

## ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Датум и орган који је именовao комисију Решењем бр. 012-199/10-2016 од 29. 09. 2016. године, на основу Одлуке Научно-наставног већа, а у складу са Статутом Факултета техничких наука, декан Факултета техничких наука, проф. др Раде Дорословачки, именовao је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације</li> <li>2. Састав комисије са знаком 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"> <li>1. др <b>Платон Совиљ</b>, ванредни професор, ужа област Електрична мерења, метрологија и биомедицина, изабран у звање 13. 09.2016. године, Факултет техничких наука, Нови Сад</li> <li>2. др <b>Драган Ковачевић</b>, научни саветник, ужа област Енергетика, рударство и енергетска ефикасност, изабран у звање: 29.05.2013. године, Електротехнички институт Никола Тесла, Београд</li> <li>3. др <b>Весна Спасић-Јокић</b>, редовни професор, ужа област Електрична мерења, метрологија и биомедицина, изабрана у звање 25.09.2012. године, Факултет техничких наука, Нови Сад</li> <li>4. др <b>Драган Пејић</b>, доцент, ужа област Електрична мерења, метрологија и биомедицина, изабран у звање 07.10.2011. године, Факултет техничких наука, Нови Сад</li> <li>5. др <b>Зоран Митровић</b>, редовни професор, ужа област Електрична мерења, метрологија и биомедицина, 11.03.2016. године, Факултет техничких наука, Нови Сад</li> </ol> </li> </ol>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Име, име једног родитеља, презиме: Жељко, Велибор, Бељић</li> <li>2. Датум рођења, општина, држава: 20.08.1986, Шабац, Србија</li> <li>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив : Факултет техничких наука, Нови Сад, Енергетика, електроника и телекомуникације, Дипломирани инжењер - мастер електротехнике и рачунарства</li> <li>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2011. година, Енергетика, електроника и телекомуникације</li> <li>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Нема.</li> <li>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Нема.</li> </ol>

### **III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Метода мерења хармоника у реалној дистрибутивној мрежи применом А/Д конвертора двобитне резолуције

### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графика и сл.

Научни приказ истраживања за реализацију постављених циљева дисертације кандидат је презентовао на 122 стране, кроз 8 (осам) поглавља. Дисертација садржи 54 слике, 20 табела и списак литературе са 116 референци.

Докторска дисертација под насловом „Метода мерења хармоника у реалној дистрибутивној мрежи применом А/Д конвертора двобитне резолуције“ се састоји из следећих поглавља:

1. Увод
2. Мерење хармоника у електродистрибутивној мрежи - стање у области
3. Поставка проблема
4. Теоријска анализа
5. Симулациона анализа
6. Експеримент
7. Дискусија
8. Закључак
9. Литература
10. Додаци

### **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

У дисертацији је приказано теоријско и практично истраживање које се односи на утврђивање потребних и довољних услова за мерење хармоника у реалној електродистрибутивној мрежи. Циљ истраживања докторске дисертације је формулисање мерне методе и на методи базираном хардверу - по могућности минималне резолуције примењених А/Д конвертора - практично двобитних за мерење хармоника у реалној електродистрибутивној мрежи. Једноставан хардвер омогућује једноставна паралелна мерења, као и мали број извора систематске грешке мерења, што је врло применљиво у мерењима у реалној дистрибутивној мрежи.

Прво поглавље је увод, који се бави дефиницијама квалитета електричне енергије, параметрима квалитета и изворима хармоника у оквиру електроенергетских система.

У другом поглављу је дат кратак приказ најзначајнијих стандарда из области квалитета електричне енергије и метода за прецизно и тачно мерење хармоника мрежних сигнала. Дат је нагласак на Европску норму ЕН50160, на којој се темељи истраживачки рад и резултати ове дисертације. Описане су засебно методе мерења хармоника у фреквенцијском и временском домену и приказ најпознатијих алгоритама за мерење (естимацију) хармоника.

У трећем поглављу је изложен проблем који се обрађује у овој дисертацији и постављена је хипотеза рада. Обрађена је фреквенција као параметар квалитета електричне енергије и представљени су резултати истраживања утицаја варијације мрежне фреквенције на тачност мерења хармоника мрежних сигнала.

У четвртном поглављу је приказана теоријска анализа проблема мерења хармоника у присуству варијације мрежне фреквенције и дат је теоријски предлог мерила хармоника заснован на Стохастичкој дигиталној мерној методи и А/Д конверторима двобитне резолуције.

У петом поглављу је дат опис симулационе анализе мерења хармоника у реалној мрежи са добијеним резултатима. Мрежни напон и струја моделовани су детерминистичким сигнаlima троугаоног и тестерастог таласног облика и променљиве фреквенције.

Шесто поглавље се бави реализацијом прототипа стохастичког мерила хармоника и експерименталном провером извршеном упоредним мерењима на "живој мрежи" комерцијалним анализатором и прототипским мерилем. На крају поглавља дати су и резултати упоредних мерења.

