

ТРИБИНА БИБЛИОТЕКЕ САНУ

ГОДИНА VII

БРОЈ 7

SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

THE SASA LIBRARY FORUM

YEAR VII
VOLUME 7

Accepted on December 25th 2018, at the 10th meeting of the SASA
Department of Language and Literature

Editor-in-chief
academician
MIRO VUKSANOVIĆ

BELGRADE
2019

ISSN 2335-0121

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

ТРИБИНА БИБЛИОТЕКЕ САНУ

ГОДИНА VII

БРОЈ 7

Примљено на X скупу Одељења језика и књижевности
од 25. децембра 2018. године

Уредник
академик
МИРО ВУКСАНОВИЋ

БЕОГРАД
2019

© Српска академија наука и уметности, 2019

Трибина Библиотеке САНУ основана је да приказује јавности нове књиге чланова САНУ, нова издања САНУ и њених института, из свих области наука и уметности. Први уредник Трибине био је академик Никша Стипчевић, управник Библиотеке САНУ од 1991. до 2011. године. Од октобра 2011. године уредник Трибине је академик Миро Вуксановић, управник Библиотеке САНУ.

Годишњак *Трибина Библиотеке САНУ* покренут је 2013. године. У првом броју донет је целовит преглед приказаних књига у Салону САНУ од 1991. до јуна 2011. године, а потом, у хронолошком низу, текстови казани на Трибини од новембра 2011. до краја 2012. године. У другом броју штампани су текстови са Трибине из 2013. године. У трећем броју објављени су текстови са Трибине из 2014. године. У четвртм броју су текстови са Трибине из 2015. године. У петом броју су текстови са Трибине из 2016. године. У шестом броју су текстови са Трибине из 2017. године. У седмом броју су текстови са Трибине из 2018. године.

Прилози се објављују без измена. Дати су наслови где их није било на саопштењима.

ТРИБИНА БИБЛИОТЕКЕ САНУ
6. II 2018 – 18. XII 2018.

Уредник
академик Миро Вуксановић

Стручна сарадница
Биљана Јоцић

САДРЖАЈ

<i>Српски молићвеник. Сјоменица Милану Решетару : 1512–1942–2012 / уредници Јасмина Грковић-Мејмор, Виктор Савић</i>	<i>11</i>
<i>Чудојворна икона у Византији / Бојан Миљковић ; уредник Љубомир Максимовић</i>	<i>27</i>
<i>Зборник радова Визанџолошкој инстџијутџа. Књ. 53 / уредници Љубомир Максимовић, Бојана Крсмановић</i>	<i>27</i>
<i>Миранџи у Европи 21. века : зборник радова са научној скуџа одржаној 5–6 маја 2017. / уредник Тибор Варади = <i>Migrants in 21st century Europe : proceedings of the international conference held on 5–6 May 2017 / editor Tibor Várady</i></i>	<i>41</i>
<i>Сџановање Рома у Србији : сџање и изазови / уредници Тибор Варади, Злаџа Вуксановић-Маџура</i>	<i>41</i>
<i>Живој и дело српских научника. Књ. 11–15 / уредник Владан Д. Ђорђевић</i>	<i>55</i>
<i>Lives and work of the Serbian scientists : [book of abstracts] / editor Vladan D. Đorđević</i>	<i>55</i>
<i>Криџичко издање дела Иве Андрића. Коло 1, књ. 1–5 / уредник Зориџа Несџоровић</i>	<i>79</i>
<i>Помени давних сеоба : знамења српске џовеснице / Динко Давидов</i>	<i>97</i>

Слободан Јовановић : теорија / Борис Милосављевић ; уредник Душан Т. Бајиковић	105
Даворин Јенко : (1835–1914) : прилози за културу сећања / уредник Капарина Томашевић	121
Јосип Славенски : (1896–1955) : поводом 120. годишнице рођења композиitora / уредница Ивана Мечић	121
Дан Библиотеке САНУ посвећен Алекси Шантићу (1868–1924–2018)	139
Сиси и људи : приче из адвокатске архиве / Тибор Варади	159
Пуи у јуче : приче из адвокатске архиве / Тибор Варади	159
Глас одељења историјских наука САНУ : (посвећен академику Милораду Екмечићу) / уредник Михаило Војводић . . .	177
Grid-side converters control and design : interfacing between the AC grid and renewable power sources / Slobodan N. Vukosavić	185
Речник српскохрватској књижевној и народној језика. Књ. 20, Пејојодан – јојдео / [уредници Даринка Горјан Премк ... и др.]	201
Хиландарски зборник. Књ. 14 / уредник Мирјана Живојиновић	217
Косовско-метохијски зборник. 7 / уредник Михаило Војводић	217
Словенска терминологија данас / уредници Предрај Пиер, Владан Јовановић	233
Еколошки и економски значај фауне Србије : зборник радова са научној скуја одржаној 17. новембра 2016. / уредник Рамила Пејановић	251
Култура, основа државној и националној идентитетја : зборник радова са научној скуја одржаној 24. и 25. новембра 2016. године / уредник Александар Косић	269

