

УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУМУМ
ДЕПАРТМАН ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

ВЕЋУ ДЕПАРТМАНА ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

Предмет: Извештај Комисије за оцену докторске дисертације кандидата мр Игора Вујичића

На основу члана 24. ст. 1. Правилника о начину и поступку пријаве и одбране завршних радова на другом и трећем степену студија на Универзитету "Сингидунум", Веће Департмана за последипломске студије, на седници одржаној 30.11.2017. године, донело је одлуку, број: 4-330/2017, којом смо именовани за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације Игора Вујичића, магистра техничких наука, предложене теме докторске дисертације под насловом:

“ Унапређење квалитета услуга код широкопојасног приступа Интернету преко електродистрибутивних водова у Републици Србији “.

На основу увида у писану електронску/папирну верзију докторске дисертације и документацију кандидата, Комисија подноси Већу Департмана за последипломске студије следећи:

ИЗВЕШТАЈ

Биографски подаци кандидата

Игор Вујичић је рођен 23. марта 1977. године у Сарајеву. Основну школу завршио је у Сарајеву. Средњу школу завршио је у Београду 1995. године. На Војној академији, на одсеку за Радарску технику дипломирао је 1999. године са просечном оценом у току студија 8.43 (осам и четрдесет три). Последипломске студије уписао је 1999. године на Саобраћајном факултету Универзитета у Београду, на Одсеку за поштански и телекомуникациони саобраћај, где је 31. маја 2004. године одбранио магистарску тезу под називом „Модели уласка електропривредних компанија на телекомуникационо тржиште са освртом на могућности Електропривреде Републике Српске“.

У октобру 2000. године се запошљава у Електропривреди Републике Српске, у електродистрибутивном предузећу „Електро-Бијељина“ у Бијељини, где каријеру почиње на позицији инжењера за електрична мерења и АММ систем. У фебруару 2002. године, прелази на позицију инжењера за документацију и базу техничких података, где у наредне четири године пројектује и реализује базу података Техничког сектора предузећа. У марту 2006. године напредује на позицију Руководиоца Службе за информационе системе и телекомуникације. Био је члан експертског тима у више

пројеката који се односе на реконструкцију електроенергетског сектора у Босни и Херцеговини, од којих је један имплементација SCADA и телекомуникационог система у електропривреди. Мотивисан темом магистарске тезе, иницира реализацију оптичке мреже по далеководима средњег напона са циљем комерцијализације електродистрибутивних ресурса у телекомуникационе сврхе, чиме се интензивно бави наредних 18 месеци, када каријеру наставља у приватном сектору.

У јануару 2008. године прелази у предузеће Energosoft д.о.о где ради на позицији Водећег пројектанта за техничку подршку, где се задржава до августа исте године, када прелази у новоосновано предузеће у оквиру Групе – Meter&Control д.о.о где је и данас запослен на позицији Директора Сектора продаје и маркетинга. Предузеће се бави развојем и производњом бројила електричне енергије са могућношћу даљинског читавања и управљања потрошњом, комуникационих модема, софтвера, и остале опреме потребне за функционисање АММ (*Automatic Meter Management*) система. Последњих десет година користи значајно инжењерско искуство у развоју пословања и пласману српских решења у области система за даљинско читавање и управљање потрошњом, која обухватају паметна бројила електричне енергије, комуникационе уређаје, као и АММ/МДМ софтверска решења на територији Европске уније.

Од 2005. до 2013. године био је ангажован као асистент на Факултету за Пословну информатику Универзитета Синергија у Бијељини, на предметима Пословна информатика, Основе рачунарске технике и Базе података. Од 2014. године академску каријеру наставља на Универзитету Сингидунум као асистент на предмету Базе података.

Истраживањима која се односе на учешће електропривредних предузећа на тржишту телекомуникација као оператора различитих телекомуникационих услуга, и могућностима преноса података преко нисконапонских електроенергетских водова интензивно се бави дужи низ година, из чега је као резултат проистекао одређен број објављених радова, укључујући одбрањену магистарску тезу. Као аутор или коаутор објавио је више радова на међународним домаћим конференцијама, коаутор је 1 монографије, а у досадашњем раду учествовао је у неколико пројеката.

