



ТЕСЛИНИ ИНОВАЦИОНИ ДАНИ
TESLA INNOVATION DAYS

Belgrade, Serbia, June 5 - 6, 2024

ЗБОРНИК АПСТРАКАТА

BOOK OF ABSTRACTS

Nikola Tesla

Организатор | Organizer



ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ НИКОЛА ТЕСЛА АКЦИОНАРСКО ДРУШТВО БЕОГРАД
NIKOLA TESLA INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERING

Покровитељ | Endorsement



Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије
Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia

Спонзори | Sponsors



THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP



**#ЕУ
ЗА ТЕБЕ**

Технички организатор | Technical organizer



IZDAVAČ | PUBLISHED BY

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ НИКОЛА ТЕСЛА АКЦИОНАРСКО ДРУШТВО БЕОГРАД, УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, University of Belgrade
Косте Главинића 8а, 11040 Београд, Србија | Koste Glavinića 8a, 11040 Belgrade, Serbia, PO Box 139
+381 (0)11 39-52-000
+381 (0)11 36-90-823
+381 (0)11 36-90-487
info@ieent.org
<https://www.ieent.org/>

UREDNIK | EDITOR

Др Маја Грбић | Dr. Maja Grbić

TEHNIČKI UREDNIK | TECHNICAL EDITOR

Татјана Југовић-Репајић | Tatjana Jugović-Repajić

ТЕХНИЧКА ПОДРШКА И ДИЗАЈН | TECHNICAL SUPPORT & COVER DESIGN

BBN Congress Management d.o.o.

ШТАМПА | PRINTED BY

ГПЦ Графичко пословни центар д.о.о. Београд

ТИРАЖ | COPIES

Printed in 150 copies

МЕСТО ИЗДАВАЊА | PUBLISHING PLACE

Beograd | Belgrade

ГОДИНА ИЗДАВАЊА | PUBLISHING YEAR

2024

TESLA INNOVATION DAYS – TID 2024

<https://teslini-inovacioni-dani.com/>

DOI: 10.5937/TID24

ISBN 978-86-83349-19-7

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд
621.3(048)

ТЕСЛИНИ иновациони дани (2024 ; Београд)

Зборник апстраката / Теслини иновациони дани, ТИД ; [уредник Маја Грбић] = Book of Abstracts / Tesla Innovation Days, TID, Belgrade, Serbia June 5-6 2024. ; [editor Maja Grbić]. - Belgrade : Универзитет, Електротехнички институт Никола Тесла акционарско друштво Београд : University, Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, 2024 (Београд : ГПЦ Графичко пословни центар). - 67 стр. : илустр. ; 30 cm

Апстракти упоредо на срп. и енгл. језику. - Тираж 150. - Библиографија уз све апстракте.

ISBN 978-86-83349-19-7

а) Електротехника -- Апстракти

COBISS.SR-ID 150603529

ОДБОРИ | COMMITTEES

ПРОГРАМСКИ ОДБОР

Др Драган Ковачевић, научни саветник,
Институт Никола Тесла

Др Маја Грбић, научни сарадник, Институт
Никола Тесла

Зоран Манасијевић, Институт Никола Тесла

Зоран Ћирић, Институт Никола Тесла

Александар Павловић, Институт Никола Тесла

Мр Срђан Милосављевић, Институт Никола
Тесла

Др Жарко Јанда, виши научни сарадник,
Институт Никола Тесла

Проф. др Владимир Терзија, Newcastle
University, UK

Проф. др Јовица Милановић, The University of
Manchester, UK

Др Милан Продановић, IMDEA Energy Institute,
Spain

Prof. dr Aldo Canova, Politecnico di Torino, Italy

Prof. dr Lorenzo Peretto, University of Bologna,
Italy

Ненад Узелац, G&W Electric Co., USA

Др Јелена Поноћко, SP Energy Networks, UK

Проф. др Јован Микуловић, редовни
професор, Електротехнички факултет

Небојша Петровић, АД „Електромрежа
Србије”, CIGRE Србија

Др Владимир Шиљкут, научни сарадник, АД
„Електропривреда Србије”

Мр Душан Вукотић, Електродистрибуција
Србије д.о.о. Београд

Др Никола Куљача, CIGRE Crna Gora, Црна
Гора

Мићо Тодоровић, ЈЗУ Институт за јавно
здравство Републике Српске, Босна и
Херцеговина

ОРГАНИЗАЦИОНИ ОДБОР

Александар Павловић, Институт Никола Тесла

Саша Миловановић, Институт Никола Тесла

Бранка Ковачевић, Институт Никола Тесла

Марјан Стојковић, Институт Никола Тесла

Марина Иванковић, Институт Никола Тесла

PROGRAM COMMITTEE

Dr. Dragan Kovačević, Principal Research Fellow,
Nikola Tesla Institute

Dr. Maja Grbić, Research Associate, Nikola Tesla
Institute

Zoran Manasijević, Nikola Tesla Institute

Zoran Ćirić, Nikola Tesla Institute

Aleksandar Pavlović, Nikola Tesla Institute

MSc. Srđan Milosavljević, Nikola Tesla Institute

Dr. Žarko Janda, Senior Research Associate, Nikola
Tesla Institute

Prof. Dr. Vladimir Terzija, Newcastle University, UK

Prof. Dr. Jovica Milanović, The University of
Manchester, UK

Dr. Milan Prodanović, IMDEA Energy Institute,
Spain

Prof. Dr. Aldo Canova, Politecnico di Torino, Italy

Prof. Dr. Lorenzo Peretto, University of Bologna,
Italy

Nenad Uzelac, G&W Electric Co., USA

Dr. Jelena Ponoćko, SP Energy Networks, UK

Prof. Dr. Jovan Mikulović, School of Electrical
Engineering, University of Belgrade

Nebojša Petrović, JSC Elektromreža Srbije, CIGRE
Serbia

Dr. Vladimir Šiljkut, Electric Power Industry of
Serbia

MSc. Dušan Vukotić, Electric Power Distribution
Company of Serbia

Dr. Nikola Kuljača, CIGRE Montenegro,
Montenegro

Mičo Todorović, Public Health Institute of the
Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

ORGANIZATION COMMITTEE

Aleksandar Pavlović, Nikola Tesla Institute

Saša Milovanović, Nikola Tesla Institute

Branka Kovačević, Nikola Tesla Institute

Marjan Stojković, Nikola Tesla Institute

Marina Ivanković, Nikola Tesla Institute



САДРЖАЈ | CONTENT

ПРЕДАВАЊА ПО ПОЗИВУ | INVITED LECTURES 8

Управљање ризиком код будуће електрификације великих размера 8

Проф. др Младен Кезуновић, Универзитет А&М, Тексас, САД 8

Risk Management of Future Large-Scale Electrification..... 9

Prof. dr. Mladen Kezunović, Texas A&M University, USA 9

Дигитализација – револуција која води ка будућим економијама са ниским емисијама угљеника 10

Проф. др Владимир Терзија, Универзитет у Њукаслу, Уједињено Краљевство..... 10

Digitalization – a Revolution Leading to Future Low-Carbon Economies 11

Prof. dr. Vladimir Terzija, Newcastle University, United Kingdom 11

Електрична и магнетна поља у близини преносне мреже и високонапонских постројења једносмерне струје 12

Проф. др Aldo Canova, Politecnico di Torino, Италија 12

Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of Transmission Network and HVDC Plants... 14

Prof. dr. Aldo Canova, Politecnico di Torino, Italy 14

Дизајн регулатора за пригушивање осцилација снаге за електране обновљивих извора енергије 16

Др Милан Продановић, IMDEA Energy Institute, Шпанија 16

Design of Power Oscillation Damping Controllers for Renewable Power Plants 18

Dr. Milan Prodanović, IMDEA Energy Institute, Spain..... 18

Оснаживање мреже: иновације у разводној опреми за енергетску транзицију 20

Ненад Узелац, *G&W Electric Co*, САД..... 20

Empowering the Grid: Innovations in Switching Equipment for Energy Transition 21

Nenad Uzelac, G&W Electric Co, USA..... 21

Холистички приступ моделирању и анализи одрживих електроенергетских система..... 22

Проф. др Јовица Милановић, Универзитет у Манчестеру, УК 22

Holistic Approach to Modelling and Analysis of Sustainable Power Systems 24

Prof. dr. Jovica Milanović, University of Manchester, UK..... 24

Резонансе и интеракције у електричним мрежама – растући изазови	26
Мр Горан Дробњак, GE Vernova Consulting Services, Немачка	26
Resonances and Interactions in Electrical Networks – Growing Challenges.....	27
MSc. Goran Drobnyak, GE Vernova Consulting Services, Germany	27
ПРЕДАВАЊА LECTURES	28
Анализа утицаја прикључења соларне електране на систем помоћу квази-динамичког прорачуна	28
Сара Стаматовић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија.....	28
Analysis of the Connection of the Solar Power Plant to the System Using Quasi-Dynamic Calculation.....	30
Sara Stamatović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia	30
Формирање симулационог модела за прорачун еквивалентне импедансе преносне мреже	32
Милица Дилпарић Цакић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија.....	32
Simulation Model for the Calculation of the Equivalent Impedance of the Transmission Network	34
Milica Dilparic Cakić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia	34
Једна методологија за оптималну компензацију реактивне енергије на конзуму ТС 110/х kV	36
Бранка Ковачевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија	36
One Methodology for Optimal Compensation of Reactive Energy of a TS 110/x kV Consumption.....	38
Branka Kovačević, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia.....	38
Прогноза напонско реактивних стања у оквиру природне напонске зоне	40
Мирослав Драгићевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија.....	40
Forecast of Voltage-Reactive States within the Natural Voltage Zone.....	41
Miroslav Dragicević, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia	41
Интеграција ОИЕ, батеријских складишта енергије и регулисане потрошње у виртуелну електрану једне производно потрошачке области	42
Јелена Павловић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија.....	42
Integration of Renewable Energy Sources, Battery Energy Storage and Controlled Consumption into the Virtual Power Plant of one Production-Consumption Zone	43
Jelena Pavlović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia	43
ИНТРОЛ-22 Аутоматски регулатор напона синхроног генератора.....	44
Др Ђорђе Стојић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија	44
INTROL-22 Synchronous Generator Automatic Voltage Regulator	45

Dr. Djordje Stojić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia.....	45
Нивои електромагнетских поља у околини преносних електроенергетских водова и постројења и мере заштите	46
Др Маја Грбић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија	46
Levels of Electromagnetic Fields in the Vicinity of Transmission Power Lines and Facilities and Mitigation Techniques	48
Dr. Maja Grbić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia.....	48
Високотензионски каблови – носиоци енергије градова будућности	50
Мр Нинослав Симић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија	50
High-Voltage Cables – Energy Transfer Carriers of the Future Cities.....	52
MSc. Ninoslav Simić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia.....	52
Гасом изолована постројења у мрежи електропреноса	54
Мр Љубиша Чичкарић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија	54
Gas-Insulated Facilities in the Power Transmission Network.....	56
MSc. Ljubiša Čičkarić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia	56
Иновације и трансфер технологије.....	58
Др Јелена Лукић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија.....	58
Innovations and Technology Transfer.....	59
Dr. Jelena Lukić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia.....	59
Развој мерне опреме за испитивање струјних мерних трансформатора у Институту Никола Тесла и остварени резултати.....	60
Др Драгана Наумовић-Вуковић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија..	60
Development of Measuring Equipment for Current Transformers Accuracy Testing at the Nikola Tesla Institute	61
Dr. Dragana Naumović-Vuković, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia	61
Зелени програм сарадње науке и привреде – презентација резултата пројекта „GreenCleanS”	62
Др Јелена Лукић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија.....	62
Green Program of Cooperation between Science and Industry – Presentation of “GreenCleanS” Project Results.....	64
Dr. Jelena Lukić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia.....	64
Пројекат NANO-THINK у оквиру програма ERASMUS+ Virtual Exchanges.....	66
Др Драгана Наумовић-Вуковић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија..	66
NANO-THINK Project within the ERASMUS+ Virtual Exchanges Program.....	67
Dr. Dragana Naumović-Vuković, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia	67

ПРЕДАВАЊА ПО ПОЗИВУ | INVITED LECTURES

DOI: 10.5937/TID24008K

Управљање ризиком код будуће електрификације великих размера

Проф. др Младен Кезуновић, Универзитет А&М, Тексас, САД
ORCID: 0000-0002-8925-4415

Кратак садржај

Након кратког прегледа предмета разматања и мотивације за електрификацију великих размера, предавање се фокусира на повезане ризике и потенцијалне утицаје који се могу ширити кроз више критичних инфраструктура. Извори ризика се идентификују кроз анализу будуће еволуције развоја електричне мреже где су утицаји на животну средину, пропадање затечене инфраструктуре, масовно повезивање дистрибуиране производње енергије која резултира у продору ресурса заснованих на инвертерима, дигитализација и последице људског понашања, доминантни. Фокус се затим помера на нове приступе за предвиђање ризика коришћењем напредног машинског учења и приступа вештачке интелигенције, а затим на ублажавање утицаја ризика кроз различите циљеве оптимизације. Предавање се завршава указивањем на значај друштвених, нормативних, регулаторних, законодавних промена које је потребно извршити да електрификација великих размера не би представљала велики ризик за добробит појединаца и економски просперитет друштва. Кључне тачке су илустроване коришћењем Случаја употребе предвиђања стања ризика од испада на електричној мрежи, као и парадигме будућег доношења одлука о управљању и заштити.

Кључне речи: ризик, паметна мрежа, електрификација, испад.