Седмо поглавље представља рекапитулацију рада са дискусијом постигнутих перформанси и могућности примене двобитног стохастичког мерила хармоника.

Осмо поглавље представља закључак рада у ком су дати правци за наставак истраживања и могућности унапређења предложене методе и на њој заснованог мерила хармоника.

На крају је дат списак коришћене литературе, а додаци садрже приказ :

штетних утицаја хармоника на поједине делове електродистрибутивног система; детаља из Европске нормe ЕН 50160; резултата упоредне анализа најчешће примењиваних алгоритама у погледу тачности, рачунских захтева и времена извршавања; модерних мерила параметара квалитета електричне енергије реномираних светских произвођача; начина реализације двобитног флеш А/Д конвертора; утицаја офсета А/Д конвертора и начине за његову елиминацију; утицаја резолуције базисних функција на мерну несигурност; генерисање дитерског сигнала, као и симулациони код.

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

### **Рад у часопису међународног значаја (M23):**

1. **Ž. Beljić**, V. Vujičić, D. Pejić, M. Sokola, Z. Mitrović, "*Grid Fundamental Harmonic Measurement in Presence of Gaussian Frequency Deviation using 2-bit Flash A/D Converter*", Technical Gazette (Print: ISSN 1330-3651, Online: ISSN 1848-6339), Vol. 24/No. 2 to be published towards the end of April 2017.
2. P. Sovilj, B. Vujičić, M. Sokola, D. Pejić, **Ž. Beljić**, Z. Mitrović, „Stochastic Measurement of Noise True RMS using 2-bit Flash A/D converters“, Technical Gazette, DOI 10.17559-TV-20151124100705 – accepted for publication

### **Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24):**

3. **Beljić Željko**, Vujičić Bojan, Župunski Ivan, Mitrović Zoran, Vujičić Vladimir, “Measurement Over an Interval Method in Measuring and Monitoring of Power Quality”, *Serbian Journal of Electrical Engineering ISSN: 1451-4869*, Vol. 11, No. 1, Str. 189-199, UDK 621.316:006.73

### **Нови производ или технологија уведени у производњу – међународни ниво (M81):**

4. V. Vujičić, D. Pejić, N. Pjevalica, P. Sovilj, Z. Mitrović, M. Urekar, **Ž. Beljić**, N. Gazivoda, A. Radonjić, B. Vujičić, „Sistem za merenje, kontrolu i nadzor nad tokovima električne snage i energije u DTS XkV/0,4kV“, Fakultet tehničkih nauka, 2014.
5. V. Vujičić, D. Davidović, V. Pjevalica, N. Pjevalica, D. Pejić, I. Župunski, M. Urekar, P. Sovilj,

Z. Mitrović, S. Milovančev, Bojan Vujičić, Božidar Vujičić, **Ž. Beljić**, „Četvorostruki trofazni analizator snage sa funkcijama merenja kvaliteta električne energije – tipska oznaka MM4“, Fakultet tehničkih nauka, 2012.

6. V. Vujičić, D. Davidović, V. Pjevalica, N. Pjevalica, D. Pejić, I. Župunski, M. Urekar, P. Sovilj, Z. Mitrović, S. Milovančev, Bojan Vujičić, Božidar Vujičić, **Ž. Beljić**, „Dvostruki trofazni analizator snage sa funkcijama merenja kvaliteta električne energije – tipska oznaka MM2“, Fakultet tehničkih nauka, 2012.

**Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент (M85):**

7. **Ž. Beljić**, V. Vujičić, P. Sovilj, B. Vujičić, N. Pjevalica, D. Pejić, V. Pjevalica, M. Bulat, „Metoda merenja osnovnog harmonika u mreži“, Fakultet tehničkih nauka, 2015.
8. V. Vujičić, A. Radonjić, **Ž. Beljić**, B. Vujičić, P. Sovilj, N. Gazivoda, „Koncept stohastičkog merenja parametara signala u Furijeovom domenu“, Fakultet tehničkih nauka, 2014.
9. **Ž. Beljić**, A. Radonjić, V. Vujičić, N. Gazivoda, P. Sovilj, Z. Mitrović „Metoda merenja THD faktora mrežnog napona pri varijaciji frekvencije“, Fakultet tehničkih nauka, 2014.

**Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):**

10. **Ž. Beljić**, D. Davidović, B. Vujičić, D. Pejić, V. Vujičić, „Identification of the Model of Frequency Variations in Power Grid“, International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), Vrnjačka Banja; 2014.
11. V. Vujičić, Z. Mitrović, I. Župunski, **Ž. Beljić**, B. Vujičić, P. Sovilj, „Stochastic Digital Measurement Method – a Strategic Advance in Electrical Power Distribution System Measurements“, IMEKO World Congress, Prag, 2015.
12. V. Vujičić, **Ž. Beljić**, P. Sovilj, A. Radonjić, Z. Mitrović, „Concept of Stochastic Measurements in the Fourier Domain“, ICHQP 2014, Bukurešt, 2014.
13. **Ž. Beljić**, P. Sovilj, B. Vujičić, Z. Mitrović, D. Pejić, „Stochastic Measurement of Voltage and Current THD Factor Using Two-bit A/D Converter“, International Symposium on Power Electronics – Ee, Novi Sad, 2011.

**VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

Теоријским, симулационим и на послетку експерименталним анализама потврђена је могућност примене СДММ приступа (метода) у комбинацији са 2-битним флеш А/Д конверторима у мерењу, преваходно основног, а касније и виших хармоника у мрежи, чак и у присуству значајне (7 пута веће од измерене) гаусовске варијације мрежне фреквенције.

Резултати симулација мерења ефективне вредности основног хармоника троугаоног (THD = 12 %) и тестерастог сигнала (THD = 81 %) имају мерне несигурности испод 0.006 %, чак и при (за флеш А/Д конверторе и СДММ методу) скромној фреквенцији одабирања од 100 kHz. Остварени резултати указали су такође на могућност мерења и виших хармоника, што је касније симулационо и експериментално потврђено.

Предложени једноставан хардвер ради у целобројној аритметици, са сабирањем, одузимањем и акумулацијом као јединим операцијама. Ова чињеница омогућава обраду огромног броја одбирака у реалном времену, односно веома високу фреквенцију одабирања и на послетку широк фреквенцијски опсег мерног инструмента. За даљу обраду, односно за екстракцију акумулираних

вредности и прорачуне на вишем нивоу, довољан је микропроцесор "скромне" процесорске моћи и брзине.

Интеграција предложеног хардвера у један „mixed-mode“ ASIC чип који би радио на 100 пута вишем такту (10 MHz), омогућила би и до  $\sqrt{100} = 10$  боље перформансе.

Извршена је експериментална валидација у „живој“ мрежи, поређењем резултата мерења комерцијалним инструментом и резултата мерења прототипским мерилом заснованим на СДММ. Утврђено је да су теоријска оцена, симулациона потврда и експериментална потврда у потпуној сагласности. Међутим, потребно је нагласити да су резултати експеримента уверљив доказ концепта да је могуће тачно и прецизно мерити основни, и више хармонике у реалној мрежи применом А/Д конвертора резолуције свега 2 бита у присуству значајне варијације мрежне фреквенције. На послетку, истраживање и развој треба наставити и конструисати, на прототипу засновано, мерило хармоника и тестирати га на "живој" електродистрибутивној мрежи.

Како сваки измерени хармоник има случајну грешку, сумарна мерења, као што је мерење активне и реактивне снаге, односно мерење активне и реактивне енергије, се понашају по Централној граничној теореме и Теорији узорака, па на дужим временским интервалима имају изузетно малу мерну несигурност. То указује на пут даљег развоја идеја изнесених у овој тези, а чему у прилог иде и све већи значај чисте енергије као глобално ограниченог и драгоценог производа, односно ресурса.

#### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

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

Тумачење добијених резултата је јасно и прегледно. Формирани закључци у раду су поткрепљени одговарајућим теоријским анализама и резултатима мерења, добијеним из сопствених експерименталних истраживања. Резултати су приказани исцрпно и прегледно, уз навођење претходних истраживачких резултата из ове области.

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме  
Да, дисертација је у целини написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе  
Да. Дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци  
Ова докторска дисертација дала је два јасно формулисана научна доприноса;  
Показано је да се у реалној дистрибутивној мрежи у стационарном, или квазистационарном стању, хармоници напона (и струје) у складу са Европском нормом EN50160 могу мерити изузетно једноставним и робусним хардвером са задовољавајућом тачношћу и прецизношћу.  
Други допринос је симулациона и експериментална потврда претпостављеног модела варијације фреквенције - варијација фреквенције је гаусовска и понаша се у складу са Централном граничном теоремом и теоријом узорака на стандардном интервалу мерења од 10 минута.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања  
У дисертацији нису уочени значајни недостаци који би утицали на резултат истраживања.

<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
<b>- да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана</b>
Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију под насловом „Метода мерења хармоника у реалној дистрибутивној мрежи применом А/Д конвертора двобитне резолуције“ и предлаже да се Извештај о оцени докторске дисертације прихвати, а кандидату одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ  
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

У Новом Саду, 06.10.2016. године

\_\_\_\_\_  
др Платон Совиљ, ванредни професор, председник

\_\_\_\_\_  
др Драган Ковачевић, научни саветник, члан

\_\_\_\_\_  
др Весна Спасић-Јокић, редовни професор, члан

\_\_\_\_\_  
др Драган Пејић, доцент, члан

\_\_\_\_\_  
др Зоран Митровић, редовни професор, ментор

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.