Игор Вујичић је ожењен, и са супругом Наташом и ћерком Машом живи у Београду.

Предмет истраживања дисертације

Осврт на актуелност: Предмет истраживања у овој дисертацији је била комуникација путем PLC (*енгл. PowerLine Communication*) технологија. Овај вид комуникације користи нисконапонске и/или средњенапонске као медијум за пренос телекомуникационих сигнала, а примарно је развијен са циљем једноставног даљинског управљања електроенергетским системом и телефоније за потребе електродистрибутивних предузећа. Овакав вид комуникације је доста спорији у односу на бежичне комуникације и друге савремене видове комуникација из разлога

што електродистрибутивна мрежа није одговарајући медиј за пренос сигнала високе фреквенције. Међутим, коришћењем високоразвијених технологија за обраду сигнала у области телекомуникација и других напредних технологија, овај вид комуникације постао је занимљив за истраживање и примену у електродистрибутивним мрежама. Актуелна генерација PLC система користи фреквенције у опсегу од 1,6 – 30 MHz. Овај опсег омогућује реализацију великих протока (теоретски до 200 Mbit / sec), а путем којих је могуће подржати пружање и широкопојасних услуга. Широкопојасни PLC – ŠPLC системи се према подручју примене могу поделити на PLC системе за приступ (Access PLC) и кућне PLC (*In-Home PLC*). Научно истраживање у овој дисертацији је фокусирано на топологије приступних PLC мрежа, које се реализују на инфраструктури нисконапонских електродистрибутивних мрежа.

У поређењу са другим комуникационим медијумима комуникација путем електродистрибутивних комуникационих мрежа има велике недостатке у погледу преноса сигнала у широкопојасном пропусном опсегу. Проблеми који се јављају у виду слабљења сигнала, позадинског обојеног шума и сличних импулсних шумова представљају врло ограничавајући фактор. Из овог разлога детаљно је истражена PLC технологија и идентификовани недостаци који се јављају у њиховој примени у овом виду комуникације. Детаљно су истражене карактеристике PLC канала, а коришћени су доступни модели, као што су *multipath* модел, и модел теорије преноса (TLT). Такође за моделовање је коришћена и OFDM модулација. За успешно коришћење ова два модела било је потребно познавање топологије мреже и електричних особина каблова као предуслове који ометају њихову примену.

Додатно, PLC мора да задовољи и могућност примене у различитим сценаријима експлоатације. PLC мора подржати могућност различитих брзина преноса, мора омогућити различиту покривеност, као и робусност у врло сложеним и различитим апликацијама.

Показано је да топологија нисконапонских мрежа у великој мери утиче на могућност коришћења ових мрежа за комуникацију а такође и специфичне карактеристике нисконапонских водова као медијума за пренос сигнала високе фреквенције. У електродистрибутивним водовима изражена је значајна присутност шумова који потичу од различитих извора, а такође је врло изражена и велика варијација вредности временске импедансе. Велики број извода (кракова) и огранака на нисконапонској мрежи утиче на појаву рефлексија и ефеката вишеструке пропагације. На квалитет комуникационог сигнала у нисконапонском воду утиче и и слабљење које се јавља услед простирања сигнала по воду, а које се повећава са повећањем фреквенције сигнала и дужине проводника (електродистрибутивног вода).

Предмет и тема докторске дисертације су актуелни, а коришћење модулација и PLC комуникационе технологије у постојећој инфраструктури електроенергетске мреже представља допринос предложеног истраживања у имплементације комуникационих технологија и електродистрибутивних мрежа.

Осврт на научни циљ истраживања и хипотезе у докторској дисертацији

Научни циљ дисертације је био детаљна анализа карактеристика нисконапонске мреже и утицаја њених перформанси на реализацију PLC мреже у приступној равни, као и предлог научног истраживања на примеру одабраних репрезентативних нисконапонских мрежа у ЕПС Дистрибуцији, као и реализације сервиса за кориснике PLC мреже.