Биографија предавача



Др Младен Кезуновић (*Life Fellow, IEEE*) је стекао диплому дипломираног инжењера на Универзитету у Сарајеву, Сарајево, Босна и Херцеговина, 1974. године, а диплому магистра и доктора наука у области електротехнике на Универзитету Канзас, Лоренс, КС, САД, 1977. односно 1980. године. Више од 35 година ради на Универзитету Тексас А&М (*Texas A&M University, College Station, TX, USA*) где је тренутно уважени професор универзитета, *Regents Professor, Eugene E. Webb Professor*, и директор локације конзорцијума *Power Engineering Research Center*. Радио је више од 30 година као главни консултант компаније *XpertPower™ Associates*,

консултантске фирме специјализоване за анализу података о електроенергетским системима. Његова експертиза је у области заштитних релеја, аутоматизованој анализи поремећаја електроенергетског система, рачунарској интелигенцији, аналитици података и паметним мрежама. Аутор је преко 600 радова, одржао преко 120 семинара, предавања по позиву и кратких курсева и консултовао преко 60 компанија широм света. Он је високи члан *CIGRE*, почасни и угледни члан, регистровани професионални инжењер у Тексасу и члан Националне инжењерске академије.

Risk Management of Future Large-Scale Electrification

Prof. dr. Mladen Kezunović, Texas A&M University, USA

ORCID: [0000-0002-6538-6982](https://orcid.org/0000-0002-6538-6982)

Abstract

After a brief overview of the motivation for large-scale electrification, the lecture focuses on the associated risk and potential impacts that can propagate across multiple critical infrastructures. The sources of the risk are identified through analysis of the future evolution of the electric grid development where environmental impacts, deterioration of the legacy infrastructure, massive interfacing of distributed energy generation resulting in penetration of inverter-based resources, digitalization, and human behavior consequences are dominant. The focus then shifts to the new approaches for predicting the risk by using advanced machine learning and artificial intelligence approaches, and then mitigating the risk impacts through various optimization objectives. The lecture ends by pointing out the importance of the societal, normative, regulatory, and legislative changes that need to take place for the large-scale electrification not to pose major risk to the welfare of individuals and economic prosperity of a society. The key points are illustrated using the Use Case of state of risk prediction of the electric grid outages, as well as future control and protection decision-making paradigm.

Keywords: risk, smart grid, electrification, outage.

Biography of the presenter



Dr. Mladen Kezunovic (Life Fellow, IEEE) received the B.Sc. degree from the University of Sarajevo, Sarajevo, Bosnia, in 1974, and the M.Sc. and Ph.D. degrees in electrical engineering from the University of Kansas, Lawrence, KS, USA, in 1977 and 1980, respectively. He has been with Texas A&M University, College Station, TX, USA, for over 35 years, where he is currently a University Distinguished Professor, Regents Professor, Eugene E. Webb Professor, and the Site Director of the “Power Engineering Research Center” Consortium. He served for over 30 years as the Principal Consultant of XpertPowerTM Associates, a consulting firm specializing in power systems data analytics. His expertise is

in protective relaying, automated power system disturbance analysis, computational intelligence, data analytics, and smart grids. He has authored over 600 papers, given over 120 seminars, invited lectures, and short courses, and consulted for over 60 companies worldwide. He is a CIGRE Fellow, an Honorary and Distinguished Member, a registered Professional Engineer in Texas, and a member of the National Academy of Engineering.

Дигитализација – револуција која води ка будућим економијама са ниским емисијама угљеника

Проф. др Владимир Терзија, Универзитет у Њукаслу, Уједињено Краљевство
ORCID: [0000-0002-6538-6982](https://orcid.org/0000-0002-6538-6982)

Кратак садржај

Четврта индустријска револуција, значајно мења механизам процеса у 21. веку, нарочито оних који се односе на технологију, индустрију и друштво. Увођењем паметних технологија, отварају се врата за пројектовање и примену паметних решења која доприносе безбедности, поузданости, флексибилности и отпорности савремених енергетских система. Најновији концепт „дигиталне трафостанице” омогућава брз и ефикасан пренос информација из електроенергетског постројења до хијерархијски виших центара у којима се информације обрађују. Применом решења заснованих на чистим подацима, максимизује се интеграција обновљивих извора енергије, различити енергетски вектори-системи се интегришу у јединствене мулти-енергетске системе, оптимизујући процесе, чинећи их ефикаснијим и доприносећи успешној трансформацији постојећег енергетског система у одржив систем и са ниским емисијама угљеника. О наведеним питањима ће се расправљати из перспективе нових технологија, њиховог утицаја на нова решења и очекиване користи. Биће представљени и репрезентативни практични примери као што су ПМУ базирани надзор и управљање мрежом.

Кључне речи: дигитализација, паметна мрежа, надзор мреже, управљање фреквенцијом мреже, вештачка интелигенција/машинско учење.

Биографија предавача



Професор Владимир Терзија, професор енергетских система и мрежа, дипломирао је, магистрирао и докторирао на Електротехничком Факултету, смер електроенергетски системи, на Универзитету у Београду, Србија. Тренутно је професор енергетских система и мрежа на Универзитету у Њукаслу у Великој Британији. Такође је истакнути професор на Универзитету Шандонг, Кина, као и гостујући професор на Техничком универзитету у Минхену у Немачкој и Универзитету у Београду у Србији. Претходно је радио на Универзитету у Београду (Србија), АББ (Немачка), Универзитету у Манчестеру (Велика Британија) и Сколтеху (Руска Федерација). Његова истраживачка интересовања укључују примену паметних мрежа; *WAMPAC*; заштиту електроенергетских система; аналитику података и примену комплексне науке за одрживе системе са ниским емисијама угљеника. Проф. Терзија је главни уредник Међународног часописа за електроенергетске системе и системе снабдевања (*IJEPES*), стипендиста Александра фон Хумболта, *IEEE Fellow* и добитник Националне награде пријатељства (*National Friendship Award*) (Кина).

Digitalization – a Revolution Leading to Future Low-Carbon Economies

Prof. dr. Vladimir Terzija, Newcastle University, United Kingdom
ORCID: [0000-0002-6538-6982](https://orcid.org/0000-0002-6538-6982)

Abstract

The 4th Industrial Revolution, Industry 4.0, is significantly changing the shape of processes in the 21st century, particularly those related to technology, industry and society. Through introduction of smart technologies, doors for designing and implementing smart solutions contributing to security, dependability, flexibility and resilience of modern energy systems, are opened. Newly designed “digital substations” are enabling rapid and efficient transfer of information from the actual electricity network to hierarchically higher centers in which information is processed. Through application of data science-based solutions, integration of renewable energy sources is maximized, different energy vectors are integrated into single multi-energy systems, optimizing processes, making them more efficient and contributing to confident transformation of the existing energy system into a sustainable and low carbon one. The abovementioned issues will be discussed from the new technology perspective, its impact to new solutions and its expected benefits. Some representative practical examples will be presented, too.

Keywords: digitalization, smart grid, situational awareness, frequency regulation, AI/ML.

Biography of the presenter



Professor Vladimir Terzija, Professor of Energy Systems & Networks, received the Dipl.-Ing., M.Sc., and Ph.D. degrees in electrical engineering from the University of Belgrade, Serbia. Currently he is a Professor of Energy Systems & Networks at the Newcastle University, UK. He is also a Distinguished Professor at Shandong University, China, as well as a Guest Professor at the Technical University of Munich, Germany and University of Belgrade, Serbia. In the past, he has been with the University of Belgrade (Serbia), ABB (Germany), The University of Manchester (UK) and Skoltech (Russian Federation). His research interests include smart grid applications; WAMPAC; power system protection; data analytics and application of complex science for sustainable low-carbon energy systems. Prof. Terzija is Editor in Chief of the International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Alexander von Humboldt Fellow, Fellow of IEEE and the recipient of the National Friendship Award (China).

Електрична и магнетна поља у близини преносне мреже и високонапонских постројења једносмерне струје

Проф. др Aldo Canova, Politecnico di Torino, Италија

ORCID: 0000-0002-0014-5918

Кратак садржај

Систем преноса једносмерном струјом високог напона (*HVDC*) се састоји од два претварача који раде као исправљач и инвертор и који су преко трансформатора и високонапонске опреме прикључени на две различите преносне мреже наизменичне струје високог напона (*HVAC*). Овакве електричне инфраструктуре се све више користе захваљујући предностима које нуде као и могућности за превазилажење ограничења најраспрострањеније *HVAC* технологије преноса. Први оперативни *HVDC* систем, који датира из 1954. године и који је изграђен између острва Готланд у Балтичком мору и копна (Шведска), снаге 20 MW, временом је замењен биполарним преносним системом снаге 260 MW. Остала постројења, која су користила вентиле са живином паром, изграђена су током наредних година, укључујући: 1965. године повезивање Сардиније са копном; 1970. године, интерконекција једносмерне струје на Пацифику, која повезује северозападни регион Пацифика и Лос Анђелес, у Сједињеним Америчким Државама; 1973. године биполарни преносни систем на реци Нелсон у Канади. Тек од 1970-их, развојем високонапонских полупроводничких претварача, *HVDC* преносни системи, који су се већ показали неопходним за премошћавање великих морских пространа или за повезивање електроенергетских система различитих фреквенција, почели су да показују конкурентност и за пренос велике снаге на већа растојања.

HVDC омогућава пренос великих количина енергије на велику удаљеност, а трошкови инсталације се надокнађују мањим губицима (граница око 600-800 km). Веома су корисни у случају поморских конекција: пошто могу да премосте велике морске површине, за разлику од *HVAC* који има ограничења условљена потребом да се компензује капацитивна реактивна снага каблова наизменичне струје. Штавише, *HVDC* омогућава интерконекцију између великих потрошачких центара и географских области у којима имамо велику доступност обновљивих извора (пример представљају три коридора једносмерне струје, настали од подземног кабла ± 525 kV, који се у Немачкој постављају ради одрживог преноса енергије од севера земље ка југу). Коначно, повезивањем два претварача директно преко једносмерног кола (са супротним током снаге – BackToBack) омогућава се повезивање мрежа наизменичне струје које нису синхроне једна са другом (нпр. прва на 50 Hz и друга на 60 Hz).

Међу главним предностима морају се узети у обзир и аспекти утицаја на животну средину, укључујући и оне који се односе на електрична и магнетна поља.

Након увода у вези са приказом *HVDC* технологије, на предавању ће бити истакнути иновативни аспекти које треба узети у обзир у симулацијама и мерењима електричних и магнетних поља, с обзиром на то да постоје нови аспекти као што су високе једносмерне струје и напони који нису присутни у традиционалној *HVAC* инфраструктури. Посебно, неколико тема од интереса представљају мерење статичког електричног поља услед високонапонске везе између конверторске просторије и енергетских каблова и мерење сметњи које стварају хармоници дуж водова једносмерне струје.

Кључне речи: *HVAC*, *HVDC*, магнетна и електрична поља.

Биографија предавача



1992. године: Дипломирао електротехнику на Политехничком универзитету у Торину (Италија).

1996. године: Стекао звање доктора електротехнике на Политехничком универзитету у Торину (Италија).

Октобар 1992 – март 1993. године: Истраживач у Националном електротехничком институту Галилео Ферарис (Торино, Италија).

Јануар – јул 1995. године: Истраживач на Универзитету Напиер (Единбург, Шкотска).

1995–2003. године. Истраживач на Одсеку за електротехнику Политехничког универзитета у Торину (Италија).

Од 2004. до 2017. године ванредни професор, а од 2017. редовни професор електротехничких наука.

Од 2004. године – Члан Националног електротехничког комитета (*Comitato Elettrotecnico Nazionale – CEI*) у техничком комитету *CT106* („Методе за процену електричних, магнетних и електромагнетних поља у вези са изложеношћу људи овим пољима”).

Професор примењене електромагнетике на мастер студијама електротехнике.

Професор електротехнике и електричних машина на основним студијама машинства.

Члан комисије за координацију активности наставе и обуке на Политехничком универзитету у Торину.

Од 2018. године је председавајући на основним и мастер студијама електротехнике на Политехничком универзитету у Торину.

Контакт особа од 2023. године на Политехничком универзитету у Торину за оквирни споразум са *Wabtec* корпорацијом (<https://www.wabteccorp.com/>).

Од стране Одсека за енергетику именован је као члан у Лабораторији за трансфер технологије (*LabTT*) на Политехничком универзитету у Торину.

Од 2015. године до данас: Председник Италијанског научног комитета за недеструктивна испитивања (*AIPnD*) и члан Колегијума арбитара *AIPnD*-а.

2019-2023. године био је генерални секретар *AIPnD*-а. Од јануара 2024. године је потпредседник *AIPnD*-а.

Ревизор пројекта Данског савета за стратешка истраживања (*DSF*) (<http://en.fi.dk/councils-commissions/the-danish-council-for-strategic-research>).

2007-2012. године – Оснивач и председник *spin-off* компаније која је потекла са Политехничког универзитета у Торину: *АМС инструменти*, д.о.о. компаније која послује у реализацији система за недеструктивна испитивања (www.aemmeci.com).

Од маја 2022. године је члан *IAB*-а (Међународног саветодавног одбора) Електротехничког института Никола Тесла у Београду.

Члан је Националне научне квалификационе комисије за *СК 09/E1* – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА за двогодишњи период 2023-2025. године.

Аутор/коаутор је око 180 научних публикација у зборницима међународних конференција и међународним часописима, као и 8 патената.

Одговоран је од 2008. године до данас за 25 уговора/споразума у области истраживања, потписаних између компанија/институција и Политехничког универзитета у Торину.

Бави се истраживачким активностима везаним за нумеричко прорачунавање електромагнетних поља у области енергетских уређаја, заштиту од магнетног поља, изложеност људи електромагнетним пољима, моделовање и оптимизацију енергетских система и недеструктивна испитивања.

Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of Transmission Network and HVDC Plants

Prof. dr. Aldo Canova, Politecnico di Torino, Italy

ORCID: [0000-0002-0014-5918](https://orcid.org/0000-0002-0014-5918)

Abstract

High voltage direct current (HVDC) consists of two converters working as a rectifier and inverter which are connected, through transformers and high voltage equipment, to two high voltage AC (HVAC) power networks. Such electrical infrastructures are spreading thanks to the advantages they offer and the possibility of overcoming the limits of the most widespread HVAC technology. The first operational HVDC system dates back to 1954, created between the island of Gotland in the Baltic Sea and the mainland (Sweden), with a power of 20 MW which has over time been replaced with a 260 MW bipole transmission system. Other plants, all using mercury vapor valves, followed over the years, including: in 1965, the connection of Sardinia with the continent; in 1970, the Pacific DC Intertie, connecting the Pacific Northwest region and Los Angeles, United States; in 1973, the Nelson River Bipole in Canada. Only since the 1970s, with the development of high voltage semiconductor converters, HVDC transmission systems, which had already proven indispensable for crossing long stretches of sea or for connecting electrical systems with different frequencies, began to show competitiveness also for the transmission of great powers over very long distances.

HVDC allows the long-distance transmission of large quantities of energy and installation costs are compensated by lower losses (breakeven point around 600-800 km). They are very useful in case of marine connections: being able to cross long stretches of sea, unlike HVAC which has limitations dictated by the need to compensate for the capacity of AC cables. Moreover, HVDC allows the interconnection between big consumption centers and geographical areas in which we have large availability of renewable sources (see for example the three DC corridors, made up of underground cable of ± 525 kV, which in Germany are being laid for transfer sustainable energy from the north of the country to the south). Finally, by crossing two converters directly facing each other (BackToBack) it allows the connection of alternating current networks that are not synchronous with each other (e.g. the first at 50 Hz and the second at 60 Hz).

Among the main advantages, environmental impact aspects must also be considered, including those relating to electric and magnetic fields.

After an introduction related to HVDC technology, the seminar will highlight the innovative aspects that need to be considered in simulations and measurements in electric and magnetic fields, considering that there are new aspects such as high static currents and voltages which are not present in traditional HVAC infrastructures. In particular, a couple of topics of interest are represented by the measurement of the static electric field due to the high voltage connection between the valve room and the power cables and the measurement of the disturbances generated by the harmonics along the DC lines.

Keywords: HVAC, HVDC, magnetic and electric fields.

Biography of the presenter



1992: Degree in electrical engineering at the Politecnico di Torino (Italy)

1996: PhD in electrical engineering at the Politecnico di Torino (Italy)

October 1992 – March 1993: Researcher at the “Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris” (Torino, Italy).

January – July 1995: Researcher at Napier University (Edinburgh, Scotland).

1995–2003: Researcher at the Dipartimento di Ingegneria Elettrica of the Politecnico di Torino (Italy)

From 2004 to 2017: Associate Professor and since 2017 Full Professor in Electrical Engineering Science.

Since 2004 – Member of the Comitato Elettrotecnico Nazionale (CEI) serving on Technical Committee CT106 (Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure).

Teacher of Applied Electromagnetism at the Master’s Degree in Electrical Engineering.

Teacher of Electrotechnics and Electrical Machines at the Bachelor’s Degree in Mechanical Engineering.

Member of the preliminary commission for the coordination of teaching and training activities of the Politecnico di Torino.

Since 2018 he is Chairman of the Bachelors and Master degree on Electrical Engineering Course at the Politecnico di Torino.

Contact person from 2023 for the Polytechnic of Turin for the framework agreement with Wabtec corporation (<https://www.wabteccorp.com/>).

He is a member designated by the Energy Department at the Interdepartmental Laboratory for Technology Transfer (LabTT) of the Politecnico di Torino.

From 2015 to today: President of the Scientific Committee of the Italian Non-Destructive Testing (AIPnD) and member of College of Arbitrators of AIPnD.

2019-2023 he is General Secretary of AIPnD. Since January 2024 is Vice President of AIPnD.

Project auditor for Danish Council for Strategic Research (DSF) (<http://en.fi.dk/councils-commissions/the-danish-council-for-strategic-research>)

2007-2012 – Founder and President of the Spin Off of Politecnico di Torino: AMC Instruments Ltd. operates in realization of systems for non-destructive testing (www.aemmeci.com).

Since May 2022 is members of IAB (International Advisory Board) of the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering.

He is a member of the National Scientific Qualification Commission for SC 09/E1 – ELECTROTECHNICS for the two-year period 2023-25.

He has authored/coauthored about 180 scientific publications in international conference proceedings and international journals and invented 8 patents.

Responsible from 2008 to date for 25 company/institution research contracts/agreements with the Polytechnic of Turin.

He is involved in research activities related to the numerical computation of electromagnetic fields in the area of power devices, magnetic shielding, human exposure to electromagnetic fields, energy system modelling and optimisation and non-destructive testing.

Дизајн регулатора за пригушивање осцилација снаге за електране обновљивих извора енергије

Др Милан Продановић, IMDEA Energy Institute, Шпанија

ORCID: 0000-0001-5500-9799

Кратак садржај

Претварачи снаге (*Converter-Interfaced-Generation CIG*) се користе за пренос енергије сунца и ветра у електричне мреже. До сада су електране засноване на *CIG*-у коришћене искључиво за конверзију електричне енергије из примарног извора када год је енергија доступна. Са повећањем удела *CIG*-а у мрежама, њихов утицај на рад система електричне енергије, поготово на аспекте као што су стабилност и управљање системом у реалном времену ће постати значајнији. Већина карактеристика *CIG*-а, оперативни детаљи, инерција и струја кратког споја, значајно се разликују од традиционалних синхроних генератора. Оператери система су увидели потребу да реагују на промене установљавањем додатних захтева за коришћење *CIG*-а и мењањем правила о раду преносних мрежа за *CIG*. Између осталог, очекује се да ће се у будућности електране са *CIG* укључити у сузбијање нискофреквентних електромеханичких осцилација у преносним мрежама.

Да би испунили ова очекивања, алгоритми контроле *CIG*-а морају имати регулатор за пригушење осцилација снаге (*Power Oscillation Damping POD*). Овај регулатор се типично дизајнира тако да прилагоди активну и/или реактивну снагу на излазу *CIG*-а како би пригушио конкретну осцилацију фреквенције мреже. Врло је вероватно да ће се у будућности *CIG* повезати на мрежу која има не само једну, већ неколико слабо пригушених фреквенција, што потенцијално може довести до више истовремених нискофреквентних осцилација. Осим тога, конфигурација мреже и радна тачка преносног система се константно мењају током рада, што отежава подешавање *POD* регулатора и сви ови фактори представљају главне изазове за њихов дизајн. Штавише, алгоритми за *POD* морају бити имплементирани на претварачима који раде у моду успостављања мреже (*Grid-Forming*), што је значајно различито од постојећих *CIG*-ова који једноставно следе мрежу (*Grid-Following*).

Електране за обновљиве изворе имају обично више локалних јединица *CIG*-а и централизовани регулатор. До сада је већ је пријављено више инцидената мрежних осцилација који су повезани са интерним кашњењима унутар електране, најчешће између централизованог регулатора који координише мрежу и локалних јединица *CIG*-а. У овом излагању биће разматрани различити аспекти пригушења осцилација снаге коришћењем *CIG*-ова и предложено неколико метода за дизајн *POD* регулатора. Посебно ће се анализирати утицај промена топологије мреже и присуство стохастичких комуникационих кашњења на *POD* и биће представљена решења за одговарајуће типове регулатора. Поред тога, предложена решења су базирана само на локалним мерењима фреквенције и погодна су за случајеве када детаљан модел електричног система није доступан. Анализираће се обе топологије контроле претварача оне које следе мрежу и оне које формирају мрежу за примену услуге *POD*.

Кључне речи: пригушивање осцилација снаге, претварачи снаге, електране обновљивих извора енергије.

Биографија предавача



Др Милан Продановић (старији члан, *IEEE*) је дипломирао електротехнику на Универзитету у Београду, 1996. године, и докторирао електротехнику и електронику на Империјал Колеџу у Лондону, 2004. Од 1997. до 1999. године је радио у ГВС инжењерингу у Београду на развоју система за непрекидно напајање. Од 1999. до 2010. је био научни сарадник за електротехнику и електронику на Империјал Колеџу. Тренутно је виши истраживач и шеф Јединице за електричне системе на Институту ИМДЕА Енергија у Мадриду, Шпанија. Миланове области истраживања су управљање и дизајн енергетских претварача, интеграција

обновљивих извора и складишта енергије, управљање енергетским мрежама у реалном времену, управљање и анализа стабилности микромрежа и енергетских система и енергетска ефикасност у индустријским апликацијама. Аутор је низа високо цитираних радова (>6.200 цитата) и носилац је 3 међународне патентне пријаве. Милан је био главни истраживач у многобројним регионалним, националним и међународним пројектима у Шпанији, Великој Британији, Француској, Данској, Италији, Белгији, Швајцарској, Литванији, Кенији и Јапану и сарађивао са најважнијим компанијама у енергетском сектору у Великој Британији, Француској, Данској и Шпанији (ЕДФ, ЕОН, Ибердрола, Унион Феноса, СЕАС, Супергрид Институт итд.). Добио је стипендију за истраживање Рамон и Кахал 2011. и стипендију „Марија Кири” 2010. Милан је акредитовани рецензент за АНЕП (Национална агенција за евалуацију и перспективу, Шпанија) и члан је радних група за енергетску електронику и складиштење енергије националне платформе за електричне мреже ФУТУРЕД (Шпанија).

Design of Power Oscillation Damping Controllers for Renewable Power Plants

Dr. Milan Prodanović, IMDEA Energy Institute, Spain

ORCID: [0000-0001-5500-9799](https://orcid.org/0000-0001-5500-9799)

Abstract

Converter-interfaced generation (CIG) has been used to transfer energy from solar irradiation and wind to electricity networks. Until now, power plants based on CIG have been used solely to inject power from the primary source whenever it is available. As the share of CIG increases, its impact on the power system operation has become more relevant with some aspects clearly affecting the stability and real-time management of the system. Most characteristics of CIG, including its operation and inertial and overcurrent properties are significantly different from traditional synchronous generators. System operators have acknowledged these changes and some of them have already started requesting additional functionality from CIG and changing the Grid Codes. In future CIG-based power plants connected to transmission networks are expected to contribute to damping of low-frequency electro-mechanical oscillations.

To meet these expectations, future CIG control algorithms need to include a power oscillation damping (POD) controller. This controller is typically designed to adjust the CIG's active and/or reactive powers in order to damp a specific oscillation of the network frequency. However, it is highly likely a CIG in future will connect to a network with several poorly damped frequencies, potentially leading to multiple low-frequency oscillations. Moreover, the network configuration and the transmission system operating point are constantly changing during the operation. These factors impose major challenges for the design of POD controllers. In addition, POD algorithms need to be applicable to converters operating in Grid-Forming mode that is significantly different from the existing Grid-Following CIGs.

Renewable CIG-based power plants assume a number of local CIG units and a centralized controller. Several events of grid oscillations have already been reported and have been linked to internal delays occurring within the plant, namely those between the centralised controller responsible for the coordination and the local CIG units.

In this presentation, different aspects of power oscillation damping using CIGs will be addressed and several methods for design of POD controller proposed. In particular, the impact of the network topology changes and the presence of stochastic communication network delays on POD will be analysed and the solutions for the respective controllers presented. Moreover, the proposed solutions assume only the local frequency measurement and are suitable for the cases when a detailed power system model is unavailable. Both, Grid-Following and Grid-Forming converter control topologies will be examined for the application of POD service.

Keywords: power oscillation damping, converter-interfaced-generation, renewable plants.

Biography of the presenter



Dr. Milan Prodanović (Senior Member, IEEE) received the B.Sc. degree in electrical engineering from the University of Belgrade, Belgrade, Serbia, in 1996, and the Ph.D. degree in electric and electronic engineering from Imperial College, London, U.K., in 2004. From 1997 to 1999, he was with GVS Engineering Company, Serbia, developing UPS systems. From 1999 to 2010, he was a Research Associate of Electrical and Electronic Engineering with Imperial College. He is currently a Senior Researcher and the Head of the Electrical Systems Unit, Institute IMDEA Energy, Madrid, Spain. Milan's research interests lie in control and design of power electronic systems, renewable and storage integration, real-time control of power networks, energy management and stability analysis of microgrids and energy systems and energy efficiency in industrial applications and has authored a number of highly cited papers (>6000 citations). Milan acted as a Principal Investigator in a number of regional, national and international projects in Spain, UK, France, Denmark, Italy, Belgium, Switzerland, Lithuania, Kenya and Japan and collaborated with principal companies in energy sector in UK, France, Denmark and Spain (EDF, EON, Iberdrola, Union Fenosa, SEAS, Supergrid Institute etc). He is the holder of 3 international patent applications and was awarded the research grant Ramón y Cajal in 2011 and the mobility fellowship "Marie Curie" in 2010. Milan has been an accredited reviewer for ANEP (National Agency for Evaluation and Prospective, Spain), a member of power electronics and energy storage working groups of the national platform for electricity networks FUTURED (Spain).

Оснаживање мреже: иновације у разводној опреми за енергетску транзицију

Ненад Узелац, *G&W Electric Co*, САД

Кратак садржај

Како енергетски сектор пролази кроз значајну транзицију ка одрживијим и ефикаснијим праксама, улога напредне разводне опреме постаје све критичнија. Ова презентација ће истражити суштинска достигнућа у комутационој технологији која покрећу ову транзицију. Кључне теме укључују развој и имплементацију високонапонских прекидача једносмерне струје и прекидача без *SF6* и интеграцију сензора у разводну опрему за побољшане шеме заштите и праћење стања. Биће представљена студија случаја о иновативном развоју високонапонског аутоматског прекидача, која показује како се дистрибутивни заштитни елементи ефикасно примењују на потпреносне системе. Придружите нам се да откријете како ова технолошка достигнућа оснажују мрежу и обликују будућност енергије.