<i>Економија : запоуленоси и рад у Србији у 21. веку : зборник радова са симпозијума одржаног 4. и 5. децембра 2017. / уредник Александар Косић</i>	269
<i>Именик аутора, уредника и говорника</i>	287

Grid-side converters control and design : interfacing between the AC grid and renewable power sources / Slobodan N. Vukosavić. – New York : Springer, 2018

Говорили: академик Дејан Б. Поповић
академик Зоран Љ. Петровић
дописни члан САНУ Слободан Н. Вукосавић

У Београду, уторак 9. октобар у 13 часова

УПРАВЉАЊЕ МРЕЖНИМ ПРЕТВАРАЧИМА

Допустите да на почетку дванаесте овогодишње Трибине Библиотеке САНУ кажем три напомене.

Прво, имам посебно поштовање према свима који су завршили студије електротехнике, нарочито према њиховим професорима, јер сам у своје доба као гимназијалац који воли математику видео колико је потребно напора и рада да би студент добио повољне оцене код Митриновића, Раковића, Фемпла, Ранојевића и осталих.

Друго, на овом месту ретко приказујемо књиге из природних наука. Разлог је једноставан. Има их мало. Можда то ствара и начин бодовања, јер се више и бодова и цитата добија за радове који су објављени у часописима, највише у оним који имају међународни значај и утицај. Ово говорим као објашњење, а не као било какав предлог за размишљање. Има ко о томе.

Треће, и главно, са задовољством саопштавам да ћемо данас приказати књигу дописног члана САНУ и редовног професора Електротехничког факултета у Београду Слободана Вукосавића. Књигу је

објавио Спрингер, у Њујорку, на енглеском језику, а њен наслов на српском је *Управљање мрежним претварачима*. О књизи ће говорити академик Дејан Поповић, академик Зоран Љ. Петровић и аутор.

(Реч уредника)

М. В.

Дејан Б. Поповић

КАКО ДОЖИВЉАВАМ КЊИГУ *GRID-SIDE CONVERTERS CONTROL AND DESIGN*

Професор Слободан Вукосавић, дописни члан САНУ, изузетан је човек са многим талентима и интересима. Посветио је пажњу правим питањима и то у правом тренутку и тако идеје претворио у иновације, а таленте у вештине и постао стожер науке у нашој средини и свету.

Резултати научног рада који нису на време пренети стручној заједници и колегама, студентима, а наравно и широј заједници не стају, или тачније не постоје. Публиковање научних радова у часописима који имају рецензију стручних колега је узбудљиво јер се у тим радовима проверавају нове идеје и нове методе. Но, публиковање уџбеника у области која је у великој мери везана за технологије је прави изазов јер књига остаје, а критичари чекају!

Колега Вукосавић се одлучио да уложи енергију и припреми уџбеник *Grid-Side Converters Control and Design*, а тај наслов је он превео у „Управљање мрежним претварачима“. У уводу Вукосавић каже да је уџбеник написан тако да даје потпуну слику, и не захтева предзнања и татора да би се разумело излагање. Истовремено, као што је и за очекивање, овај уџбеник је идеалан извор информација за друге инжењере који раде у области енергетске електронике и енергетских система. Уџбеник свакако има и елементе који га сврставају у групу за коју се користи термин *reference book*. Уџбеник је део серије Енергетска електроника и енергетски системи коју публикује „Springer“. Објашњење наслова или боље рећи садржаја је „Interfacing Between the AC Grid and Renewable Power Sources“, што не може да се преведе на српски језик у разумљивом облику. Књига на 266 страна, у 8 глава, са референцама на крају сваке главе, глобалним референцама на крају и библиографијом која је кратка, јасно указује на уџбенички приступ који је одабрао колега Вукосавић. Тренутак у којем је књига објављена припада периоду рада Академијског одбора САНУ за енер-

гетику коју води колега Вукосавић. Основни правци рада у области енергетике које Одбора препоручује су:

- прелазак на нискоугљеничну енергетику и ослањање на обновљиве изворе електричне енергије;
- развој „микромрежа“, тј. група потрошача које користе производњу и акумулацију у локалу;
- груписање потрошача у микромреже које минимално зависе од глобалне мреже;
- развој стратегије која се заснива на идеји о потрошњи у периодима у којима енергије има и јефтина је;
- *demand response*, тј. управљање потрошњом засновано на аутоматизованом склапању уговора између потрошача и произвођача; максимална примена нових резултата у домену ИТ, посебно у применама *V2G* технологије, *spot-pricing*, *block chain* техника, итд.

Ове промене у систему производње, дистрибуције и потрошње су омогућене новим ИТ технологијама, али не постоји довољно развијена законска регулатива да би процес био сигуран и текао без вртлога.