Посебан циљ истраживања је био да се утврди могућност коришћења оваквих комуникационих система за ефикасан пренос података за широки број корисника ван затвореног система електродистрибуције.

У складу са предметом и циљем, постављеним претпоставкама и методама истраживања, резултати овог научно-истраживачког рада су дали допринос напретку у овој области.

Публиковани радови из ауторових истраживања

Докторска дисертација се ослања на радове 1, 6, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21у којима су приказани одређени резултати истраживања везани за наговештену тему а остале публикације квалификују кандидата као истраживача одређеног нивоа вредности :

- [1.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Communication Performances of Power-line Channel*", Electronics, YU ISSN 1450-5843, vol. 9, No. 1, pages 46-50, October 2005.
- [2.] **I. Vujičić**, "*Modeli ulaska elektroprivrednih kompanija na telekomunikaciono tržište*", ELEKTROPRIVREDA, časopis Zajednice jugoslovenske elektroprivrede, YU ISSN 0013-5755, strana 78-91, broj 3, jul-oktobar 2004.
- [3.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Ulazak elektroprivrednih kompanija na telekomunikaciono tržište*", naučno stručni časopis Telekomunikacije, 2-2004. YU ISSN 0040-2605 pp 27-36
- [4.] Gospić N., Vujičić I., "*Učešće elektroprivrednih kompanija na evropskom telekomunikacionom tržištu*", TEHNIKA, Časopis saveza inženjera Srbije i Crne Gore, YU ISSN 0040-2176, UDC: 62(062.2) (497.1), broj 3, strana 77-82, Godina LIX 2004.
- [5.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Elektroprivredne kompanije kao alternativni telekomunikacioni operatori*", V Međunarodno savetovanje o telekomunikacijama – BIHTEL 2004, rad 2.4, Sarajevo, novembar 2004.
- [6.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Pružanje širokopojasnih usluga preko energetske vodova*", XII Telekomunikacioni Forum - TELFOR 2004, Sekcija 1, rad 1.10, Beograd, novembar 2004.

- [7.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Alternativni operatori na evropskom telekomunikacionom tržištu*", XI Telekomunikacioni Forum - TELFOR 2003, Sekcija 1, rad 1.8, Beograd, novembar 2003.
- [8.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Strategije ulaska elektroprivrednih kompanija na telekomunikaciono tržište*", XI Telekomunikacioni Forum - TELFOR 2003, Sekcija 1, rad 1.7, Beograd, novembar 2003.
- [9.] **I. Vujičić**, N. Rajaković, "*Prenos informacija energetske vodovima – potencijal za diversifikaciju servisa elektroprivrede*", Zbornik radova sa 27. savetovanja JUKO-CIGRE, Knjiga 2, R B2-01, Zlatibor, maj 2005.
- [10.] K. Duronjić, D. Pilipović, **I. Vujičić**, "*Modelovanje PLC mreža pomoću UML-a*", Zbornik radova – INFOTEH 2006, ISBN-99938-624-2-8, rad B-III-1, Jahorina, Bosna i Hercegovina, mart 2006.
- [11.] **I. Vujičić**, "*Elektroprivredna kompanija na tržištu telekomunikacija*", Zbornik radova sa 13. Simpozijum Upravljanje i telekomunikacije u elektroenergetskom sistemu, D2-I-11, Tara, maj 2006.
- [12.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Ulazak elektroprivrednih kompanija na telekomunikaciono tržište*", naučno stručni časopis Telekomunikacije, 2-2004. YU ISSN 0040-2605 pp 27-36
- [13.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Power Utility Companies as Telecommunication Service Operators*", Conference Proceedings ICEST 2005, Volume 2, pages 508-511, Niš, Serbia and Montenegro, June 2005
- [14.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Impact of Power Line Characteristic for Providing The Telecom Services*", Conference Proceedings TELSIS'05, Volume 1, pages 78-82, Nis, Serbia and Montenegro, September 2005
- [15.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Electrical Power Grid as Broad band Telecommunication Network*", VI International Conference on Telecommunications – BIHTEL 2006, paper 21., Sarajevo, October 2006.
- [16.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Energetski vod kao komunikacioni medijum*", Zbornik radova – INFOTEH 2005, rad B-II-5, ISBN-99938-624-2-8, Jahorina, Bosna i Hercegovina, mart 2005.
- [17.] **I. Vujičić**, N. Gospić, "*Perspektiva telekomunikacija ERS u procesure forme elektroenergetskog sektora Republike Srpske*", Zbornik radova sa 27. savetovanja JUKO-CIGRE, Knjiga 1, R D2-08, Zlatibor, maj 2005.
- [18.] **I. Vujičić**, N. Gospić, N. Rajaković "*Topologija širokopojasnih PLC mreža za pristup realizovanih na elektroenergetskim distributivnim mrežama niskog napona*", Zbornik radova 15. Telekomunikacionog foruma TELFOR 2007, Beograd, 2007, pp 153-156.