Кључне речи: високо напонска прекидачна технологија, енергетска транзиција, иновације.

Биографија предавача



Господин Ненад Узелац је директор Глобалног истраживања у компанији *G&W Electric Co*, чије је седиште у близини Чикага, САД. Ненад има 25 година искуства у области истраживања и развоја, пројектовања, развоја и тестирања разводних и командних уређаја. Већ 20 година је члан Комитета за разводне уређаје у *IEEE* и *CIGRE*. Тренутно је председник техничког комитета *CIGRE A3*, који обухвата преносну и дистрибутивну опрему, као и председник поткомитета *IEEE* за образовање у области разводних уређаја, за доделу признања и издавачку делатност. Страствени је заговорник иновативног образовања и сарадње у области

енергетске транзиције.

Empowering the Grid: Innovations in Switching Equipment for Energy Transition

Nenad Uzelac, G&W Electric Co, USA

Abstract

As the energy sector undergoes a significant transition towards more sustainable and efficient practices, the role of advanced switching equipment has become increasingly critical. This presentation will explore the essential advancements in switching technology that are driving this transition. Key topics include the development and implementation of high voltage DC breakers and SF6-free breakers, and the integration of sensors within switching equipment for enhanced protection schemes and condition monitoring. A case study on the innovative development of a High Voltage recloser will be presented, demonstrating how distribution protection elements are being effectively applied to sub-transmission systems. Join us to discover how these technological advancements are empowering the grid and shaping the future of energy.

Keywords: switching technology, energy transition, innovation.

Biography of the presenter



Mr Nenad Uzelac is the director of Global Research at G&W Electric Co. which headquarter is near Chicago, USA. Nenad has 25 years of experience in R&D, designing, developing and testing Switchgear and Controlgear. For 20 years he's been part of IEEE Switchgear committee and CIGRE. Currently he is chair of CIGRE A3 technical committee covering T&D Equipment, and a chair of IEEE Switchgear Education, Recognition and Publication subcommittee. He is passionate advocate for Innovation Education and Collaboration in the field of Energy Transition.

Холистички приступ моделирању и анализи одрживих електроенергетских система

Проф. др Јовица Милановић, Универзитет у Манчестеру, УК
ORCID: [0000-0002-0931-137X](https://orcid.org/0000-0002-0931-137X)

Кратак садржај

Због евидентних климатских промена и притисака на животну средину, будући електроенергетски системи ће морати да раде, боље пре него касније, у окружењу са нето нултном толеранцијом емисије гасова стаклене баште. Ово ће се манифестовати у мешавини широког спектра технологија за производњу, складиштење и потрошњу електричне енергије (са све више уређаја повезаних преко претварача који раде на бази енергетске електронике); нејасним границама између преносног и дистрибутивног система; знатно већим ослањањем на коришћење традиционалних, историјских мерених података као и мерења глобалних сигнала за идентификацију система, карактеризацију и управљање и информационо-комуникационих технологија уграђених у мрежу електроенергетског система и његових компонената. Кључне карактеристике овако сложеног система, ће свакако бити значајно ослањање на уређаје који раде на бази енергетске електронике у различитим облицима и формама и за различите намене, повећане неодређености у раду система и параметара Система и много веће ослањање на коришћење мерних и других прикупљених података.

Ова презентација ће прво укратко представити неке од кључних карактеристика будућих одрживих електроенергетских система са нето нултном толеранцијом емисије гасова стаклене баште и потребу за свеобухватним приступом у решавању утврђених изазова, а затим ће представити неке од примера најновијих приступа у њиховом решавању, фокусирајући се на примени моделовања неодређености у раду и моделовању система, коришћењу напредних метода за анализу података, приступима заснованим на машинском учењу и процени ризика.

Кључне речи: неодређеност, обновљиви извори енергије, анализа података, машинско учење, процена ризика, планирање, управљање.

Биографија предавача



Јовица В. Милановић је стекао диплому дипломираног инжењера и магистра електротехнике на Универзитету у Београду, Југославија, научно звање доктора електротехничких наука на Универзитету у Њукаслу, Аустралија, и виши докторат наука на Универзитету у Манчестеру, Велика Британија. Пре него што се придружио Универзитету у Манчестеру, Велика Британија, 1998. године, радио је за холдинг компанију „Енергопројект” и на Универзитету у Београду у Југославији као и на универзитетима у Њукаслу и Тасманији у Аустралији. Професор Милановић је декан Електротехничког факултета

на Универзитету у Манчестеру, Велика Британија, гостујући професор на Универзитету у Новом Саду и Универзитету у Београду, Србија и почасни професор на Квинсленду,

Универзитету у Аустралији. Био је председавајући на 6 међународних конференција, члан 9 (организатор 3) претходних радних група за *IEEE/CIGRE/CIRE*, учествовао је у бројним истраживачким пројектима или предводио исте, чија је укупна вредност износила преко 80 милиона фунти, објавио преко 600 истраживачких радова и извештаја, одржао преко 30 уводних говора на међународним конференцијама и одржао преко 150 курсева и предавања у индустрији и на академским институцијама широм света. Професор Милановић је овлашћени инжењер у Великој Британији, инострани члан Српске академије инжењерских наука, редовни члан *IET* (Велика Британија), редовни члан *IEEE* (САД), истакнути предавач удружења за електроенергетику *IEEE*, главни и одговорни уредник часописа *IEEE Transactions on Power Systems*, члан Управног одбора, Извршног одбора и Финансијског одбора удружења за електроенергетику *IEEE*, Одбора за дугорочно планирање удружења за електроенергетику *IEEE* и потпредседник удружења за електроенергетику *IEEE* за издавачку делатност. Био је шест година члан Управног одбора удружења за електроенергетику *IEEE* као регионални представник за Европу, Блиски исток и Африку, члан и потпредседник Одбора удружења за електроенергетику *IEEE* за процену научних и техничких квалификација кандидата за избор за редовне чланове *IEEE*, председник Комисије за доделу *IEEE Herman Halperin* награде у области преноса и дистрибуције, члан руководећег одбора за техничку подршку индустрији удружења за електроенергетику *IEEE* и члан Одбора за избор редовних чланова *IEEE*.

Holistic Approach to Modelling and Analysis of Sustainable Power Systems

Prof. dr. Jovica Milanović, University of Manchester, UK

ORCID: [0000-0002-0931-137X](https://orcid.org/0000-0002-0931-137X)

Abstract

Due to the evident climate change and environmental pressures the future power/energy systems will have to operate, sooner rather than later, in a net-zero environment. This will manifest in a mix of wide range of electricity generation, storage and demand technologies (increasingly power electronics interfaced); blurred boundaries between transmission and distribution system; significantly higher reliance on the use of legacy and measurement data including global signals for system identification, characterization and control and Information and Communication Technology embedded within the power system network and its components. The key characteristics of such a complex system, would certainly be proliferation of power electronic devices in different shapes and forms and for different purposes, increased uncertainties in system operation and parameters and much larger reliance on the use of measurement and other data collected.

This presentation will first briefly introduce some of the key characteristics of future net-zero, sustainable power systems and the need for holistic approach to solving the identified challenges and then present the holistic approach to solving them with examples of the recent advances in this area focusing on applications of nondeterministic approaches, use of data analytics, machine learning and risk assessment-based approaches.

Keywords: uncertainty, renewable energy, data analytics, machine learning, risk assessment, planning, operation.

Biography of the presenter



Jovica V. Milanović received Dipl.Ing. and M.Sc. degrees from the University of Belgrade, Yugoslavia, Ph.D. degree from the University of Newcastle, Australia, and D.Sc. degree from The University of Manchester, UK. Prior to joining The University of Manchester, UK, in 1998, he worked with “Energoprojekt”, Engineering and Consulting Co. and the University of Belgrade in Yugoslavia, and the Universities of Newcastle and Tasmania in Australia. Professor Milanović is Head of Department of Electrical and Electronic Engineering at The University of Manchester, UK, Visiting Professor at the University of Novi Sad and the University of Belgrade, Serbia and a Honorary Professor

at the University of Queensland, Australia. He was chairman of 6 international conferences, member of 9 (convenor of 3) past IEEE/CIGRE/CIRED WG, participated in or lead numerous research projects with total value of over £80 million, published over 600 research papers and reports, gave over 30 key-note speeches at international conferences and presented over 150 courses/tutorials and lectures to industry and academia around the world. Professor Milanovic is a Chartered Engineer in the UK, Foreign member of the Serbian Academy of Engineering Sciences, Fellow of the IET, Fellow of the IEEE, Distinguished IEEE PES Lecturer, Editor-in-Chief of IEEE Transactions on Power Systems, member of IEEE PES Governing board,

Executive Board and Financial Committee, IEEE PES Long Range Planning Committee and IEEE PES Vice President – Publications. He was a member of the IEEE PES Governing Board as Regional Representative for Europe, Middle East and Africa for six years, member and vice-chair of IEEE PES Fellows Evaluation Committee, Chair of the IEEE Herman Halperin Transmission and Distribution Award Committee, member of the IEEE PES Industry Technical Support Leadership Committee and member of the IEEE Fellows Committee.

Резонансе и интеракције у електричним мрежама – растући изазови

Мр Горан Дробњак, GE Vernova Consulting Services, Немачка

Кратак садржај

Електричне мреже широм света у последњим годинама имају све више извора енергије као и преносне регулационе опреме управљане уређајима који раде на принципу енергетске електронике. Такође, обновљиви извори су типично у удаљеним регионима где се велики број производних јединица (ветрогенератори или *PV* генератори) повезују средњенапонским кабловима који произведену енергију каналишу према високонапонској мрежи која је под контролом систем оператора. Кабловске мреже, комбиноване са индуктивним мрежним елементима увек имају сопствене резонантне фреквенције које се динамички мењају са променама мрежне топологије. У неким оперативним условима могуће је да дође до нежељених интеракција између мреже и уређаја који повезују и регулишу струје и напоне на прикључцима обновљивих извора. Ове интеракције нису увек лаке за разумевање посебно у случајевима када постоји више уређаја са активном контролом који су повезани у електричној близини једни до других. Сличне интеракције могу се јавити такође под другачијим условима и између другачијих уређаја у индустријским мрежама.

Кључне речи: претварачи снаге, енергетска електроника, стабилност малих сигнала, интеракције, регулација, мрежне резонанце.

Биографија предавача



Мр Горан Дробњак је дипломирао на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, Србија. Диплому Електроинжењера за електромреже је стекао 1986, а диплому магистра наука у 1992. После завршених студија, мр Дробњак је радио у Институтима Енергоинвеста и Електропривреде БиХ као и у Институту Никола Тесла у Београду. Године 1998, мр Дробњак је започео каријеру у *GE Energy Consulting*-у, *Schenectady, NY*, САД. Од тада па до данас укључен је у развој и примену *GE* производа у електромрежама, у индустријским пројектима, у изради студија контроле преноса снаге и напона, као и студија изградње и моделирање пројеката обновљивих

извора. Мр Дробњак је данас технички директор и вођа тима за студије електромрежа у *GE Consulting Services* Европа. Мр Дробњак има неколико регистрованих патената у САД као и у Европи. Активан је члан у CIGRE радним групама, комитет Б4 (*HVDC*).

Resonances and Interactions in Electrical Networks – Growing Challenges

MSc. Goran Drobnjak, GE Vernova Consulting Services, Germany

Abstract

In the recent years, electrical networks around the world have more and more energy sources as well as transmission regulation equipment controlled by devices operating on the principle of power electronics. Also, renewable sources are typically in remote regions where a large number of generating units (wind generators or PV generators) are connected by medium-voltage cables that channel the produced energy towards the high-voltage network that is under the control of the system operator. Cable networks combined with inductive network elements always have their own resonant frequencies that change dynamically with changes in the network topology. In some operating conditions, it is possible that undesired interactions might occur between the network and the devices that connect and regulate the currents and voltages at the connections of renewable sources. These interactions are not always easy to understand, especially in cases where there are multiple active control devices connected in mutual electrical proximity. Similar interactions can also occur under different conditions and between different devices in industrial networks.

Keywords: power converters, power electronics, stability of small signals, interactions, regulation, network resonances.

Biography of the presenter



Goran Drobnjak, M.Sc., received his Dipl.Ing. degree in the field of electrical networks in 1986, and Master of Science degree in 1992, from the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Serbia. After completing his studies, Goran Drobnjak worked at the Institutes of Energoinvest and the Electric Power Industry of B&H, as well as at the Nikola Tesla Institute in Belgrade. In 1998, Goran Drobnjak began his career at *GE Energy Consulting, Schenectady, NY, USA*. Since then until today, he has been involved in the development and application of GE products in power grids, in industrial projects, in the preparation of power and voltage transmission control studies, as well as construction studies and modeling of renewable energy projects. At present, Goran Drobnjak is the technical director and leader of the power grid studies team at *GE Consulting Services Europe*. Goran Drobnjak has several registered patents in the USA as well as in Europe. He is an active member of the CIGRE working groups, B4 Committee (HVDC).