Ове напомене су се нашле у мом виђењу књиге која није насловљена овим питањима али даје одговоре, а ти одговори су кључ ка реализацијама које су неминовност енергетске транзиције. Истакао бих да напредак ИТ технологија који карактерише четврту индустријску револуцију (Индустрија 4.0) у великој мери зависи од мрежних претварача који су основна тема књиге.

Моје виђење садржаја књиге не може да буде боље од оног који је колега Вукосавић написао у предговору. Но, после разговора са аутором и уз његове сугестије могуће је било формулисати главне поруке књиге-уџбеника: електронски управљани енергетски претварачи су све више заступљени у електроенергетском систему и представљају градивни елемент обновљивих извора, контролисаних потрошача, јединица за акумулацију и микромрежа. Они укључују распрострањење коришћење једносмерних струја у преносу, дистрибуцији и нисконапонском разводу у индустрији, комерцијалном и резиденцијалном сектору, интеграцију енергетских и напредних комуникационих мрежа које омогућују даљинско управљање и надзор, веће ослањање на дистрибуирано генерисање и акумулацију. Посебна новина је увођење нове категорије која се класификује као *on-line* уговарање енергетских трансакција раду повећања користи за обе уговорене стране (што често није случај). Рад на истраживању, пројектовању и одржавању електроенергетског система са великим бројем електронски управљаних актера и са дистрибуираним рачунарским ресурсима

захтева искуства, сазнања и вештине у областима енергетске електронике; прекидачких алгоритама; аквизиције сигнала у условима шума који стварају полупроводнички прекидачи снаге; пројектовања дигиталних регулатора струје, активне и реактивне снаге; пројектовања алгоритама за апсорпцију мрежних хармоника и паразитних једносмерних струја; пројектовање алгоритама за синхронизацију мрежних претварача и алгоритама за електронски подржано опонашање динамике синхроних генератора.

Уџбеник циља да оспособи студенте да пројектују енергетске претвараче и управљају њима водећи рачуна да су они есенција интелигентних мрежа и енергетских система за производњу, пренос, дистрибуцију и коришћење електричне енергије. Квалитет уџбеника је на високом нивоу, јер су проблеми дати кроз питања и одговоре уз добра објашњења који је метод примењен да би се дошло до одговора што има одличан дидактички ефекат у процесу студирања. Праћење материје у уџбенику свакако захтева знања стечена на курсевима математике, физике, основних предмета из енергетске електронике, система и сигнала, аутоматског управљања и принципа енергетског инжењерства. Према очекивању аутора овакав начин писања је важан елемент у развоју вештина за наредне фазе учења и комуникација са колегама са циљем оптималног решавања задатака које постављају савремена енергетика и развој друштва.

Мишљење о књизи мора да укључи и резиме изложеног материјала. Основни материјал се односи на енергетске претвараче и компоненте и системе у домену енергетске електронике које су градивни елементи савремених електроенергетских мрежа и система. Књига показује да транзиција у енергетици укључује и замену конвенционалних генератора и трансформатора савременим енергетским претварачима, у којима се користе полупроводници. Једна од важних тема су топологије енергетских претварача и проблеми управљања претварачима у оквиру мреже. Размотрени су енергетски претварачи у дистрибуцији, преносу, микро-мрежама, као и претварачи на страни потрошача у стамбеном, комерцијалном и индустријском сектору. Сви ови елементи су третирани на начин који дефинише правилне смернице у областима пројектовања паметних мрежа, обновљивих извора и акумулације енергије и енергетске ефикасности. У књизи је формулисан конзистентан приступ анализи статичких и динамичких карактеристика мрежних претварача за повезивање извора, потрошача, сабирница и јединица за акумулацију; сачињене су образложене процедуре за пројектовање структуре управљачких система и указано на смернице за подешавање параметара и ограничења; анализирани су

ефекти електронски контролисаних извора и терета на мрежу и сагледан утицај који има замена конвенционалних синхроних генератора обновљивим изворима, који се повезују на мрежу путем електронски управљаних енергетских претварача. Ослањајући се на расположиве податке, дата је процена динамике замене синхроних генератора, трансформатора и пасивних потрошача електронски контролисаним изворима и потрошачима; као и процена утицаја наведене транзиције на механизме и системе за управљање и заштиту.

Пре коначне похвале уџбенику експлицитно бих навео низ питања на које је аутор дао одговоре и сугестије како да се дође до одговора што је од значаја и интереса за студенте завршних година на школама на којима се учи инжењерство и инжењере који раде у области енергетике:

