="list-style-type: none"> Датум и орган који је именовео комисију: 03.09.2015. Наставно научно веће Факултета техничких наука. Број решења: 012-72/10-2015. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен: <ol style="list-style-type: none"> др Платон Совиљ, доцент, УО Електрична мерења и метрологија, 13.09.2011, ФТН Нови Сад др Драган Ковачевић, научни саветник, УО Техничко-технолошке науке – енергетика, рударство и енергетска ефикасност, 29.05.2013, Електротехнички институт „Никола Тесла“, Београд др Драган Пејић, доцент, УО Електрична мерења и метрологија, 13.09.2011, ФТН Нови Сад др Борис Антић, доцент, УО Електрична мерења и метрологија, 01.01.2014, ФТН Нови Сад др Зоран Митровић, ванр. проф, УО Електрична мерења и метрологија, 11.06.2014, ФТН Нови Сад, ментор.
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<ol style="list-style-type: none"> Име, име једног родитеља, презиме: Душан, Илија, Чомић Датум рођења, општина, држава: 17.10.1952. Сириг, Темерин, Србија Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Електротехнички факултет Београд, Електротехника, енергетски смер, дипломирани инжењер електротехнике Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија - Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Факултет техничких наука, Нови Сад – Департман за енергетику, електронику и телекомуникације, „Планирање доградње извора реактивне енергије у дистрибутивним мрежама“, 26.08.2005. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Електротехника и рачунарство
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Стохастичка метода мерења напона и струје на високом напону
IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.
Садржај докторске дисертације организован је у 6 поглавља и има следећу структуру:

1. УВОД

2. СТАЊЕ ТЕХНИКЕ

2.1. НАПОНСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ

- 2.1.1. Начин рада напонских трансформатора
- 2.1.2. Карактеристичне величине напонских трансформатора
- 2.1.3. Тачност напонских мерних трансформатора
- 2.1.4. Зависности грешака напонских мерних трансформатора
 - 2.1.4.1. Зависност грешака од оптерећења
 - 2.1.4.2. Зависност грешака од напона
 - 2.1.4.3. Зависност грешака од фактора снаге оптерећења
 - 2.1.4.4. Зависност грешака од фреквенције

2.2. СТРУЈНИ ТРАНСФОРМАТОРИ

- 2.2.1. Начин рада струјних трансформатора
- 2.2.2. Карактеристичне величине струјних трансформатора
- 2.2.3. Векторски дијаграм струјних трансформатора
- 2.2.4. Струјни трансформатори за мерење
- 2.2.5. Струјни трансформатори за заштиту
- 2.2.6. Означавање струјних трансформатора

2.3. НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИ МЕРНИ ПРЕТВАРАЧИ

- 2.3.1. Неконвенционални претварачи за мерење напона
 - 2.3.1.1. Делитељи напона
 - 2.3.1.2. Оптички напонски мерни претварачи
 - 2.3.1.2.1. Трансверзална конфигурација
 - 2.3.1.2.2. Лонгитудинална конфигурација
 - 2.3.2. Неконвенционални претварачи за мерење струје
 - 2.3.2.1. Мерење струје мерењем пада напона на шанту
 - 2.3.2.2. Мерење струје оптичким мерним претварачима
 - 2.3.2.3. Hall ефекат
 - 2.3.2.4. Калем Rogowskog
 - 2.3.3. Изведбе оптичких неконвенционалних мерних трансформатора