ПРЕДАВАЊА | LECTURES

DOI: 10.5937/TID24028S

Анализа утицаја прикључења соларне електране на систем помоћу квази-динамичког прорачуна

Сара Стаматовић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија

Кратак садржај

Последњих неколико деценија, обновљиви извори енергије постали су кључни фактор у борби против климатских промена и један од главних узрока глобалне енергетске транзиције. Настала је хитна потреба за добијањем „чисте” енергије, пре свега из извора који користе енергију ветра или Сунца. У циљу синхронизације понашања производних јединица у интерконекцији, Европска комисија је донела услове за прикључење произвођача електричне енергије на мрежу (A network code on requirements for grid connection of generators – RfG), где је дефинисана категоризација производних јединица по типовима, и назначени су услови које сваки тип јединице мора да испуни. Анализирано је прикључење велике соларне електране на преносни систем и њен утицај на прилике у мрежи. За прорачун токова снага у систему коришћен је квази-динамички прорачун, тако да је, уместо три карактеристична режима (летњи и зимски максимум и летњи минимум), сагледано 8760 стања, за сваки сат у години. Овакав прорачун, иако много сложенији, даје свеобухватнији сет информација о приликама у систему. Формира се симулациони модел, где су моделоване сатне вредности активне и реактивне снаге у свим потрошачким чворовима у мрежи, као и активна и реактивна снага у генераторским чворовима, ако је могуће. Генерисање соларне електране која се прикључује представљено је линеарним моделом, скалирањем података о хоризонталној инсолацији на локацији електране. Емпиријски, релативна грешка између укупне произведене енергије у току једне године и претпостављене производње износи око 5%. У посматраном примеру, електрана која се прикључује (инсталисане снаге 150 MW) не угрожава елементе у систему. Највеће промене са становишта напонских прилика и оптерећења елемената се, као што је и очекивано, дешавају на месту прикључења електране и на електрично блиским водовима и трансформаторима. Приликом прорачуна посматрана су три режима рада електране, када је фактор снаге једнак јединици, и када је једнак 0,95 капацитивно и индуктивно. Максимално оптерећење прикључног вода за индуктивни режим и режим $\cos\varphi=1$ износи 84%, док је највеће у капацитивном режиму и износи 94%. Притом треба напоменути да се оптерећење вода веће од 90% у капацитивном режиму јавља у свега 24 часа у току године. Закључено је да је, услед већег нивоа детаљности, а и из оперативних разлога како за инвеститора, тако и за оператора система, погодније коришћење симулационог модела на сатном нивоу (односно квази-динамичког симулационог модела). На основу резултата са сатном резолуцијом може се доћи до боље процене не само критичних режима са становишта угрожавања напонских граница или преоптерећења у мрежи, већ и учестаности његовог понављања.

Кључне речи: квази-динамика, токови снага, соларна електрана, симулациони модел, прикључење на систем.

Биографија предавача



Сара Стаматовић, маг. ел. инж, завршила је Електротехнички факултет у Београду, модул Енергетика. На мастер студијама била је на смеру за обновљиве изворе енергије, и мастер рад под називом „Екстратерестрички фотонапонски системи” одбранила је 2023. године. Поред електротехнике, уписала је и мастер студије на Математичком факултету у Београду, на смеру Астрофизика. Од 2023. године запослена је као сарадник у Институту Никола Тесла, где ради у Центру за електроенергетске системе. Бави се моделовањем елемената електроенергетских система у софтверима као што су DIgSILENT и PSS E, прорачунима токова снага и кратких спојева, као и другим статичким и динамичким анализама система.

Analysis of the Connection of the Solar Power Plant to the System Using Quasi-Dynamic Calculation

Sara Stamatović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia

Abstract

In the last few decades, renewable energy sources have become a key factor in the fight against climate change and one of the main causes of the global energy transition. There is an urgent need to obtain “clean” energy, primarily from sources that use wind or solar energy. In order to synchronize the behavior of production units in the interconnection, the European Commission adopted the requirements for connecting electricity producers to the grid (*A network code on requirements for grid connection of generators – RfG*), where the categorization of production units by type is defined, and the conditions that each type of unit must meet. The connection of a large solar power plant to the transmission system and its impact on network conditions were analyzed. Quasi-dynamic calculation was used for the calculation of power flow in the system, so that instead of three characteristic modes (summer and winter maximum and summer minimum), 8760 conditions were considered (one for every hour of the year). This calculation, although much more complex, provides a more comprehensive set of data and about the system. In the simulation model, hourly values of active and reactive power in all consumer nodes in the network are modeled, as well as active and reactive power in generator nodes, if possible. The generation of the connected solar power plant is represented by a linear model, by scaling data on horizontal insolation at the location of the power plant. Empirically, the relative error between the total energy produced in one year and the assumed production is about 5%. In the analyzed example, the power plant (which has 150 MW of installed power) does not endanger the elements in the system. The biggest changes regarding the voltage conditions and level of load of elements, as expected, occur at the point of connection of the power plant and on lines and transformers close to the point of connection. Three operating scenarios of the power plant were considered, $\cos\varphi=1$, $\cos\varphi=0.95$ cap. and $\cos\varphi=0.95$ ind. The maximum load of the connecting line for inductive operational scenario and scenario when $\cos\varphi=1$ is 84%, while it is the highest when the power plant is operating in capacitive mode and amounts 94%. It should be noted that loading of the connection line greater than 90% in capacitive mode occurs only in 24 different hours a year. It was concluded that, due to the greater level of detail, and for operational reasons both for the investor and for the System Operator, it is more convenient to use the simulation model at the hourly level (that is, the quasi-dynamic simulation model). Based on the results with an hourly resolution, a better assessment can be made not only of critical scenarios regarding the critical voltage limits or overloading in the network, but also of the frequency of its occurrence.

Keywords: quasi-dynamic calculation, power flow, solar power plant, simulation model, connection to the system.

Biography of the presenter



Sara Stamatović, MSc. El. Eng, graduated from the School of Electrical Engineering in Belgrade, Power Engineering module. In her master's studies, she majored in renewable energy sources, and defended her master's thesis entitled "Extraterrestrial Photovoltaic Systems" in 2023. In addition to electrical engineering, she also enrolled in master's studies at the Faculty of Mathematics in Belgrade, Astrophysics module. In 2023. she started her job as an Associate at the Nikola Tesla Institute, where she works in the Center for Power Systems. Her professional activity has been focused on the modeling of power system elements in software applications such as DIgSILENT and

PSS E, power flow and short circuit analyzes, as well as other study analyzes of static conditions and dynamic states.

Формирање симулационог модела за прорачун еквивалентне импедансе преносне мреже

Милица Дилпарих Цакић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија
ORCID: 0000-0001-5668-8367

Кратак садржај

У раду је представљено формирање симулационог модела за потребе анализе утицаја обновљивих извора енергије (ОИЕ) на квалитет електричне енергије у преносном систему. Рад даје конкретан пример из праксе. Задатак је био одредити еквивалентну импедансу система у фреквенцијском домену у појединим тачкама мреже. То су тачке у којима се очекује прикључење значајније снаге из ОИЕ. Симулациони модел треба да да матрицу импеданси система у изабраним тачкама за различите случајеве. Другим речима, потребно је одредити сопствену матрицу система у одабраним тачкама, за различите случајеве и при различитим фреквенцијама, тзв. *frequency sweep* анализа.

Да би се одредила импеданса система достављен је сложен симулациони модел целокупне преносне мреже, који укључује доста елемената различитих напонских нивоа. Такође достављено је шест различитих радних режима, односно различитих операционих сценарија који се односе на нивое оптерећења и генерисања у мрежи. Достављени су режими летњег минимума и максимума за две године, као и режими зимског минимума и максимума за једну годину.

Такође, достављен симулациони модел је дат у програмском пакету *Siemens PSSE* а захтевано је да прорачуни буду рађени у софтверу *Digsilent PowerFactory*. За ове потребе извршена је конверзија симулационог модела, за све достављене режими из једног софтверског пакета у други. Верификација модела је извршена поређењем резултата токова снага у оба софтвера. Усвојено је да је довољно добро конвертован модел онај за који је постигнут резултат разлике у токовима активних снага до 3% а у токовима реактивне снаге до 5%.

Овако формиран симулациони модел је додатно унапређен уважавањем зависности промене импедансе водова и трансформатора у мрежи од фреквенције. Другим речима, за преносне водове и трансформаторе унета је у модел зависност њихове импедансе од фреквенције. Потом такве импедансе улазе у прорачун укупне еквивалентне импедансе система. Важно је напоменути да је овај тип податка специфичан и ретко јавно доступан па су при моделовању уважене опште препоруке које су за ове потребе дефинисане *CIGRE* брошуром 766. Њима се уважава промена отпорности елемената са фреквенцијом као последица скин ефекта, док се промена реактансе са фреквенцијом усваја као линеарна.

На формираном симулационом моделу вршена је *frequency sweep* анализа за свих шест радних стања мреже. За свако стање уважен је, поред основног прорачуна, и прорачун са испадима неког од водова или трансформатора у мрежи. На тај начин добијена је матрица која садржи сопствену импедансу система у одабраној тачки у фреквенцијском домену, за велики број различитих стања у мрежи. Због тога модел може послужити за свеобухватну процену утицаја ОИЕ на квалитет електричне енергије у тачки прикључења. Такође у модел се, ако је потребно, могу интегрисати мерења хармоника и фликера.

Кључне речи: квалитет електричне енергије, сопствена импеданса система, *frequency sweep* анализа, конверзија модела, *Digsilent PowerFactory*.

Биографија предавача



Милица Дилпарић Цакић, виши стручни сарадник
Рођена је 13.06.1988. године у Ужицу. Основну и средњу школу завршила је у Новој Вароши као носилац Вукове дипломе. Студије на електротехничком факултету у Београду, започиње 2007. године и завршава 2012. године на одсеку за електроенергетске системе. Мастер студије завршава од 2011. до 2012. године. 2012. године уписује докторске студије на матичном факултету, на одсеку Електроенергетске мреже и системи.

У Институту Никола Тесла је запослена од 2014. године у центру за електроенергетске системе. Током десетогодишњег радног искуства учествовала је на великом броју студија које су обухватале сегменте планирања дистрибутивне мреже, повећања енергетске ефикасности и стратешке енергетике. Такође, највећи део студија обухвата системске анализе које се тичу динамичких одзива система и стабилности система. У оквиру свог рада бавила се и студијама прикључења обновљивих извора енергије и анализама услова прикључења на дистрибутивном и преносном систему.

Током рада специјализовала се у коришћењу софтвера опште намене као што су *MS office*, *AutoCad* и *Matlab*. Такође има значајног искуства у раду са софтверима специјализованим за електроенергетске прорачуне као што су Токови Снага (софтвер развијен у Институту Никола Тесла), *PSS Sincal*, *PSSE Siemens*, *Digsilent Power Factory*, *Antares* и сл. Током свог рада и студирања објавила је као аутор или коаутор око 15 радова на стручним домаћим и међународним конференцијама.

Simulation Model for the Calculation of the Equivalent Impedance of the Transmission Network

Milica Dilparic Cakić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade,
Republic of Serbia

ORCID: [0000-0001-5668-8367](https://orcid.org/0000-0001-5668-8367)

Abstract

The paper presents the formation of a simulation model for the analysis of the impact of renewable energy sources (RES) on the quality of electricity in the transmission system. The paper presents a concrete example from practice. The task was to determine the equivalent impedance of the system in the frequency domain at certain points of the network. These are the points where significant power from RES is expected to be connected. The simulation model should give the system impedance matrix at selected points for different cases. In other words, it is necessary to determine the system's own impedance at selected points, for different cases and at different frequencies, the so-called frequency sweep analysis.

In order to determine the impedance of the system, a complex simulation model of the entire transmission network, which includes many elements of different voltage levels, was submitted. Also there were six different operating modes, i.e. different operational scenarios related to load and generation levels in the network. Summer minimum and maximum regimes for two years, as well as winter minimum and maximum regimes for one year have been provided.

Also, the submitted simulation model is provided in the Siemens PSSE software package, and the calculations are required to be done in the Digsilent PowerFactory software. For these needs, the simulation model was converted for all delivered scenarios from one software package to another. Model verification was performed by comparing the power flow results in both software. It was accepted that a sufficiently well-converted model is one for which a mismatch in active power flows is up to 3% and mismatch in reactive power flows is up to 5%. The simulation model formed in this way was additionally improved by taking into account the frequency dependence of the impedance change of lines and transformers in the network. In other words, for transmission lines and transformers, the dependence of their impedance on frequency was entered into the model. Then such impedances are included in the calculation of the total equivalent impedance of the system. It is important to note that this type of data is specific and rarely publicly available, so the general recommendations defined for these purposes in CIGRE Technical Brochure TB 766 were taken into account during modeling. They take into account the change in resistance of elements with frequency as a consequence of the skin effect, while the change in reactance with frequency is adopted as linear.

A frequency sweep analysis was performed on the created simulation model for all six operating states of the network. For each scenario, in addition to the basic calculation, a calculation with outages of one of the lines or transformers in the network was taken into account. In this way, a matrix was obtained that contains the system's own impedance at a selected point in the frequency domain, for a large number of different states in the network. Therefore, the model can be used for a comprehensive assessment of the impact of RES on the power quality at the connection point. Harmonic and flicker measurements can also be integrated into the model if necessary.

Keywords: power quality, system impedance, frequency sweep analysis, model conversion, Digsilent PowerFactory.

Biography of the presenter



Milica Dilparic Cakic, senior professional associate

She was born on June 13, 1988. in Uzice. She finished primary and secondary school in Nova Varos and graduated with praises. She began her studies at the Faculty of Electrical Engineering in Belgrade in 2007 and finished in 2012 at the Department of Power Systems. She finished master's studies from 2011 to 2012. In 2012, she enrolls PhD studies at the Department of Power Grids and Systems.

She has been employed at the Nikola Tesla Institute since 2014 in the Power systems department. During ten years of work experience, she participated in a large number of studies that included the segments of planning the distribution network, increasing energy efficiency and strategic energy. Also, most of the studies include system analyzes that concern the dynamic responses of the system and the stability of the system. As part of her work, she also studied the connection of renewable energy sources and analyzed the conditions of connection to the distribution and transmission system.