- [19.] **I. Vujičić**, N. Gospić, N. Rajaković "Structuring of Electricity Distributive Lines for Transmission of Broad band Telecommunication Signals", Zbornik radova TELSIXS'07, Septembar 2007
- [20.] Predavanje po pozivu u okviru konferencije „Next Generation of Smart Metering” u kongresnoj Sali hotela *Falkensteiner* u Beogradu, 9.april.2014 godine, „Smart Metering in Serbia”, Jovan Vujasinović, **Igor Vujičić**, Vladan Lapčević.
- [21.] **I. Vujičić** „Kategorizacija elektrodistributivnih vodova za pružanje širokopojasnih telekomunikacionih servisa“, SINTEZA 2014
- [22.] M. Stanojević, P. Spalević, A. Jevremović, N. Stanojević, **I. Vujičić**, „Sigurna detekcija i praćenje objekata u kompromitovanoj bežičnoj senzorskoj mreži“, Zbornik radova INFOTEH-JAHORINA 2018, mart 2018
- [23.] M. Ilić, S. Jović, P. Spalević, **I. Vujičić** „Water cycle estimation by neuro-fuzzy approach“, Computers and Electronics in Agriculture 135 (2017) 1–3M22

Примењене методе и апликација резултата

Поред општег научног метода, за научно истраживање по предложеној теми, у дисертацији су коришћене методе анализе, синтезе и компарације, методе оптимизације, статистичке методе, методе моделирања, методе индукције и дедукције.

Такође, у дисертацији су коришћена и искуства која постоје у експлоатацији PLC технологије за пружање широкопојасних сервиса.

У истраживањима за дефинисање оптималног сценарија за пружање широкопојасних сервиса преко електродистрибутивних водова, коришћене су и савремене методе и технике менаџмента, маркетинга, као и унапређења квалитета услуга.

Научна област очекивани резултате докторске дисертације

Докторска дисертација: „Унапређење квалитета услуга код широкопојасног приступа Интернету преко електродистрибутивних водова у Републици Србији“, припада области Електроинжињеринга, ужа научна област Телекомуникације.

Најављена истраживања обухватила су следеће резултате:

1. Предложени оптимални сценарији за пружање широкопојасних сервиса преко електродистрибутивних водова,
2. Изведени закључци о ефикасности предложених сценарија,
3. Избор топологије PLC мреже за пружање широкопојасних сервиса,