- Анализа процеса претварања енергије унутар електронски контролисаних мрежних претварача на страни извора, потрошача и акумулатора енергије.
- Представљање основних техника прекидачког управљања у мрежним претварачима са већим бројем напонских нивоа (*multilevel*) као и мрежним претварачима за високи напон са већим бројем ћелија (*multicell*) уз проблеме електромагнетских сметњи и напрезања материјала до којих долази услед прекидачке акције.
- Мерење снага, струја и напона у мрежним претварачима. Давачи, обрада сигнала, процес одабирања и дигиталне обраде у условима значајног шума и сметњи проузрокованих прекидачком акцијом полупроводничких прекидача.
- Пројектовање регулатора струје, активне и реактивне снаге у стационарном и синхронном координатном систему. Коришћење величина dq -координатног система у управљању активном и реактивном снагом.
- Пројектовање мрежних инвертора са резонантним регулаторима струје. Управљање излазном импедансом и примена концепта локалне повратне спреге која увећава привидну вредност излазне отпорности.
- Анализа квалитета електричне енергије и проучавање утицаја структуре и параметара регулатора у мрежном претварачима. Пројектовање адаптивних дејстава која доприносе апсорпцији нижих хармоника мрежних напона и струја, апсорпцији несиметричних компоненти и смањењу краткотрајних девијација напона и учестаности.
- Анализа утицаја промена у топологији мреже и прилагођење

структуре и параметара. Векторска маргина у мрежним претварачима, прилагођавање параметара ради увећања отпорности на промене параметара система уз очување брзине одзива, пропусног опсега и времена смирења.

- Овладавање принципима управљања напоном у једносмерном међуколу мрежног претварача. Аналогија са механичким подсистемом синхроног генератора. Конципирање електронског управљања које опонаша синхроне генераторе и недостаци. Спрега управљачког система за управљање међуколом са подсистемом за синхронизацију.
- Анализа утицаја уређаја за синхронизацију мрежних претварача на прелазне појаве у електричној мрежи са електронски контролисаним изворима и смернице за пројектовање управљачких дејстава за стабилизацију.
- Анализа проблема инјекције паразитних једносмерних струја и напона у мрежу са наизменичним струјама услед несавршености мрежних претварача и геомагнетски индукованих струја. Студија осетљивости енергетских трансформатора у преносној и дистрибутивној мрежи. Пројектовање давача за детекције паразитних компоненти са тачношћу бољом од 1 *ppm*. Пројектовање управљачких структура за апсорпцију паразитних једносмерних струја и напона у мрежи од стране мрежних претварача који преузимају улогу активног филтра.
- Развој електронски управљаних мрежних претварача који преузимају улогу традиционалних дистрибутивних трансформатора.
- Развој мрежних претварача који врше функцију активног филтера за апсорпцију несиметричних компоненти и мрежних хармоника нижег реда.
- Развој мрежних претварача који доприносе пригушењу електромеханичких поремећаја који се простиру у електроенергетским мрежама. Умањење рефлексije таласа на крајевима мреже краткотрајним додавањем снаге на ивицама мреже, одређеним у функцији карактеристичне импедансе електромеханичког таласа.

На крају, мислим да је уџбеник добродошао, да је написан јасно, читљиво, да су илустрације одличне и да оно што је најважније отвара простор за размишљање који ће омогућити даљи развој ове узбудљиве области која комбинује нове технологије и знања са циљем укупног побољшања наших живота.

Слободан Н. Вукосавић

ЕЛЕКТРОНСКА ЕНЕРГЕТИКА

Енергетика је све више у жижи интересовања научне и стручне јавности, организација и покрета, политике и становништва. Интерес за проблеме енергетике расте услед смањења залиха фосилних горива, раста светске популације, климатских промена и еколошких проблема. Избори и одлуке везане за енергетику имају значајан утицај на животну средину, индустрију, независност појединих држава и животни стандард њиховог становништва. Промене у енергетици имају значајне економске, политичке и социјалне последице које се морају узимати у обзир. У погледу праваца енергетске транзиције и очекиваних резултата постоји сагласност већине енергетичара. Очекује се да средином 21. века удео електричне енергије у укупној потрошњи енергије буде четворостручен, коришћење фосилних горива ће бити значајно умањено, док ће се велики део електричне енергије добијати из обновљивих извора. Електроенергетски систем већ сад доживљава значајне промене. Ефикасна интеграција обновљивих извора захтева значајан пораст капацитета за акумулацију енергије; у порасту је број активних, електронски контролисаних потрошача; централизоване изворе међају дистрибуирани; док се у мрежама за напајање и преносним мрежама све чешће користе једносмерне струје. Уз одговарајуће комуникације и управљање, електричне мреже са акумулацијом и активном потрошњом омогућују обављање нових енергетских трансакција током којих се врши размена енергије између дистрибуираних извора, акумулатора и активних потрошача. Нове могућности за размену енергије омогућују да се одложе или избегну улагања у нова енергетска постројења и капацитете, што даје разлога да се новим енергетским трансакцијама припише улога *виријуелних* капацитета. Локална производња и акумулација енергије увећава аутономију потрошачких група и ствара претпоставке да се преузимање енергије из мреже одложи и обави у интервалима ниже цене и повољнијих техничких услова. Потрошаче је могуће мотивисати да енергију преузимају у интервалима када је расположива, уместо да то чине на досадашњи начин, кад год им је потребна. Наведене предности и назначени правци развоја темеље се на програмабилним енергетским трансакцијама у којима кључну улогу имају мрежни претварачи енергије, уређаји енергетске електронике на којима се темељи претварање енергије у обновљивим изворима, у постројењима за акумулацију, у активним потрошачима и другим направама и постројењима савре-

мених мрежа. Присуство и значај електронски управљаних мрежних претварача је разлог да предметна област добије име *електронска енергетика*. Књига *Grid-Side Converters Control and Design* бави се проблемима пројектовања и управљања мрежним претварачима. Настала је из жеље аутора да обједини своја досадашња примењена истраживања, да прикаже нова решења која сматра значајним за развој електронске енергетике и да понуди допринос у области у којој још увек нема одговарајуће литературе.