3. ПОСТАВКА ПРОБЛЕМА

4. ПРЕДЛОГ РЕШЕЊА

4.1. ПРЕДЛОГ РЕШЕЊА МЕРЕЊА СЛОЖЕНОПЕРИОДИЧНОГ НАПОНА У ВИСОКОНАПОНСКОЈ МРЕЖИ

- 4.1.1. Предлог новог мерила сложенопериодичног напона
- 4.1.2. Пројекат новог трансформатора
- 4.1.3. Претходни услови за рад трансформатора без језгра
 - 4.1.3.1. Предлог испитивања трансформатора без језгра
 - 4.1.3.2. Безбедносне мере за рад трансформатора без језгра
 - 4.1.3.3. Начин напајања трансформатора без језгра
 - 4.1.3.4. Начин монтаже и услови рада трансформатора без језгра
 - 4.1.3.5. Заштита од пренапона у мрежи трансформатора без језгра
 - 4.1.3.6. Начин одржавања трансформатора без језгра
- 4.1.4. Испитивање реализованог прототипа
 - 4.1.4.1. Параметари напонског трансформатора без језгра
 - 4.1.4.1.1. Секундарни намотај
 - 4.1.4.1.2. Примарни намотај
 - 4.1.4.2. Мерење примарног и секундарног напона на напонском мерном трансформатору без језгра
 - 4.1.4.3. Мерење фазног угла између примарног и секундарног напона на напонском мерном трансформатору без језгра
 - 4.1.4.3.1. Мерење фазног угла у VN лабораторији Института "Никола Тесла"
 - 4.1.4.3.2. Мерење фазног угла у VN лабораторији ФТН у Новом Саду
- 4.1.5. Анализа експерименталних истраживања
 - 4.1.5.1. Таласни облик секундарног напона за разне таласне облике примарног напона нмт без језгра

- 4.1.5.2. Понашање напонског трансформатора без језгра за разне фреквенције
- 4.1.5.3. Анализа понашања напонског трансформатора без језгра за троугаони таласни облик примарног напона
- 4.1.5.4. Таласни облик секундарног напона за разне таласне облике примарног напона напонског мерног трансформатора са језгром
- 4.1.5.5. Граница тачности, напонска грешка, p_n (%)
- 4.1.5.6. Граница тачности, фазна грешка δ_n (мин)
- 4.1.5.6.1 Потврда фазног угла путем прорачуна
- 4.1.5.6.2 Капацитивности напонског мерног трансформатора без језгра прорачунате на ФТН

4.2. ПРЕДЛОГ РЕШЕЊА МЕРЕЊА СЛОЖЕНОПЕРИОДИЧНЕ СТРУЈЕ У ВИСОКОНАПОНСКОЈ МРЕЖИ

- 4.2.1. Принцип рада калема Роговског
 - 4.2.1.1. Калем Роговског са вишом термичком стабилношћу
 - 4.2.1.2. Примена калема Роговског
 - 4.2.1.2.1. Калем Роговског са електронским интегратором
 - 4.2.1.2.2. Калем Роговског са електронским интегратором постављен на голи ВН проводник
 - 4.2.1.2.3. Калем Роговског са електронским интегратором постављен на изолован проводник
 - 4.2.1.3. Класа тачности калема Роговског
- 4.2.2. Стохастичка метода мерења струје на високом напону употребом калема Роговског и ИМН
- 4.2.3. Упоредно мерење струје употребом калема Роговског и струјног мерног трансформатора
- 4.2.4. Упоредно мерење струје употребом калема Роговског са комерцијалним и ИМН уређајем
- 4.2.5. Коментар мерења у ДТС "Рашка"

5. ЗАКЉУЧАК

6. ЛИТЕРАТУРА

Дисертација има 153 стране, 62 цитата, 31 табелу, 53 слике и 69 графика

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Прво поглавље је увод и у њему се наводи циљ докторске дисертације: “Стохастичка метода мерења напона и струје на високом напону”.

У оквиру другог поглавља је приказано стање технике, објашњен начин рада конвенционалних напонских и струјних мерних трансформатора у односу на неконвенционалне мерне претвараче са датим нагласком на добре и лоше стране једних у односу на друге. Такође је указано на тренд развоја мерне технике која због захтева технолошког развоја и тржишта све више користи неконвенционалне мерне претвараче.

Треће поглавље анализира проблеме везане за мерење струје и напона у високонапонској несинусоидалној мрежи, истиче на шта су водећи светски стручњаци указали у области мерења напона, струје, енергије и снаге и констатује да се у интересу тачности мерења морају применити нека неконвенционална решења.

Предлог решења је садржан у четвртном поглављу. Предложена су решења за мерење сложенопериодичног напона и струје у високонапонској мрежи применом неконвенционалних метода.