4. Систематизовање основних карактеристика различитих типова нисконапонског вода као медијума за пренос телекомуникационог саобраћаја на основу мерења параметара квалитета сервиса у реалној PLC мрежи,
5. Анализиране модуларне технике које могу да буду примењене за пренос сигнала у PLC мрежи.
6. Представљена примењивост електродистрибутивног вода као поузданог медијума за комуникацију и предложених сценарија за пружање широкопојасних телекомуникационих услуга, као једног од техничких решења Универзалног сервиса у Србији.
7. Представљена могућност примене резултата мерења и верификација карактеристика PLC система и предложених сценарија за пружање различитих врста широкопојасних сервиса у процесу доношења регулаторних одлука.
8. Предложено научно истраживање широкопојасног PLC комуникационог система у електроенергетској мрежи ЕПС Дистрибуције, чији ће резултати унапредити квалитет услуга код широкопојасног приступа Интернету преко електродистрибутивних водова у Републици Србији, што ће подржати диверсификацију сервиса ЕПС Дистрибуције на либерализованом тржишту електричне енергије и дати допринос у примени ове алтернативне технологије на телекомуникационом тржишту.

Структура и обим докторске дисертације

Докторска дисертација “Унапређење квалитета услуга код широкопојасног приступа Интернету преко електродистрибутивних водова у Републици Србији” је писана српским ћириличним писмом и садржи 157 страница, 31 слику, и 10 табела. Писани део садржи списак слика, списак табела, резиме, девет поглавља, закључак, и списак од 103 референце.

Поглавља носе наслове:

1. Увод
2. Коришћење PLC технологије по електроенергетским водовима
3. Основни елементи PLC система
4. Топологија електродистрибутивних мрежа ниског напона
5. Сметње које се јављају у средњенапонским и нисконапонским мрежама
6. Комутација саобраћаја у средњенапонској и нисконапонској мрежи
7. Широкопојасне телекомуникационе услуге у приступној PLC мрежи
8. Регулаторни аспект имплементације широкопојасне PLC технологије и система

9. Предлог пројекта имплементације широкопојасног PLC комуникационог система у електроенергетској мрежи ЕПС Дистрибуције у Републици Србији

10. Закључак

У првом поглављу, које је уводно, образложена је актуелност теме истраживања, формулисани су циљ и задаци дате опште карактеристике реализације задатака, основне претпоставке које се односе на предмет истраживања у дисертацији.

Оцењено је да у поређењу са другим комуникационим медијумима комуникација путем електродистрибутивних комуникационих мрежа има велике недостатке у погледу преноса сигнала у широкопојасном пропусном опсегу. Проблеми који се јављају у виду слабљења сигнала, позадинског обојеног шума и сличних импулсних шума представљају врло ограничавајући фактор, те да је и тог разлога потребно је детаљно истражити PLC и многе недостатке који се јављају у њиховој примени у овом виду комуникације, односно да је оотребно детаљно истражити карактеристике PLC канала.

Наглашено је да топологија нисконапонских мрежа у великој мери утиче на могућност коришћења ових мрежа за комуникацију а такође и специфичне карактеристике нисконапонских водова као медијума за пренос сигнала високе фреквенције. У електродистрибутивним водовима изражена је значајна присутност шума који потичу од различитих извора, а такође је врло изражена и велика варијација вредности временске импедансе. Велики број извода (кракова) и огранака на нисконапонској мрежи утиче на појаву рефлексија и ефеката вишеструке пропагације. На квалитет комуникационог сигнала у нисконапонском воду утиче и и слабљење које се јавља услед простирања сигнала по воду, а које се повећава са повећањем фреквенције сигнала и дужине проводника (електродистрибутивног вода).

Такође, неопходно је уважити чињеницу да се у електродистрибутивним мрежама могу наћи и различите врсте водова, (надземни и подземни), као и да се проводници у нисконапонским мрежама се разликују по пресеку, али и врсти материјала од којег се праве, као и по врсти изолације. Из тог разлога је потребно размотрити перформансе преноса PLC сигнала и пружања широкопојасних телекомуникационих сервиса, на мрежи са становишта утицаја наведених врста и типова проводника.