Мрежни претварачи

Књига *Grid-Side Converters Control and Design* публикована је у оквиру сарадње са издавачком кућом *Springer* и бави се пројектовањем мрежних претварача и синтезом одговарајућих закона управљања. Мрежни претварачи су градивни елементи савремених електроенергетских мрежа за производњу, пренос и дистрибуцију енергије. Рад претварача се ослања на прекидачке топологије са полупроводничким направама и захтева специфична решења дигиталног управљања. Међу првим практичним применама мрежних претварача је и претварање електричне енергије добијене из обновљивих извора у облик који се може предати мрежи са наизменичним струјама. Интерес за мрежне претвараче и њихов развој поспешен је потребом да се увећа удео обновљивих извора у производњи електричне енергије, као и променама у електроенергетици познатим под именом *енергетска транзиција*, променама које убрзано мењају изглед и начин рада електроенергетских система. Размена енергије између обновљивих извора, активних потрошача и других судеоника савремених мрежа обавља се путем мрежних претварача, уређаја енергетске електронике чијем је пројектовању и управљању посвећена књига *Grid-Side Converters Control and Design*.

Промене у електроенергетском систему није могуће избећи због смањења резерви угља, гаса и нафте; због негативног утицаја сагоревања фосилних горива на климатске промене, непрекидног увећања потрошње електричне енергије и загађења животне средине. Савремени електроенергетски системи се све више ослањају на електране које користе енергију ветра и сунца. Енергија добијена на прикључцима соларних панела одређена је једносмерним струјама, док је енергија коју дају савремени ветрогенератори одређена наизменичним струјама променљиве учестаности. Добијену енергију није могуће предати мрежи на непосредан начин; неопходно је користити претвараче који енергију одређену струјама ветрогенератора или соларних панела претварају у енергију система наизменичних струја које

се предају мрежи и које имају мрежну учестаност. Стога се соларне електране и ветрогенератори повезују са мрежом преко мрежних претварача, уређаја енергетске електронике који садрже елементе за локалну акумулацију енергије и полупроводничке прекидаче. Уз одговарајући алгоритам за управљање полупроводничким прекидачима, наизменичне струје ветрогенератора и једносмерне струје соларних панела претварају се у наизменичне струје мрежне учестаности које се могу предати мрежи. Поред примене у обновљивим изворима, мрежни претварачи се користе и за повезивање свих електронски управљаних извора, потрошача и постројења за акумулацију енергије. Мрежни претварачи се користе и за размену енергије између мрежа са наизменичним струјама и мрежа са једносмерним струјама. Поред традиционалних мрежа са наизменичним струјама, у преносу и дистрибуцији електричне енергије се користе и мреже са једносмерним струјама, па је на местима где се повезују делови мреже са наизменичним струјама и делови мреже са једносмерним струјама неопходно користити претвараче енергије. Наведене промене чине да се на месту трансформатора и синхроних генератора, направа начињених од бабра и гвожђа, све чешће користе уређаји енергетске електронике, чији су градивни елементи полупроводнички прекидачи који садрже силицијум, силицијум-карбид, галијум-нитрид и друге материјале.

Топологије електроенергетских мрежа

Извори електричне енергије традиционалног електроенергетског система су синхрони генератори велике снаге, груписани у великим термоелектранама и хидроелектранама. Поред централизоване производње, савремени електроенергетски систем користи и дистрибуиране изворе, постројења мање снаге која су ближа потрошачима. Потрошачи који имају способност да прилагоде напон мреже својим потребама и чијом је потрошњом могуће управљати познати су као *активни потрошачи*. Сваки активни потрошач садржи и претварач енергије, уређај енергетске електронике које прилагођава напоне и струје потребама потрошача. Потрошачи могу имати и локалну акумулацију енергије¹, што ствара могућност рада током краћих испа-

¹ Очигледан пример потрошача са локалном акумулацијом су пуњачи батерија за електрична возила. Све док возило мирује и док је његова батерија повезана са мрежом преко енергетског претварача (пуњача), постоји могућност пуњења али и привременог пражњења током којег се енергија из батерије враћа мрежи. У краћим интервалима, мрежни оператер може користити пуњаче батерије као изворе, што смањује потребу за градњом нових постројења и ствара значајне уштеде. Енергија преузета из батерије се доцније надокнађује током продуженог интервала пуњења батерије. Надокнада за уступање ресурса могу бити повољнији услови које мрежни

да мрежног напона, омогућује усмеравање акумулиране електричне енергије натраг у мрежу, преузимање енергије из локалних обновљивих извора и омогућује мноштво других енергетских трансакција.