During work, she specialized usage of the software for common use such as MS office, AutoCad and Matlab. She also has significant experience in working with software specialized for power calculations such as Tokovi Snaga (software developed at the Nikola Tesla Institute), PSS Sincal, PSSE Siemens, Digsilent Power Factory, Antares, etc. During her work and studies, she published as an author or co-author about 15 papers at professional domestic and international conferences.

Једна методологија за оптималну компензацију реактивне енергије на конзуму ТС 110/x kV

Бранка Ковачевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија
ORCID: 0000-0003-3084-5242

Кратак садржај

Када се разматра задатак оптималне компензације реактивне енергије у дистрибутивној мрежи неке ТС 110/X kV, тежи се оптималном лоцирању кондензаторских батерија. Математички модел дистрибутивне мреже теоријски допушта третирање сваког чвора мреже као потенцијалну локацију за уградњу кондензаторских батерија. Међутим, јасно је да ово није случај у пракси. Због тога, при одабиру потенцијалних локација за уградњу кондензаторских батерија, треба обратити пажњу на објективна ограничења, као што су врста чвора (сабирница, рачва), постојања већ уграђених кондензаторских батерија, расположивих ћелија и простора како у ТС средњег напона, тако и у ТС X/0,4 kV, доступност (власништво) посматраног чвора (сабирнице).

Поред ових објективних ограничења, у моделима дистрибутивних мрежа које карактерише изразито велики број чворова, погодно је прелиминарно издвојити ужи скуп потенцијалних локација на основу анализе осетљивости и напонских прилика. На овај начин примена алгоритма за оптималну расподелу и димензионисање кондензаторских батерија постаје практично изводљива у случају оваквих мрежа.

Да би могла да се изврши процена подобности неког решења при решавању оптимизационих задатака, дефинише се одговарајућа критеријумска функција. Вредност критеријумске функције, за дате вредности параметара, односно за потенцијално решење задатка, представља одраз тога колико дато решење успешно остварује захтеве оптимизационог задатка. На овај начин је могуће сагледати релативну предност неког решења у односу на друга. Са друге стране, вредност критеријумске функције за оптимално решење пружа информацију о трошку инвестиције која је неопходна за остваривање оптималног решења, као и о времену исплативости инвестиције.

Критеријумска функција се обично дефинише у облику укупног трошка, када је циљ да се овај укупни трошак минимизира, или у облику разлике уштеде и трошка инвестиције, када је циљ да се ова разлика максимизира. Критеријумска функција у облику укупног трошка је једноставнија за имплементацију, па је у овом случају она употребљена.

Као алгоритам за оптималну расподелу и димензионисање кондензаторских батерија у дистрибутивној мрежи, са становишта употребљивости за потребе, као и погодности за имплементацију, употребљен је алгоритам заснован на методу локалних варијација.

Метод локалних варијација се заснива на једноставној идеји да се за сваки од претходно одабраних кандидата чворова за уградњу кондензаторских батерија итеративно тестира подобност дате позиције у мрежи и одговарајуће снаге кондензаторске батерије. Подобност се прати преко резултујуће вредности критеријумске функције. Алгоритам од итерације до итерације у мрежу постепено додаје кондензаторске батерије, све до момента када вредност критеријумске функције у наредној итерацији не оствари повољнију вредност у односу на претходну итерацију или уколико се достигне претходно одабран максималан број итерација.

Метод локалних варијација је допуњен и једним кораком који, у случају мрежа средњег напона са великим бројем чворова, омогућава одређивање ужег скупа потенцијалних чворова за уградњу кондензаторских батерија. Овај корак је опциони и може да се прескочи код мрежа стандардне величине од пар стотина чворова.

Оно што треба напоменути је да описани алгоритам поседује могућност самокорекције, будући да у наредним итерацијама проверава адекватност нивоа компензације чвора где је претходно већ предложена уградња кондензаторске батерије.

Да би се омогућио најприкладнији предлог решења за одређени дистрибутивни конзум, у имплементацији алгоритма омогућен је избор типа кондензаторске батерије која може да буде предложена у оквиру оптимизационог поступка. Тако је предвиђен избор између фиксних кондензаторских батерија, кондензаторских батерија варијабилне снаге и мешовитог типа, односно система кондензаторских батерија састављеног од фиксног и варијабилног дела.

Алгоритам је имплементиран у оквиру програмског језика DPL, који представља саставни део софтверског алата *DIgSILENT PowerFactory*.

Кључне речи: компензација, критеријумска функција, дистрибутивна мрежа, реактивна енергија, *DIgSILENT PowerFactory*.

Биографија предавача



Бранка Ковачевић, рођ. Костић, је рођена 1981. године, у Београду, где је завршила основну школу и Пету београдску гимназију, природно-математички смер. Након гимназије, 1999. године је уписала Електротехнички факултет Универзитета у Београду, смер Енергетика. На четвртој години уписује смер Електроенергетски системи, док на петој години слуша и полаже (изборне) предмете углавном са смера Електромоторни погони. На предлог и иницијативу професора са катедре за електромоторне погоне, на петој години одлази на стручну праксу у иностранство, као једини студент са

енергетског смера. У току тромесечне праксе на *University of Strathclyde* у Глазгову, Велика Британија, учествовала је на пројекту *Construction and Analysis of a Corona Discharge Demonstrator*. Након повратка у Београд, почиње да ради у једној домаћој фирми, а паралелно са тим и на изради дипломског рада који је обихватао, између осталог и вишемесечна мерења у трансформаторским станицама широм Србије. Након завршетка дипломског рада под називом за који је добила оцену 10, дипломирала је 2007. године. Пар месеци након дипломирања, прелази да ради у другу, овог пута инострану компанију, а 2008. године долази у Институт Никола Тесла у Центар за електроенергетске системе. Тренутно је у звању виши стручни сарадник, а за претходних 16 година учествовала је у изради преко 50 студија и елабората, за домаће и страно тржиште, као и десетак извештаја Лабораторије за квалитет електричне енергије, чији је члан. Учествовала је и на два HORIZON2020 пројекта у периоду 2016-2021. год, а тренутно сарађује са *Fraunhofer Institute* на пројекту из ЕУ програма LIFE2021. Поред тога, учествује и у изради стратешких докумената, из области енергетике, за потребе Министарства рударства и енергетике. Члан међународне CIGRE постала је 2013. године, када је била део радне групе која се бавила квалитетом електричне енергије из соларних извора енергије.

One Methodology for Optimal Compensation of Reactive Energy of a TS 110/x kV Consumption

Branka Kovačević, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia
ORCID: [0000-0003-3084-5242](https://orcid.org/0000-0003-3084-5242)

Abstract

When considering the task of optimal compensation of reactive energy in the distribution network of some TS 110/X kV, the aim is to optimally locate capacitor banks. The mathematical model of the distribution network theoretically allows treating each node of the network as a potential location for the installation of capacitor banks. However, it is clear that this is not the case in practice. Therefore, when choosing potential locations for the installation of capacitor banks, attention should be paid to objective limitations, such as the type of node (busbar, line node), the existence of already installed capacitor banks, available cells and space both in the medium voltage transformer substations and in the TS X/0.4 kV, availability (ownership) of the observed node (bus).

In addition to these objective limitations, in models of distribution networks characterized by a particularly large number of nodes, it is convenient to preliminarily select a narrower set of potential locations based on the analysis of sensitivity and voltage conditions. In this way, the application of the algorithm for the optimal distribution and sizing of capacitor banks becomes practically feasible in the case of such networks.

In order to be able to assess the suitability of a solution when solving optimization tasks, a suitable criterion function is defined. The value of the criterion function, for the given values of the parameters, that is, for the potential solution of the task, is a reflection of how successfully the given solution fulfils the requirements of the optimization task. In this way, it is possible to see the relative advantage of a solution compared to others. On the other hand, the value of the criterion function for the optimal solution provides information about the cost of the investment that is necessary for the realization of the optimal solution, as well as about the investment payback time.

The criterion function is usually defined as a total cost, when the goal is to minimize this total cost, or as a difference between savings and investment cost, when the goal is to maximize this difference. Since it is easier to implement, the total cost criterion function was used in this case.

As an algorithm for the optimal distribution and sizing of capacitor batteries in the distribution network, from the point of view of usability for needs, as well as convenience for implementation, an algorithm based on the method of local variations was used.

The method of local variations is based on the simple idea that for each of the previously selected candidate nodes for the installation of capacitor banks, the suitability of a given position in the network and the corresponding capacity of the capacitor bank is iteratively tested. Eligibility is monitored via the resulting value of the criterion function. The algorithm gradually adds capacitor batteries to the network from iteration to iteration, until the moment when the value of the criterion function in the next iteration does not achieve a more favorable value compared to the previous iteration or if the previously selected maximum number of iterations is reached.

The method of local variations is supplemented by one step which, in the case of medium voltage networks with a large number of nodes, enables the determination of a narrower set of potential nodes for the installation of capacitor banks. This step is optional and can be skipped for networks of a standard size of a few hundred nodes.

What should be noted is that the described algorithm has the possibility of self-correction, since in subsequent iterations it checks the adequacy of the compensation level of the node where the installation of the capacitor battery was previously proposed.

In order to enable the most appropriate solution proposal for a certain distribution consumption, in the implementation of the algorithm it is possible to choose the type of capacitor battery that can be proposed as part of the optimization procedure. Thus, the choice between fixed capacitor batteries, capacitor batteries of variable power and mixed type (a system of capacitor batteries composed of a fixed and a variable part) is foreseen.

The algorithm is implemented within the DPL programming language, which is an integral part of the DIgSILENT PowerFactory software tool.

Keywords: compensation, criterion function, distribution network, reactive energy, DIgSILENT PowerFactory.

Biography of the presenter



Branka Kovačević, née Kostić, was born in 1981 in Belgrade, where she graduated from elementary school and the Fifth Belgrade High School, majoring in natural sciences and mathematics. After high school, in 1999 she entered the School of Electrical Engineering at the University of Belgrade, Department of Power Engineering. In the fourth year, she enrolls in the Power Systems major, while in the fifth year she listens (elective) courses and takes the exams mainly in the Power Converters and Drives major. At the suggestion and initiative of the professor from the Department of Power Converters and Drives, in the fifth year she went on a professional internship abroad, as the only student from the Department of Power Engineering. During a three-month internship at the University of Strathclyde in Glasgow, Great Britain, she participated in the Construction and Analysis of a Corona Discharge Demonstrator project. After returning to Belgrade, she started working in a local company, and in parallel with that, she also worked on her graduation thesis, which included, among other things, several months of measurements in transformer stations throughout Serbia. After completing her graduation thesis, for which she received a grade of 10, she graduated in 2007. A few months after graduation, she moved to work in another company, this time in a foreign company, and in 2008 she joined the Department of Power Systems in the Nikola Tesla Institute. Currently, she holds the title of senior technical associate, and for the past 16 years, she has participated in the creation of over 50 studies and reports for the domestic and foreign markets, as well as a dozen reports of the Power Quality Laboratory, of which she is a member. She also participated in two HORIZON2020 projects in the period 2016-2021, and is currently collaborating with the Fraunhofer Institute on a project from the EU LIFE2021 program. In addition, she participates in the drafting of strategic energy documents, for the needs of the Ministry of Mining and Energy. She became a member of the international CIGRE in 2013, when she was part of a working group engaged in power quality of solar PV systems.

Прогноза напонско реактивних стања у оквиру природне напонске зоне

Мирослав Драгићевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија

Кратак садржај

Циљ овог истраживања је развој одговарајућих модела машинског учења за предвиђање вредности напона на страни мреже од 400 kV. Подаци који се користе за обуку модела укључују двогодишње историјске податке о напону, заједно са хидрометеоролошким променљивима, при чему је температура најзначајнији фактор, подржан метеоролошким годишњацима. Додатни улазни подаци укључују влажност ваздуха, правац ветра, брзину ветра, падавине и појаву леда на далеководима. Предвиђање вредности напона има за циљ прогнозу ангажовања статичких реактивних резерви, са периодом узроковања од 10 минута (мин/макс/просек). Ови подаци омогућавају годишње планирање увоза енергије и периода одржавања, као и дневно планирање ангажовања капацитета. Следећи корак у истраживању је прогноза динамичких реактивних резерви, где би се за обуку модела користили узорци са фреквенцијом од једне секунде и чешћи узорци.

Кључне речи: машинско учење, прогноза напонско реактивних стања, стабло одлучивања, градијентни бустинг, регресија.

Биографија предавача



Мирослав Драгићевић, дипл. инж. ел. дипломирао је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на смеру за електроенергетске системе. Радно искуство је стекао у сектору индустријске аутоматизације које је унапредио и проширио у Електротехничком институту Никола Тесла у Центру за аутоматику и регулацију. Специјализовао се за управљање индустријским и технолошким процесима коришћењем процесних рачунара, регулацију турбина и целокупно управљање малим хидроелектранама. Обавља функцију заменика руководиоца Специјализоване лабораторије за испитивања система турбинске регулације у оквиру Лабораторије за испитивање и еталонирање. Члан је Инжењерске коморе Србије и Комисије за стандарде Н057 – Управљање и комуникација у електроенергетском систему Института за стандардизацију Србије.

Forecast of Voltage-Reactive States within the Natural Voltage Zone

Miroslav Dragicević, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade,
Republic of Serbia

Abstract

The goal of this research is to develop appropriate machine learning models for predicting voltage values on the 400 kV side of the grid. The data used for training the models include two years of historical voltage data, along with hydrometeorological variables, with temperature being the most significant factor, supported by meteorological yearbooks. Additional input data include air humidity, wind direction, wind speed, precipitation, and the appearance of ice on power lines.

The prediction of voltage values aims to forecast the engagement of static reactive reserves, with a sampling period of 10 minutes (min/max/avg). This data enables annual planning of energy imports and maintenance periods, as well as daily planning of capacity engagement. The next step in the research is the forecast of dynamic reactive reserves, where samples with a frequency of one second and more frequent samples would be used for model training.