У првом делу другог поглавља је представљен историјат коришћења електроенергетских водова у сврху преноса телекомуникационих сигнала, чија употреба у сврху преноса сигнала за управљање трафостаницама датира још од средине прошлог века. Комуникација је у почетку једносмерна, а касније и двосмерна, што је омогућила и управљање бројилима електричне енергије. Такође, убрзаним развојем полупроводника и електронских компоненти (осамдесетих година прошлог века) у телекомуникацијама се отворио пут за коришћење и кућних напонских

инсталација за потребе телекомуникација. Доступност ове технологије постаје широко распрострањена појавом модема за кућне мреже.

У другом делу истог поглавља размотрени су стандарди у употреби за PLC комуникацију. Код ускопојасних комуникација, актуелни стандарди предвиђају карактеристични опсег од 3 kHz -148,5 kHz (европска комисија за стандардизацију CENELEC стандард, уредба EN 50065 – 1), где су фреквенције расподељене на следећи начин:

- 3 – 9 kHz подопсег за потребе електродистрибутивних компанија,
- 9 – 95 kHz (A band) подопсег за потребе електродистрибутивних компанија,
- 95 – 125 kHz (B band) подопсег за потребе корисника.
- 125 – 140 kHz (C band) подопсег за потребе корисника, CSMA протокол.
- 140 – 148,5 kHz (A band) подопсег за потребе корисника.

CENELEC ограничава амплитуду сигнала у А – опсегу на максимум 5 V (0,75 – 5V, у зависности од типа модулације). Амплитуде сигнала у В, С и D –опсегу су ограничене на 0,63 V. Оваква регулација поставља оштра ограничења у погледу сервиса који се могу реализовати овом технологијом. За захтевне апликације у погледу великих протока, потребан је шири пропусни опсег јер је пропусни опсег пропорционалан брзини преноса. Нове генерације PLC система користе фреквенције од 1,6 – 30 MHz, што је омогућило значајно повећање пропусног опсега и коришћење енергетских водова и за широкопојасне апликације. Велики проблем је интерференција са другим комуникационим системима, којима су већ додељени делови овог фреквентног спектра (радио-дифузија, радиоаматери, ваздухопловна навигација, итд..)

Стандардизацијом је посебно уређен фреквенцијски опсег и од стране америчке федералне комисије где се опсег креће од 10 – 490 kHz (FCC). Такође је стандардизацијом фреквенцијски опсег уређен и од стране Јапанске и Кинеске индустрије и Комисије за стандардизацију где се опсежи крећу од 10 – 450 kHz и од 3 – 500 kHz респективно. Анализирана постојеће ПЛЦ технологије са становишта коришћене модулације и брзина комуникације коју је могуће остварити. Поред ускопојасних технологија: IEC 14908 – 3, IEC 14908 – 3 – 5 и CEA 600.31, анализирани су и широкопојасне PLC технологије, као што су: ITU-T G.hnem, IEEE 1901.2, G3 – PLC и PRIME базирани је на OFDM модулацији.

Електродистрибутивне компаније и произвођачи PLC опреме су у последњих 15 година препознали свој интерес инвестирајући у развој широкопојасне PLC комуникације, која подразумева коришћење фреквенцијског опсега од 1,6 MHz до 30 MHz, што омогућује и реализацију већих брзина преноса података (теоретски до 200 Mbit/s), како би се подржали широкопојасни сервиси као што је VoIP, VoD, као и брзи Интернет. Проширењем свога пословања и у овом смеру, електродистрибутивне компаније диверсификују своје услуге и бивају конкурентнији на либерализованом тржишту електричне енергије.

У трећем делу овог поглавља је представљен развој система за даљинско читавање бројила и управљање потрошњом, са бенефитима које ови системи пружају свим учесницима у електроенергетском сектору. Ови системи су били основа идеје, која је подржана развојем PLC технологије довела до разматрања њеног коришћења за реализацију приступне телекомуникационе равни и пружање широкопојасних телекомуникационих сервиса потрошачима електричне енергије.