Премда су промене у електроенергетској мрежи постепене, производња електричне енергије у малим, дистрибуираним изворима је у непрекидном порасту. Расту и капацитети за локалну акумулацију, као и заступљеност активних потрошача са електронском контролом снаге. На месту традиционалне мреже са централизованом производњом, пасивним потрошачима и малом акумулацијом појављује се мрежа са дистрибуираном производњом, дистрибуираном акумулацијом и са активним потрошачима.

Груписање потрошача и микро-мреже

Потрошачи се често групишу у микро-мреже, функционалне целине са значајном аутономијом и са могућношћу да уговарају и предузимају напредне енергетске трансакције. Поред потрошача, типична микро-мрежа садржи и локалне обновљиве изворе, синхроне генераторе мање снаге као и постројења за акумулацију енергије.

Захваљујући електронском управљању активним потрошачима, преузимање електричне енергије је могуће планирати и програмирали тако да се обави у интервалима када су технички услови и цена повољнији. Уз динамичку оптимизацију цене, могуће је утицати на навике потрошача и навести их да преузимају енергију у интервалима када је расположива, уместо да то чине приликом сваког раста потрошње. Локална акумулација и електронско управљање потрошњом омогућују ефикасније коришћење локалних обновљивих извора. У интервалима мале потрошње и ниске цене електричне енергије, енергија сунца и ветра се може акумулисати или усмерити у локалне активне потрошаче. Акумулисана енергија се може предати мрежи у интервалима увећане потрошње и веће цене, као и на захтев који пристиже путем мрежне комуникације. Мрежни оператер може послати такав захтев у случају када неочекивани испад неког од извора наруши равнотежу производње и потрошње енергије. Енергетске трансакције се обављају путем мрежних претварача који усмеравају токове снага и контролишу рад активних потрошача, извора и акумулатора. Мрежни претварачи могу обављати и друге енергетске трансакције између извора, потрошача, микро-мрежа и напојне мреже. Поред енергије, предмет трансакција може бити и уступање ресурса које се уговара на обострану корист (за потрошачку групу и за мрежног опе-

оператер пружа власнику пуњача или возила.

ратера). Уз локалну производњу и акумулацију, мрежни претварачи стварају могућност да потрошачке групе повремено раде као произвођачи електричне енергије. Такве потрошачке групе су познате под називом *prosumer (producer and consumer)*.

Напредне енергетске трансакције

Током рада система долази до сталних промена потрошње, стања у мрежи и производње обновљивих извора, што доводи до промене техничких услова за обављање енергетских трансакција, промене цене енергије и промене надокнаде за ангажовање ресурса. Локални потрошачи груписани у микро-мреже имају специфичне техничке и финансијске интересе да уговоре и обаве енергетске трансакције са оператером мреже, али се параметри жељених трансакција не могу унапред планирати због непрекидних промена техничких услова и цена. Описане промене су разлог да уговарање енергетских трансакција буде организовано у реалном времену (*on-line*), између оператерског и потрошачког рачунара који спроводе аутоматизовани процес уговарања у складу са унапред дефинисаним алгоритмом, циљевима, параметрима и ограничењима. Уговорене трансакције имају последице техничке, финансијске и сигурносне природе, и зато је неопходно да имплементација међу-рачунарског *on-line* уговарања буде заштићена од злонамерног уплитања трећих лица, док резултат уговарања мора оставити трајан, правно ваљан и обострано прихватљив запис. Поменуте трансакције имају позитивне техничке и финансијске ефекте за обе стране. Као пример, уговорено уступање локалних ресурса за акумулацију електричне енергије омогућује да се одложи или избегне градња нових постројења. Међу поменутим локалним ресурсима могу бити и батерије у поседу потрошача или батерије у оквиру микро-мреже. Акумулирана енергије се може повремено уступати мрежи у складу са одговарајућим *on-line* уговором између власника батерије и мрежног оператера. На описани начин се остварује такозвана *виртуелна* акумулација која омогућује мрежном оператеру да акумулира или ангажује енергију и тако оствари равнотежу између укупне производње и укупне потрошње у систему. Слични ефекти се могу постићи одговарајућим програмирањем активних потрошача. Захваљујући виртуелној акумулацији могу се избећи значајна улагања као и технички и еколошки ризици скопчани са градњом нових постројења. Технички и финансијски ефекти напредних енергетских трансакција се у целости ослањају на мрежне претвараче који омогућују размену енергије између савремене мреже, активних потрошача, ресурса за акумулацију и обновљивих извора.