У делу у којем се предлаже мерење сложенопериодичног напона у високонапонској мрежи је коришћено решење које предлаже коришћење новог напонског мерног трансформатора без магнетног језгра (који је развијен у оквиру истраживања током израде ове дисертације), стохастичке методе и интегрисаног мерила хармоника (ИМН). Наведено интегрисано мерило хармоника је развијено на Факултету техничких наука у Новом Саду. Направљен је пројекат новог трансформатора без магнетног језгра са условима за његово пуштање у погон. Ови услови садрже предлог фабричког испитивања, безбедносне мере за његов рад, начин напајања, начин монтаже и услове експлоатације, заштиту од пренапона и начин одржавања. Да би се потврдиле добре особине реализованог прототипа новог трансформатора без магнетног језгра, извршена су прво испитивања електричних параметара, а затим и мерења примарног и секундарног напона и мерења фазног угла између примарног и секундарног напона. Мерења су извршена у Електротехничком институту "Никола Тесла" из Београда, фабрици "Минел" из Зрењанина, Факултету техничких наука у Новом Саду и Високонапонској лабораторији ПД "Електровојводина" у Новом Саду. Ови резултати су анализирани кроз мерења у Лабораторији за метрологију Факултета техничких наука у Новом Саду, са посебним нагласком на таласне облике секундарног напона, за разне облике примарног напона. Иста испитивања су извршена и за конвенционални напонски трансформатор ради упоређивања. Анализирано је понашање новог напонског трансформатора без магнетног језгра за разне фреквенције. Након тога је утврђена граница тачности и то напонска грешка, p_n (%) и фазна грешка δ_n (мин). Фазни угао између примарног и секундарног напона је потврђен и прорачуном који је извршен коришћењем софтверског пакета LT Spice. Измерене вредности капацитивности новог напонског трансформатора потврђене су на Факултету техничких наука у Новом Саду, при Катедри за теоријску електротехнику, коришћењем одговарајућег сопственог софтвера. Прорачуни електричног поља, односно потенцијала, су изведени у софтверу COMSOL, који се базира на методи коначних елемената.

У делу у којем се предлаже мерење сложенопериодичне струје у високонапонској мрежи је коришћено решење које обухвата коришћење калема Роговског, стохастичке дигиталне мерне методе и интегрисаног мерила хармоника (ИМН). Дат је принцип рада калема Роговског, указано је на његове добре стране, посебно на високу линеарност, а сада и високу тачност, начин примене у мерењу у средњенапонским постројењима као и могућности примене одабране стохастичке дигиталне мерне методе. Указано је на грешке које садашњи произвођачи комерцијалних мрежних анализатора праве коришћењем класичних интегратора у односу на ИМН. Такође је конкретним мерењем указано на неизбежне грешке у мерењу несинусоидалних високих струја коришћењем класичних струјних трансформатора са магнетним језгром у односу на мерење струје коришћењем калема Роговског. На крају је дат коментар резултата извршених мерења са указивањем на правце даљих истраживања у овој области.

У закључку рада су наглашени најзначајнији резултати рада у оквиру ове дисертације. На крају је дат попис литературе.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

1. Zoran Mitrovic, **Dusan Comic**, Slobodan Milovancev, Dragan Pejic "CORELESS TRANSFORMER FOR POWER QUALITY MEASUREMENT AT MEDIUM VOLTAGE LEVEL", прихваћен за објављивање у часопису Tehnički vjesnik (Technical gazette) M23, ISSN 1330-3651 (Print), ISSN 1848-6339 (Online)
2. В. Пјевалица, **Д.Чомић**, В. Вујичић, "Stochastic VAR-Hour Meter", XII Интернационални

симпозијум Енергетска електроника, Нови Сад, 2003.

3. **Чомић Д.**, Милованчев С., Пејић Д., "Прилог мерењу квалитета дистрибутивног напона", 50. конференција ETRAN, Београд, 2006.
4. **Чомић Д. Милованчев С., Вујичић В.**, "A new Approach to Voltage Measurements in Power System", 9 th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, Barcelona, october 2007.
5. **Милованчев С., Чомић Д., Пејић Д., Херцег Д.**, "Трансформатор без језгра за мерење квалитета електричне енергије на средњем напону", КОНГРЕС МЕТРОЛОГА 2013, (17.10.2013.), Београд.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Последњих деценија, због потребе праћења захтева електропривреде и у складу са развојем технологије, развијају се неконвенционални напонски и струјни претварачи.