Keywords: machine learning, forecasting voltage-reactive states, decision trees, gradient boosting, regression.

Biography of the presenter



Miroslav Dragicević, Dipl. Ing. E. E. acquired a degree in electrical engineering from the School of Electrical Engineering, University of Belgrade, in the study group for power systems. Miroslav enhanced his professional skills at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering in Center for automation and regulation, in the areas of managing industrial-technological processes using process computers, turbine regulation, and complete management of small hydroelectric power plants. He is the deputy head of the Specialized laboratory for turbine governing systems. Miroslav is a member of Engineering Chamber of Serbia as well as the Committee N057 – Control and communication in the power systems at the Serbian Institute for standardization.

Интеграција ОИЕ, батеријских складишта енергије и регулисане потрошње у виртуелну електрану једне производно потрошачке области

Јелена Павловић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија
ORCID: 0000-0001-5265-7408

Кратак садржај

Циљ овог рада је изучавање утицаја интеграције обновљивих извора енергије (ОИЕ) са променљивим примарним ресурсом на постојеће изворе електричне енергије у производно-потрошачкој области. Методолошки приступ је базиран на симулационом испитивању коришћењем *Hardware-in-the-Loop (HIL)* лабораторијског сетапа. У моделу су обухваћене две турбо јединице повезане на 110 kV сабирнице, док је паралелно традиционалној електрани прикључена ветроелектрана снаге приближно 20% од снаге традиционалне електране. Користећи типичан дијаграм промене снаге ветротурбине, анализирани су утицаји на напон и генерисану реактивну снагу традиционалне електране. Електране су опремљене стандардним регулатором виртуелне електране, а узето је у обзир типично нумеричко варирање снаге по пресеку ветропарка. Такође, у разматрање је укључен типичан дневни дијаграм напона у тачки прикључења на 110 kV мрежу. Резултати анализе показују како варијације у производњи енергије из ОИЕ утичу на варијације напона и реактивних снага у тачки прикључења, што је кључно за оптималну интеграцију ОИЕ, батеријских складишта енергије и регулисане потрошње у виртуелну електрану.

Кључне речи: обновљиви извори енергије, ветротурбине, виртуелна електрана, регулација напона и реактивне снаге.

Биографија предавача



Дипломирала је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на смеру за аутоматику. Петнаестогодишње радно искуство је стекла у Институту Никола Тесла у Центру за аутоматику и регулацију у областима напонско-реактивне регулације, групне регулације реактивне снаге, моделовања, турбинске регулације, *fast transfer* проблематике и комплетног управљања малим хидроелектранама. Руководилац је Специјализоване лабораторије за испитивања система турбинске регулације у оквиру Лабораторије за испитивање и еталонирање. Чланица је Српског националног комитета Међународног савета за велике електричне мреже *CIGRE* и Комисије за стандарде *H004* – хидрауличне турбине Института за стандардизацију Србије. Ауторка и коауторка је неколико научних и стручних радова.

Integration of Renewable Energy Sources, Battery Energy Storage and Controlled Consumption into the Virtual Power Plant of one Production-Consumption Zone

Jelena Pavlović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia

ORCID: [0000-0001-5265-7408](https://orcid.org/0000-0001-5265-7408)

Abstract

The objective of this paper is to examine the impact of integrating renewable energy sources (RES) with variable primary resource on existing power sources within a production-consumption area. Our methodology is based on simulation testing using a Hardware-in-the-Loop (HIL) laboratory setup. The model includes two turbo units connected to 110 kV busbars, with a wind power plant providing approximately 20% of the traditional power plant's capacity connected in parallel. We utilized a typical power variation diagram of the wind turbine to analyze the effect on voltage and generated reactive power of the traditional power plant. Both power plants are equipped with a standard virtual power plant controller, and we accounted for typical numerical power variations across the wind farm. Additionally, we considered a typical daily voltage variation diagram at the connection point to the 110 kV grid. Our analysis results indicate how variations in energy production from RES influence voltage and reactive power variations at the connection point. These findings are crucial for the optimal integration of RES, battery energy storage, and controlled consumption into a virtual power plant.

Keywords: renewable energy sources, wind turbine, virtual power plant, Q-V control.

Biography of the presenter



She obtained a degree in electrical engineering in School of Electrical Engineering, University of Belgrade, in the study group for automation. A 15-year long work experience gained in Nikola Tesla Institute in Center for automation and regulation, in the fields of Q-V control, reactive power, group regulation, modeling, turbine governing systems, fast transfer and complete control systems of small hydro power plants. She is head of the Specialized laboratory for testing of turbine governing systems.

Jelena is a member of Serbian national committee of the International Council on Large Electric Systems CIGRE and Committee N004 – Hydraulic turbines within Institute for standardization of Serbia. Author and co-author of several technical and scientific papers.

ИНТРОЛ-22 Аутоматски регулатор напона синхроног генератора

Др Ђорђе Стојић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија
ORCID: 0000-0002-4716-0488

Кратак садржај

У оквиру предавања приказана су решења примењена у актуелној верзији аутоматског регулатора напона (АРН) синхроног генератора ИНТРОЛ-22 Електротехничког института Никола Тесла. Поред стандардних решења дефинисаним актуелним стањем струке, унапређено решење садржи и алгоритме који омогућавају примену АРН-а у условима електроенергетских објеката у разруђеним електроенергетским системима са удаљеним чворовима, као и са преносним системом осетљивим на транзијентне нестабилности и поремећаје типа кратких спојева и учесталих испада делова система. Развијени АРН такође укључује и унапређен софтвер за идентификацију динамичких карактеристика регулационог система, за подешавање параметара регулатора напона, лимитера и стабилизатора електроенергетског система, као и за праћење променљивих стања АРН у реалном времену преко брзе РС485 серијске везе, и са специјализованим индустријским комуникационим протоколима базираним на етернету.

Кључне речи: аутоматски регулатор напона, синхрони генератор, унапређена регулациона и заштитна решења, стабилизатор електроенергетског система, етернет индустријски комуникациони протоколи.

Биографија предавача



Др Ђорђе Стојић је рођен у Београду, где је завршио основну и средњу школу. Електротехнички факултет у Београду је уписао 1989. године, где је дипломирао, магистрирао и докторирао 1994, 1996. и 2004. године, респективно. Од 1994. године је запослен у Институту Никола Тесла, у Центру за аутоматику и регулацију, где је био укључен у истраживачке и развојне пројекте у оквиру пројектовања хардверских и софтверских решења, као и управљачких и мерних алгоритама у решењима примењеним у регулацији погона, примарним регулационим круговима синхроног генератора, као и у регулисаним енергетским претварачима везаним за мрежу.

INTROL-22 Synchronous Generator Automatic Voltage Regulator

Dr. Djordje Stojić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia
ORCID: [0000-0002-4716-0488](https://orcid.org/0000-0002-4716-0488)

Abstract

The lecture presents the solutions applied in the current version INTROL-22 of the automatic voltage regulator (AVR) of the synchronous generator of the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering. In addition to the standard solutions defined by the current state of the art, the improved solution also contains algorithms that enable the application of AVR in the conditions of power facilities in power systems with remote nodes, as well as with a transmission system sensitive to transient instabilities and disturbances such as short circuits and frequent outages of parts of the system. The developed AVR also includes improved software for identifying the dynamic characteristics of the regulation system, for setting the parameters of voltage regulators, limiters and stabilizers of the power system, as well as for monitoring the variable states of the AVR in real time via a high-speed RS485 serial connection, and with specialized industrial communication protocols based on Ethernet.

Keywords: automatic voltage regulator, synchronous generator, advanced regulation and protection solutions, power system stabilizer, Ethernet-based industrial communication protocols.

Biography of the presenter



Dr. Đorđe Stojić was born in Belgrade, where he completed primary and secondary school. He enrolled at the Faculty of Electrical Engineering in Belgrade in 1989, where he graduated, and obtained master's and doctorate degrees in 1994, 1996, and 2004, respectively. Since 1994, he has been employed at the Nikola Tesla Institute, in the Center for Automation and Regulation, where he was involved in research and development projects within the design of hardware and software solutions, as well as control and measurement algorithms in solutions applied in the regulation of drives, primary regulation circuits of the synchronous generator, as well as in regulated power converters connected to the network.

Нивои електромагнетских поља у околини преносних електроенергетских водова и постројења и мере заштите

Др Маја Грбић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија
ORCID: 0000-0001-6668-6736

Кратак садржај

Заштита становништва од изложености електромагнетским пољима представља веома значајну област, која је предмет интензивног истраживања током последњих неколико деценија. Као резултат наведених истраживања усвојене су међународне препоруке и стандарди, а у великом броју земаља донета је и национална регулатива којом се, између осталог, утврђују и границе излагања становништва електромагнетским пољима. Ова тема је у Републици Србији постала посебно актуелна током последњих 15 година имајући у виду чињеницу да су 2009. године усвојени национални прописи из области заштите становништва од нејонизујућег зрачења у животној средини. Прописи, између осталог, утврђују границе излагања становништва у зонама повећане осетљивости, као и начин и периодично испитивања. Пошто су предмет разматрања преносни водови и постројења, дат је приказ и анализа најзначајнијих одредби националних прописа које се односе на електромагнетско поље индустријске учестаности (50 Hz). Испитивања се у пракси спровode путем мерења, а у одређеним случајевима и путем прорачуна. Мерењем се добијају резултати електричног и магнетског поља у датом тренутку, који зависе од услова на терену у време мерења. Под овим условима подразумевају се тренутна геометрија извора поља, његово струјно оптерећење, напони, као и постојање објеката у близини мерних места који могу довести до пертурбације електричног поља. Приликом оцењивања усаглашености са прописаним границама излагања неопходно је имати у виду погонске услове извора који су најнеповољнији са аспекта нивоа поља који се јављају у његовој околини. Стога је, ради процене највећих могућих нивоа електричног и магнетског поља, у одређеним случајевима потребно вршити прорачуне поља, при чему је неопходно моделовати најкритичнији случај у погледу изложености људи. Због своје дужине и распрострањености, као и близине зонама повећане осетљивости надземни водови представљају веома значајне изворе нискофреквентног електромагнетског поља у животној средини. У случају постојећих водова и трансформаторских станица спровode се прва, а по потреби и периодична испитивања једном у четири године. У случају изградње нових преносних надземних водова и трансформаторских станица или реконструкције постојећих, важећим националним прописима предвиђена је израда стручне оцено оптерећења животне средине. Стручна оцена подразумева мерење електричног и магнетског поља, чиме се узима у обзир постојеће стање, тј. утицај постојећих извора електромагнетског поља уколико они постоје на датој локацији, као и прорачун електромагнетског поља за будуће стање, чиме се уважава допринос извора који се гради или реконструише. Уколико се првим или периодичним испитивањима у зони повећане осетљивости измери вредност електричног или магнетског поља која прекорачује референтни ниво, неопходна је примена мера за смањење вредности поља. Поменуте мере се могу применити на извору поља или наштићеној зони, а разликују се у зависности од тога да ли је потребно смањење нивоа електричног, магнетског или оба поља.

На основу великог броја испитивања спроведених у претходном периоду приказани су нивои поља који се јављају у околини преносних електроенергетских надземних водова и трансформаторских станица и дата је анализа добијених резултата. На основу искустава из претходног периода закључено је да су у пракси ретки случајеви у којима су мерењима добијене вредности електричног или магнетског поља које прекорачују прописане границе. Такође су приказани реални примери у којима је приликом претходних испитивања дошло до прекорачења референтних нивоа, као и методе које су примењене да би вредности поља биле смањене испод прописаних референтних граничних нивоа.

Кључне речи: електрично поље, магнетска индукција, нејонизујуће зрачење, преносни вод, трансформаторска станица.

Биографија предавача



Др Маја Грбић је рођена 1985. године у Београду. Основне, мастер и докторске академске студије завршила је 2010, 2012. и 2021. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Од 2010. године запослена је у Електротехничком институту Никола Тесла, у Центру за електроенергетске објекте. Током 2022. године изабрана је у звање научног сарадника и стекла је највише звање стручног саветника. Током досадашњег рада примарно се бавила истраживањима у области електромагнетских поља. Такође се бавила истраживањима у области електромагнетске интерференције, буке, обновљивих извора енергије, специфичне електричне отпорности тла и уземљења. Учествовала је у изради 25 студија и пројеката, од тога 16 пута у функцији руководиоца. Такође је учествовала у изради 60 стручних оцена оптерећења животне средине за нове или реконструисане изворе електромагнетских поља, примарно у функцији руководиоца, као и у изради 20 елабората и преко 1200 извештаја о испитивањима, од којих се већина односи на испитивања електромагнетских поља. Од 2018. године обавља функцију руководиоца акредитоване Лабораторије за испитивање електромагнетских поља. Објавила је 78 радова у националним и међународним часописима и зборницима са конференција, од којих 56 као први аутор. Награђена је за најбоље радове приказане на конференцијама *CIREД* Србија 2012. и 2022. године, као и за најбоље радове на конференцијама *CIGRE* Србија 2019, 2021. и 2023. године. Добитница је награде Привредне коморе Београда за најбољи мастер рад одбрањен у Републици Србији током школске 2011/2012. године. Такође је добитница награде Привредне коморе Србије за најбољу докторску дисертацију одбрањену у Републици Србији током школске 2020/2021. године. Чланица је међународних удружења *CIGRE* и *IEEE*, као и српских националних комитета *CIGRE* и *CIREД*.