Пренос електричне енергије једносмерним струјама

Поред примена у обновљивим изворима, системима за акумулацију, активним потрошачима и микро-мрежама, претварачи се користе и у оквиру преноса електричне енергије једносмерним струјама, који поседује низ значајних предности. Растојања на којима се пренос наизменичним струјама може остварити на прихватљив начин блиска су једној четвртини таласне дужине електромагнетског таласа који одговара мрежној учестаности. Одговарајућа таласна дужина је блиска 6000 km, тако да је пренос енергије с краја на крај Европе значајно отежан. Потреба за преносом електричне енергије на великим даљинама расте са увећањем производње из обновљивих извора, чија производња зависи од доба дана и локалних временских услова, тако да не може пратити промене снаге блиских потрошача. У току дана може се јавити потреба за преносом енергије соларних електрана са севера Африке до потрошача на северу Европе, док нешто касније може затребати пренос енергије ветрогенератора са севера Европе према југу. Растојања на којима се може остварити прихватљив пренос електричне енергије једносмерним струјама значајно су већа од једне четвртине таласне дужине електромагнетског таласа који одговара мрежној учестаности, и зато се далеководи са једносмерним струјама све чешће користе². Њихово коришћење се суштински ослања на мрежне претвараче. Преносним мрежама и даље преовлађују наизменичне струје, и зато се крајеви сваког далековода са једносмерним струјама морају повезати са остатком система помоћу мрежног претварача који енергију система наизменичних струја и напона претвара у енергију система једносмерних струја и напона.

Утицај мрежних претварача на простирања поремећаја

Примена мрежних претварача доводи до значајних промена у начину рада електричних мрежа и ствара потребу за променом структуре система за управљање и заштиту. Динамичка својства мрежних

² Крајем 19. века није било могуће остварити пренос електричне енергије системом једносмерних струја и напона. Треба напоменути да ефикасан пренос електричне енергије захтева трансформацију релативно ниског напона електричних генератора у висок напон на проводницима далековода. Услови за обављање наведене трансформације стекли су се тек крајем 20. века, када развој полупроводничких прекидача и енергетских претварача омогућује да се оствари довољно висок једносмерни напон на проводницима далековода. Технологије које су биле расположиве крајем 19. века нису пружале могућност жељене трансформације једносмерних напона. С друге стране, на располагању су били енергетски трансформатори који се и данас користе за трансформацију наизменичних напона, и зато се развој електроенергетских мрежа током 20. века ослањао на наизменичне струје.

претварача се значајно разликују од динамичких својстава направа и система у традиционалној електроенергетској мрежи. Услед промена у топологији мреже и увођења електронски контролисаних извора и потрошача, одзиви у мрежи са дистрибуираним параметрима и активним потрошачима се у великој мери разликује од одзива у традиционалној мрежи, у којој је производња централизована а извори пасивни. Брзина простирања поремећаја је значајно увећана, што доводи до рефлексија на ивицама мреже, као и на прелазима између области са различитом расподелом снаге, са другачијим параметрима водова или са другачијом расподелом потрошње и акумулације по јединици површине. Услед увећане брзине простирања, вишеструких рефлексија и изостанка пригушења и инерције коју имају традиционални синхрони генератори, проблеми стабилизације и сузбијања ефеката поремећаја у савременим мрежама траже нове приступе моделовању, пројектовању управљачких структура и подешавању параметара регулације.

Претварачке топологије

Књига се бави материјом за коју још увек не постоји опште-прихваћена терминологија. Наслов књиге *Grid-Side Converters Control and Design* се може превести као „Пројектовање топологија и управљачких структура мрежних претварача“. Топологија претварача одређује начин повезивања полупроводничких прекидача и пасивних L - C компоненти за акумулацију енергије. Мрежни претварачи најчешће имају два спољашња приступа и садрже мрежу полупроводничких прекидача који циклично мењају своја стања. У току једног циклуса смењују се прекидачка стања која омогућују размену енергије између спољашњих приступа претварача и унутрашњих пасивних компоненти. Електрична енергија доведена на један од приступа претварача се током појединих прекидачких стања спроводи и привремено похрањује у пасивним компонентама, махом кондензаторима или калемовима са феромагнетским језгром. Током наредних прекидачких стања енергија се преузима из пасивних компоненти и усмерава према другом приступу претварача. Уз одговарајуће управљање прекидачком мрежом, могуће је претварати енергију система струја и напона доведених на први приступ (пример – једносмерне струје добијене из соларних панела) у енергију струја и напона на другом приступу мрежног претварача (пример – наизменичне струје и напони у трофазној мрежи). Карактеристике мрежног претварача су у значајном мери одређене учесталошћу прекидачких циклуса. Већа прекидачка учестаност даје мања одступања напона и струја од жељене

промене, увећава брзину одзива и омогућује боље сузбијање ефеката поремећаја. С друге стране, увећање прекидачке учестаности доводи до пораста губитака у претварању и увећава електромагнетске сметње. У књизи су дате основе пројектовања топологија мрежних претварача које омогућују да се остваре тражене карактеристике и одзиви уз прихватљиве губитке у претварању енергије. Излагање је прилагођено потребама истраживача који раде у области енергетике и студентима технике на постдипломским студијама. Поред развоја методологије и аналитичког пројектовања оптималних топологија, књига садржи и проблемске задатке, питања и сугестије у погледу приступа решавању практичних проблема пројектовања мрежних претварача.