Неконвенционални мерни претварачи имају бројне предности над мерним трансформаторима с феромагнетним језгром.

Најважније предности (оси код претварача који у конструкцији садрже феритне материјале) су што нема:

- утицаја хистерезиса,
- засићења магнетног поља при великим струјама,
- дејства ферорезонансе, која изазива термичко преоптерећење, што најчешће има за последицу уништавање напонских мерних трансформатора.

Њихова примена није постала масовна, тако да су још увек доминантни конвенционални мерни претварачи; данас се још увек претежно користе напонски мерни трансформатори који су нелинеарни и допунски изобличују мерени несинусоидални напон, док отпорнички разделници као алтернатива не обезбеђују галванско раздвајање мерног блока од улазног мереног напона.

Ова два разлога су навела аутора да за мерење напона у сложенопериодичној високонапонској мрежи предложи ново решење које неће имати наведене недостатке и:

- које ће бити линеарно у широком фреквенцијском опсегу, па неће допунски изобличавати сложенопериодичне напоне, и
- које ће галвански одвајати мерни блок од улазног напона.

Научни допринос је примена нове мерне методе (стохастичка дигитална мерна метода) у мерењима на високом напону.

Примена мерних трансформатора без језгра је стара идеја, али због недостатака које има (секундарни напон је сразмеран изводу примарне струје, за мале вредности примарне струје је лош однос сигнал/шум и секундарни напон је осетљив на спољашња поља) није могла бити раније реализована.

Стохастичка дигитална мерна метода је елиминисала наведене недостатке и омогућила примену мерних трансформатора без језгра за врло прецизна мерења.

Идеја, пројектовање конструкције, израда, испитивања и анализа рада неконвенционалних напонских мерних трансформатора без језгра је покушај аутора да се за потребе електродистрибутивног система направи мерни претварач који ће превазићи недостатке конвенционалног напонског мерног трансформатора и наћи масовну примену.

За разлику од осталих неконвенционалних мерних претварача, израда овог уређаја (израђена су два прототипа) је једноставна, а уз превазилажење мана претварача са феромагнетним колом (проблем уласка у засићење) и оптичких мерних претварача (утицај влаге, утицај прашине, висока технологија израде, итд.) има над њима неке своје предности.

Ако се има у виду да је израда оваквог мерног претварача веома јефтина и да не захтева скупе материјале, смањује значајно употребу стратешког материјала (бакар), а избацује такође скупе феромагнетне материјале, очигледно је да овај уређај заслужује равноправан третман у примени за мерења у електродистрибутивној несинусоидалној мрежи.

Доминантна линеарност зависности секундарног од примарног напона омогућава универзалност и типизацију примене овог уређаја у електродистрибутивним мрежама до 35 kV.

Проблеми рада напонских мерних трансформатора без језгра у електромагнетном пољу или утицај електромагнетних поља суседних фаза је превазиђен оклапањем и уземљивањем примарног и секундарног

намотаја мерног претварача.

Измерена класа тачности на оба прототипа је 0,2 % и тачније, што је потврђено у три независне високонапонске лабораторије.

Коришћењем на Факултету техничких наука у Новом Саду развијене стохастичке дигиталне мерне методе која је имплементирана у интегрисано мерило хармоника ИМН, о коме је било речи, могуће је превазићи шум и мали напон на секундару (до 2 V) и радити на изради мерних уређаја већих класа тачности.

Фазни угао између примарног и секундарног напона је измерен, израчунат и износи око 92° , а како је он скоро непроменљив и не зависи од промене напона и оптерећења, коришћењем склопа ИМН лако га је корекционим факторима узети у обзир.

Следећа конструкција напонског мерног трансформатора без језгра ће сигурно омогућити да фазни угао, под мерења примарног и секундарног напона буде тачно 90° , што ће још поједноставити употребу уређаја.