Даље је приказан детаљан преглед врста електроенергетских водова који се могу наћи у експлоатацији и њихових карактеристика у погледу пружања телекомуникационих услуга. Наиме, постоје различите врсте електроенергетских проводника којима се реализују, како подземне, тако и надземне мреже. Како нисконапонски водови нису примарно пројектовани за пренос телекомуникационог саобраћаја, те и саме њихове конструкцијске и техничке карактеристике нису оптималне за пренос ове врсте сигнала, свака врста проводника, као и његова примена у смислу начина реализације вода, дужине, гранања и сл., представља на неки начин јединствен модел BPL канала, са својим специфичним карактеристикама.

Истраживање у трећем поглављу представља преглед елемената PLC система и теоријску анализу карактеристика и утицаја сваког од његових елемената на перформансе PLC комуникације.

С обзиром да топологија електроенергетске мреже значајно утиче на топологију PLC мреже којој се по њој реализује, у четвртном поглављу је представљен приказ различитих топологија електродистрибутивних мрежа ниског напона, кроз опис организације PLC приступних мрежа и представљена методологија избора оптималног места за инсталацију PLC базне станице на мрежи, сегментирања PLC мреже за приступ, као и случајеви у којима је неопходно коришћење регенератора PLC сигнала и гејтвеја у PLC мрежи.

На електроенергетској мрежи се јавља значајан број различитих шумова који утичу на PLC, односно BPL комуникацију. У петом поглављу су идентификоване и истражене врсте сметњи које се јављају у нисконапонским, али и средњенапонским мрежама. Такође, у оквиру овог поглавља анализирани су и модулационе технике које су нашле примену у PLC системима, свака са својим предностима и недостацима, а резултат истраживања је предлог OFDM модулације као оптималне модулације за PLC комуникацију.

Поред модулационих техника, било је неопходно анализирати технике комутације телекомуникационог саобраћаја у оквиру PLC система, као и истражити алгоритам ефикасног MAC протокола за примену у приступној PLC мрежи. Резултати су представљени у шестом поглављу. Наиме, сваки од конвенционалних MAC протокола има своје предности и недостатке за поуздану примену у PLC системима, те је за реализацију предложен својеврсни концепт хибридног MAC протокола који би био прикладан за примену у PLC мрежи уважавајући могуће сценарије захтева за

доделом капацитета и приступа PLC мрежи од стране комуникационих чворова, односно крајњих корисника.

Свака од широкопојасних телекомуникационих услуга које су и циљне услуге за пружање корисницима по приступној широкопојасној PLC мрежи, имају и своје захтеве у погледу квалитета услуге који потребно обезбедити, како би предложена технологија пружања услуге могла бити конкурентна у односу на конвенционалне телекомуникационе технологије. У седмом поглављу су представљене врсте мултимедијалног садржаја који се предвиђају за пренос по приступној широкопојасној PLC мрежи, као и захтеви за квалитетом (QoS) за сваки од мултимедијалних садржаја.

Широкопојасни PLC (*BroadbandPowerLine – BPL*) има своја ограничења, како техничка, која су анализирана и истражена у претходним поглављима, тако и регулаторна. Наиме, BPL комуникација интерферира са другим системима који користе исти фреквенцијски спектар, што је нарочито изражено код надземних водова који се понашају као антене и зраче сигнал у околни простор. Из тог разлога је у осмом поглављу је представљен регулаторни аспект имплементације BPL технологије и система, на глобалном плану, али и кроз регулаторни оквир у Републици Србији.

У деветом поглављу, је предложено конкретно пројектно истраживање за идентификацију показатеља који би били основа за верификацију примењивости BPL технологије за реализацију приступне телекомуникационе равни и пружање широкопојасних сервиса крајњим корисницима у Републици Србији.

На крају рада су закључак и списак коришћене литературе.

ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ И АУТОРОВИ ДОПРИНОСИ

Комисија закључује да докторска дисертација Игора Вујичића, магистра техничких наука има све квалитете истраживачког рада, да садржи оригиналне научне резултате и доприносе у анализи врста и типова нисконапонске електродистрибутивне мреже и њених елемената, примене широкопојасне PLC технологије на таквим мрежама, као и могућности унапређења квалитета пружања Интернет и осталих *Triple-Play* услуга крајњим корисницима, акоји су у предњем делу извештаја образложени. Основни резултати теоријских и практичних истраживања у дисертацији свде се на :

- показано је да врсте електродистрибутивних водова и њихове специфичне карактеристике директно утичу на перформансе PLC комуникације која се одвија по њима, и на који начин утичу на комуникацију.