Управљање мрежним претварачима

Развој напредних решења за управљање енергетским претварачима је у средишту истраживачких напора бројних енергетичара и електроничара. Решавање постојећих проблема је отежано прекидачком природом извршног органа (мреже полупроводничких прекидача), потребом да се генеришу струје и напони који без одступања прате жељене вредности, потребом да се сузбије деловање спољашњих поремећаја као и потребом да се умањи утицај недостатака градивних елемената претварача, мерних система и дигиталних управљачких платформи. У књизи *Grid-Side Converters Control and Design* аутор полази од приступа дигиталном управљању енергетским претварачима који је претходно публиковао у књигама³ и научним часописима⁴⁵, и које је применио и верификовао у оквирима индустријске роботике⁶ и обновљивих извора⁷. Уз примену концепта унутрашњег моде-

³ Slobodan N. Vukosavić, „Digital Control of Electrical Drives“, Springer, New York 10013, USA, 2007, ISBN 978 0-387-25985-7, Library of Congress 2006935130, 352 pages.

⁴ Slobodan N. Vukosavic, Ljiljana S. Peric, “High Precision Active Suppression of DC Bias in AC Grids by Grid Connected Power Converters”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 1, pp. 857-865, Jan. 2017

⁵ Slobodan N. Vukosavic, Ljiljana S. Peric, Emil Levi, “Digital Current Controller with Error-Free Feedback Acquisition and Active Resistance”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 3, pp. 1980-1990, March 2018.

⁶ DBM серија уређаја за дигитално управљање кретањем индустријских робота, 1993, Vickers-Electric

⁷ DW2020 systems for wind energy conversion - (системи за претварање енергије ветра), 2014, MOOG-Components group, <http://www.moog.com/content/dam/moog/literature/MCG/DW2020-eng.pdf>

ла⁸, принципа пасивности⁹, примене векторске маргине у провођењу робусног управљања¹⁰ и уз примену препоручене методологије и поступака могуће је начинити мрежне претвараче чије кључне карактеристике још увек нису премашене и који уклањају бројне препреке у даљем развоју електронске енергетике.

Закључак

Промене у енергетици су подстакнуте растом светске популације, растом потрошње као и утицајем енергетике на промене климе и загађење животне средине. Под именом енергетска транзиција, промене подразумевају прелазак са фосилних горива на обновљиве изворе, промене у топологији електроенергетске мреже, дистрибуирану производњу, значајне капацитете за акумулацију енергије, управљање активним потрошачима и примену дистрибуираног рачунарства у управљању мрежом и уговарању енергетских трансакција. Транзиција подразумева и поделу одговорности за сигурно снабдевање енергијом између мрежног оператера и потрошачких група организованих у микро-мреже, што тражи корените промене у навикама потрошача. Услов за обављање енергетских трансакција у савременим електроенергетским системима су мрежни претварачи, уређаји енергетске електронике без којих није могуће повезати обновљиве изворе, постројења за акумулацију енергије, активне потрошаче, микро-мреже, нити је могуће остварити размену енергије између мрежа са наизменичним и мрежа са једносмерним струјама. Услед значајног ослањања на мрежне претвараче, предметној области се често даје име *електронска енергетика*. Књига *Grid-Side Converters Control and Design* бави се проблемима пројектовања и управљања мрежним претварачима. Поред практичног значаја за инжењере који раде у области енергетике и енергетске електронике, предложена методологија, концепти и практична решења могу подстаћи интерес истраживача

⁸ Приступ синтези управљачких структура где се елементи динамичког понашања објекта управљања и/или спољашњих поремећаја уносе у динамичка својства регулатора; упоредив је са настојањима да се негативна дејства штетних супстанци предупреду узимањем малих количина истих супстанци.

⁹ Приступ управљању сложеним системима, какви су нелинеарни системи. Приступ подразумева дефинисање пасивних подсистема; домена са ограниченом способношћу да енергијом снабдевају остатак система. Издвајање пасивних домена значајно олакшава пројектовање регулатора и очување стабилности.

¹⁰ Управљање које успева да очува стабилност, прихватљив одзив и/или прихватљиве губитке енергије у случајевима где се структура објекта, постројења или система којим се управља мења и где параметри у значајној мери одступају од почетних претпоставки.

и покренути даља промишљања и развој ових значајних области. Књига представља стремљење аутора да обједини своја досадашња примењена истраживања, да предложи нова решења која сматра значајним за развој електронске енергетике и да понуди референтну литературу истраживачима, студентима технике на постдипломским студијама и инжењерима опредељеним за рад у области електронске енергетике.