Досадашња истраживања у овој области су потврдила радове водећег светског стручњака за мерне трансформаторе (Емануел) да су мане струјних конвенционалних трансформатора такве да је потребно приступити изради нових конструкција које ће их превазићи.

Уређај за мерење сложенопериодичне струје на високонапонској мрежи ради тако што сигнал на излазу калема Роговског води на улаз интегрисаног мерила хармоника ИМН, на чијем излазу се добија стваран облик примарне струје, релативно високе тачности.

Ови добро познати принципи могу се у потпуности искористити само у комбинацији са разноврсним електронским релејима.

Како је конструкција калема Роговског изведена без употребе феромагнетног језгра, то уводи неколико важних погодности за корисника и апликацију. Главна предност је та да је одзив сензора независан од утицаја нелинеарности и ширине хистерезисне криве, захваљујући чему се постиже веома прецизан и линеаран одзив у широком динамичком опсегу мерне величине.

Линеарна и веома прецизна карактеристика сензора у пуном мерном опсегу омогућава имплементацију мерења и заштите само једним мерним трансформатором (сензором).

Метода рада овог уређаја, због обраде излазног сигнала са калема Роговског употребом ИМН и стохастичке дигиталне мерне методе, даје значајно већу тачност него у случају интегралне излазног сигнала.

Потребно је наставити даља истраживања у овој области, идеју аутора разрађивати, што ће омогућити масовну примену напонског и струјног мерног трансформатора без језгра за добробит напретка у мерењима и интересу потврђивања квалитета испоручене електричне енергије.

Након ових истраживања очекује се већа примена ИМН уређаја код мерења у високонапонској мрежи напона и струја у несинусоидалном режиму користећи искуства са реализованим напонским трансформатором без магнетног језгра и калем Роговског.

Даље истраживање може ићи у правцу реализације напонског трансформатора без језгра са мањим утицајем промене фреквенције (преко 1,5 kHz) на промену електричних карактеристика примарног и секундарног трансформатора и такво пројектовање геометрије намотаја примара и секундара да фазни угао између примарног и секундарног напона буде 90° .

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Имајући у виду да је пројектовање и израда прототипа новог напонског трансформатора без језгра захтевала посебан приступ и истраживања у непознатој области, истраживања су дуго трајала. Због тога је извршен низ потребних испитивања и анализа. Све фазе рада на дисертацији су прегледно приказане, анализирани и тумачени, систематски су приказани проблеми, предлог решења и практична реализација. Резултати истраживања имају научни допринос мерењу напона и струје у несинусоидалној високонапонској мрежи. Корисно ће послужити свима који се баве овом проблематиком. Такође, овим истраживањима омогућено је развијање оригиналне мерне методе која успешно превазилази грешке у мерењу напона, струје и снаге у несинусоидалној мрежи сада на тржишту доступним, комерцијалним, мрежним анализаторима. Рад је у потпуности оправдао очекивања аутора и свих оних који су учествовали у његовој реализацији.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:
1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме? Дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
2. Да ли дисертација садржи све битне елементе? Дисертација садржи све битне елементе за разумевање проблема и предложеног решења стохастичке методе мерења напона и струје на високом напону.
3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци? У дисертацији је предложено решење стохастичке методе мерења напона и струје на високом напону где је, применом СДММ (стохастичке дигиталне мерне методе), калема Роговски за мерење струје и оригиналног решења високонапонског трансформатора без језгра за мерење напона омогућено прецизно мерење на интервалу параметара који дефинишу квалитет електричне енергије према европској норми ЕН50160 и стандарду IEEE 519-1992.
4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања. Дисертација нема недостатака који утичу на резултат истраживања.
X ПРЕДЛОГ:
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
ДА СЕ ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА ПРИХВАТИ, А КАНДИДАТУ ОДОБРИ ОДБРАНА.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

др Платон Совиљ, доцент,
Факултет техничких наука, Нови Сад

др Драган Ковачевић, научни саветник,
Електротехнички институт „Никола Тесла“, Београд

др Драган Пејић, доцент,
Факултет техничких наука, Нови Сад

др Борис Антић, доцент,
Факултет техничких наука, Нови Сад

др Зоран Митровић, ванредни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.