- идентификоване су специфичне врсте шума на електродистрибутивној мрежи, и показано на који начин они утичу на перформансе комуникације на PLC мрежи.
- показано је да како топологија електродистрибутивне мреже утиче на топологију ПЛЦ мреже.
- формулисана је методологија избора оптималног места за инсталацију PLC базне станице на мрежи, сегментирања PLC мреже за приступ, као и случајеви у којима је неопходно коришћење регенератора PLC сигнала и гејтвеја у PLC мрежи.
- идентификована је OFDM као оптимална модулација и техника преноса телекомуникационог сигнала по електродистрибутивној мрежи
- формулисан је и предложен својеврсни концепт хибридног MAC протокола који би био прикладан за примену у PLC мрежи уважавајући могуће сценарије захтева за доделом капацитета и приступа PLC мрежи од стране комуникационих чворова, односно крајњих корисника.
- идентификована је оптимална техника вишеструког приступа на ПЛЦ каналу која би била оптимална са становишта истражене природе и алгоритама приступања корисника преносном медијуму
- детаљно су истражени и описани захтеви у погледу квалитета сервиса (QoS) за широкопојасне телекомуникационе сервисе који су таргетиране за пружање у PLC приступној мрежи
- идентификовани су регулаторни изазови који се постављају пред комерцијализацију широкопојасне PLC комуникације
- у истраживачком поступку развијен је специфициран предлог научног и пројектног истраживања широкопојасног PLC комуникационог система у електроенергетској мрежи ЕПС Дистрибуције, чији ће резултати истраживања унапредити квалитет услуга код широкопојасног приступа Интернету преко електродистрибутивних водова

Већи део изложених резултата дисертације је публикован у часописима и конференцијама међународног значаја [1, 6, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21] .

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

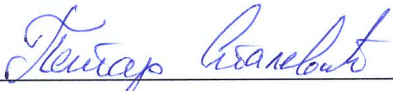
Кандидат Игор Вујичић, магистар техничких наука, испуњава све потребне услове који се захтевају Законом о високом образовању и Статутом Универзитета Сингидунум у Београду, за одбрану докторске дисертације. Урађена докторска дисертација испуњава све потребне формалне и суштинске услове који се захтевају Законом о високом образовању и Статутом Универзитета Сингидунум у Београду.

Добијени и публиковани резултати истраживања су од значаја са научног становишта јер представљају нови приступ у квалитета услуга код широкопојасног приступа Интернету преко електродистрибутивних водова. Резултати су публиковани у међународним часописима и научним скуповима у земљи и иностранству.

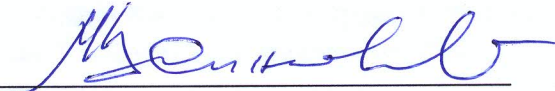
С обзиром на актуелност проблематике која је обрађена и остварене резултате, чланови Комисије предлажу Већу департмана за Последипломске студије Универзитета Сингидунум, да прихвати оцену комисије о писаном делу дисертације под насловом “ Унапређење квалитета услуга код широкопојасног приступа Интернету преко електродистрибутивних водова у Републици Србији“, и да кандидату Игору Вујичићу одобри усмену одбрану.

У Београду, Април 2018. године


Чланови комисије

1. 

Проф. др Петар Спалевић, редовни професор, Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, Факултет Техничких наука и Универзитет Сингидунум Београд, Технички факултет.

2. 

Проф. др Младен Веиновић, редовни професор, Универзитет Сингидунум, Факултет за информатику и рачунарство.

3. 

Проф. др Стефан Панић, редовни професор, Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, Природно-математички факултет.