Levels of Electromagnetic Fields in the Vicinity of Transmission Power Lines and Facilities and Mitigation Techniques

Dr. Maja Grbić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia
ORCID: [0000-0001-6668-6736](https://orcid.org/0000-0001-6668-6736)

Abstract

Protection of the general public from the exposure to electromagnetic fields is a very important area, which has been the subject of intensive research during the last few decades. As a result of the aforementioned research, international recommendations and standards were adopted, and in a large number of countries national regulations were adopted as well, which, among other things, determine the prescribed limits of exposure of the general public to electromagnetic fields. This topic has become particularly important in the Republic of Serbia during the last 15 years, bearing in mind the fact that in 2009 national regulations in the field of general public protection from non-ionizing radiation in the environment were adopted. The regulations, among other things, prescribe the exposure levels of the general public in increased sensitivity areas, as well as the methods and testing frequentness. Since transmission lines and facilities are the subject of consideration, a presentation and an analysis of the most important provisions of national regulations related to power frequency (50 Hz) electromagnetic field are given. In practice, testings are carried out by measurements, and in certain cases also by calculations. By measuring, the results of the electric and magnetic fields at a given moment are obtained, which depend on the conditions on the field at the time of measurements. These conditions include the current geometry of the field source, its load current, voltages, as well as the existence of objects near the measurement points that can lead to electric field perturbation. When evaluating compliance with the prescribed exposure limits, it is necessary to take into account the operating conditions of the source, which are the most unfavorable from the aspect of the field levels that occur in its surroundings. Therefore, in order to estimate the highest possible levels of electric and magnetic fields, in certain cases it is necessary to perform field calculations, whereby it is necessary to model the most unfavorable case in terms of human exposure. Due to their length and distribution, as well as their proximity to increased sensitivity areas, overhead lines are very important sources of low-frequency electromagnetic fields in the environment. In the case of existing lines and transformer stations, the first and, if necessary, periodic testings are carried out once every four years. In the case of the construction of new overhead transmission lines and transformer stations or the reconstruction of the existing ones, current national regulations require that an expert evaluation study referring to the influence of electromagnetic fields on the environment should be carried out. Expert evaluation study includes measurements of electric and magnetic fields, which takes into account the current state, i.e. the impact of existing electromagnetic field sources if they exist at a given location, as well as the electromagnetic field calculations for the future state, which takes into account the contribution of the source that is being built or reconstructed.

If during the first or periodic testing in the increased sensitivity area the values of the electric or magnetic field that exceed the reference level are measured, it is necessary to apply measures to reduce the field value. The aforementioned measures can be applied at the field source or at the protected area, and they differ depending on whether it is necessary to reduce the level of electric, magnetic or both fields.

Based on a large number of testings carried out in the previous period, the field levels that occur in the vicinity of transmission overhead power lines and transformer stations are shown and an analysis of the obtained results is given. Based on the experiences from the previous

period, it was concluded that in practice the cases in which the measured values of the electric or magnetic field exceed the prescribed limits are rare. Real examples in which the reference levels were exceeded during previous testings were also presented, as well as the methods that were applied to reduce the field values below the prescribed reference levels.

Keywords: electric field, magnetic flux density, non-ionizing radiation, transmission line, transformer station.

Biography of the presenter



Dr. Maja Grbić was born in Belgrade in 1985. She received a BSc, MSc and a PhD degree in 2010, 2012 and 2021, respectively, from School of Electrical Engineering, University of Belgrade. Since 2010 she has been employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, at the Power Facilities Department. In 2022 she was given the title of research associate and was appointed to the highest rank of expert advisor. Her primary field of interest has been research in the area of electromagnetic fields. She was also engaged in the research areas of electromagnetic interference, noise, renewable energy resources, specific soil resistivity and grounding. She has participated in 25 major projects, 16 times as the head of the project. She has been involved in 60 expert evaluation studies regarding influence of new/reconstructed electromagnetic field sources on the environment, primarily as the head of the study, as well as in 20 studies and over 1200 reports primarily referring to electromagnetic field testing. In 2018 she has been appointed head of the accredited Laboratory for electromagnetic field testing. She has published 78 papers in national and international journals and conference proceedings, 56 of which as the main author. She was awarded for the best papers presented at CIRED Serbia conferences (2012 and 2022) and for the best papers presented at CIGRE Serbia conferences (2019, 2021 and 2023). She was awarded by the Belgrade Chamber of Commerce for the best master's dissertation presented in the Republic of Serbia during the 2011/2012 academic year. She was also awarded by the Serbian Chamber of Commerce for the best doctoral dissertation presented in the Republic of Serbia during the 2020/2021 academic year. She is a member of CIGRE and IEEE as well as Serbian national CIGRE and CIRED Committees.

Високонапонски каблови – носиоци енергије градова будућности

Мр Нинослав Симић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија
ORCID: 0009-0002-8241-3759

Кратак садржај

Тема овог излагања су подмени кабловски водови високог напона, које користимо за пренос и дистрибуцију енергије у урбаним зонама. Данас, каблови су постали онај невидљиви део мреже, који нам омогућавају живот у градовима, без обзира да ли напајамо енергијом велике пословне објекте, тржне центре, стамбене комплексе или пунионице електричних возила. У овом излагању је најпре дат поглед на тренутно стање у преносној кабловској мрежи напонског нивоа 110 kV у Србији, са посебним освртом на Београд као највећи градски конзум. Кроз примере су показани типови употребљених каблова, који су уграђивани током времена, као и типизирани пресеци и очекиване снаге које ови каблови могу пренети. Пошто се очекује велика поузданост кабловске мреже, аудиторијуму ће бити презентован кратки осврт на методе испитивања и неопходне техничке услове за извођење испитивања, које омогућавају процену стања кабловских водова. Тежња ка смањењу губитака у преносној мрежи и ограничење постојећих сировина за израду каблова, одредили су развој нових технологија и примену суперпроводника као будућност у овој области. На крају ове презентације укратко су приказана нова решења у конструкцији каблова и њихова тренутна примена.

Кључне речи: високонапонски каблови, пренос, мрежа, град.

Биографија предавача



Нинослав Симић је рођен 1974. године у Дрвару, где завршава основну школу, а потом живи у Сремској Митровици где завршава средњу електротехничку школу Никола Тесла, смер за аутоматику и рачунарску технику. Дипломирао је на Електротехничком факултету у Београду, на енергетском одсеку. Постдипломске студије на истом факултету завршава 2009. године и стиче звање магистар електротехничких наука, на смеру електроенергетска постројења и опрема. Прва искуства у електроенергетици стиче 2000. године у ТЕ Угљевик, а потом 2001. године постаје део тима у Институту Никола Тесла у Београду, где је

и данас запослен као стручни саветик. Током више од 20 година, радећи на пословима техничког одржавања и надзора, испитивања и истраживања, те на крају саветовања и решавања нестандартних кварова високонапонске опреме имао је привилегију да стекне велико искуство и детаљније спозна рад електроенергетског система. Области интересовања: анализе појава у раду електроенергетских постројења и опреме, прелазне појаве, пренапони, анализе узрока хаварија и пожара, кабловски водови, испитивања електроенергетске опреме, уземељења и громобрана, електричне инсталације ниског напона, термовизијска испитивања магнетног кола статора генератора и

електроенергетске опреме, чиме је обухватио опрему свих снага и свих напонских нивоа од 0,4 kV до 400 kV. Аутор је бројних најзапаженијих реферата на конференцијама *CIGRE* и *CIREN* националних комитета у Србији, Црној Гори и Босни и Херцеговини. Члан је међународне организације *CIGRE Paris, SC A3*, секретар у комитету *A3 CIGRE* Србија и председник комисије *N064* у Институту за стандардизацију Србије.

High-Voltage Cables – Energy Transfer Carriers of the Future Cities

MSc. Ninoslav Simić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade,
Republic of Serbia

ORCID: [0009-0002-8241-3759](https://orcid.org/0009-0002-8241-3759)

Abstract

The topic of the presentation are high-voltage underground power cables, that we use for the transmission and distribution of energy in urban areas. Today, power cables have become that invisible part of the network, which enables us to live in cities, regardless of whether we energize large commercial buildings, shopping centers, housing complexes or charging stations for electric vehicles. In this presentation, first of all, an overview of the current situation in the 110 kV transmission cable network in Serbia is given, with a special focus on Belgrade as the largest consumer. Examples show the types of used cables, which have been installed over time, as well as typical sections and expected powers that these cables can transmit. Given that the high reliability of the cable network is expected, the audience will be presented with a brief overview of the testing methods and the necessary technical conditions for performing the tests, which enable the assessment of the condition of the cable lines. The tendency to reduce losses in the transmission network and the limitation of existing raw materials for making cables, determined the development of new technologies and the application of superconductors as the future in this area. At the end of this presentation, new solutions in cable construction and their current application are briefly presented.

Keywords: high-voltage cables, transmission, network, city.

Biography of the presenter



Ninoslav Simic was born in 1974 in Drvar, where he finished primary school, after which he relocated to Sremska Mitrovica, in which he finished High school of Electrical Engineering “Nikola Tesla”, in the field of automation and computer technology. He graduated from the Faculty of Electrical Engineering in Belgrade, in the energy department. He finished postgraduate studies in the same University in 2009 and obtained the title of Master’s Degree in Electrical Engineering, in the Department of Power Plants and Equipment. He gained his first experience in the power industry in 2000 at TE Ugljevik, and then in 2001 he became member of the team of the Nikola Tesla Institute in Belgrade, where he is still employed as a senior advisor. For more than 20 years, working in the field of technical maintenance and supervision, testing and research, and finally consulting and solving non-standard failures of high-voltage equipment, he had the privilege of gaining great experience and familiarity with the power system in more detail. Areas of interest: analyzes of phenomena in the operation of power plants and equipment, transients, overvoltages, analysis of the causes of breakdowns and fires, cable lines, tests of power equipment, grounding systems and lightning protection, low-voltage electrical installations, thermographic tests of the magnetic core of generator stators and energy equipment that includes equipment of all powers and voltage levels from 0.4 kV to 400 kV. He is the author of a number of the most notable papers at the conferences of CIGRE and CIRED national

committees in Serbia, Montenegro and Bosnia and Herzegovina. He is a member of the international organization CIGRE Paris, SC A3, secretary of the A3 CIGRE Serbia committee and chairman of commission N064 at the Institute for Standardization of Serbia.

Гасом изолована постројења у мрежи електропреноса

Мр Љубиша Чичкарић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија

ORCID: 0009-0001-1730-3898

Кратак садржај

Нови трендови у потрошњи електричне енергије, прогресивна урбанизација и стални пораст потреба савременог друштва за електричном енергијом представљају све комплекснији изазов за електроенергетске системе. Недостатак простора у великим градовима за последицу има све већу потребу за компактнијим високонапонским разводним постројењима. Како би се постигло сигурније и поузданије напајање потрошача, као и већа економска корист, током последњих деценија расте примена постројења изолованих SF_6 гасом.

Конструкција постројења омогућава високу безбедност људи од струјног удара, уз ограничене просторне захтеве и велику концентрацију снаге на високим напонима (до 1100 kV у Кини) и при великим струјама (до 8000 A у Канади). Удео GIS постројења у пројектима електроенергетских објеката широм света се повећава у поређењу са другим технологијама (ваздухом изолованим или хибриднијим).

Постоји много других разлога, осим простора, где гасом изолована постројења (GIS) могу бити примењена. Неке од општих предности коришћења су економска ефикасност, висока поузданост, безбедност због оклопљености опреме, дуг радни век, ниски трошкови одржавања, ергономски дизајн, поуздан рад у екстремним условима околине. Модуларност конструкције ових постројења омогућава лаку монтажу и скраћење времена градње. Постројења су подељена на гасне коморе, што у случају квара у некој комори, доводи до искључења само ограниченог дела постројења. Мало разлагање SF_6 гаса при гашењу лука и незнатно трошење контаката прекидача и растављача при комутацијама, омогућава да постројење ради и до 20 година без одржавања.

Спецификација различитих аспеката GIS постројења, компонената и пратеће опреме је детаљно разрађена у великом броју нормативних докумената.

У раду је дат приказ историјског развоја GIS технологије. Описане су основне карактеристике SF_6 гаса и гасом изолованих постројења.

Разматрани су технички захтеви за избор GIS постројења, сагледавањем различитих фактора, који се односе на електроенергетски систем, окружење и трошкове.

SF_6 гас се може сматрати револуционарном технологијом, која је била кључни покретач савремене урбанизације. С друге стране, европски оператори преносних система, у сарадњи са произвођачима опреме и кључним заинтересованим странама, улажу велике напоре да постепено смање употребу SF_6 гаса у својим мрежама и уведу алтернативна решења.

У раду је дат кратак преглед регулативе и циљева Европске уније за смањење емисије SF_6 гаса, који припада флуорованим гасовима са ефектом стаклене баште. Почев од 2010. године, потрага за алтернативним изолационим и комутационим гасом са знатно смањеним потенцијалом глобалног загревања (GWP) је донела решења заснована на флуорнитрилу, флуоркетону и техничком ваздуху, у комбинацији са вакуумским прекидачима. У раду је презентован приказ доступних алтернативних технологија.

Алтернатива данашњим GIS постројењима се огледа у достигнућима у развоју и употреби еколошки ефикасних GIS решења и интеграцији дигиталних техника у

пројектовању и дијагностици. То подразумева комбинацију ниско-угљеничног отиска, супериорне поузданости и ниских трошкова животног циклуса у флексибилном распореду елемената.

Дигитализација мреже, од фазе пројектовања до потпуне дигиталне функционалности сваког уређаја у електроенергетском систему, је нешто што представља кључ технолошког трансфера ка будућим решењима. Оно што је већ извесно су: технологија дигиталног близанца, интегрисани интелигентни електронски уређаји (*IED*) са дигиталном улазом и излазом, комплетна база података електроенергетске мреже доступна у дигиталном облаку и интелигентни софтвер, који користи вештачку интелигенцију (*AI*) за оптимизацију рада мреже. Дигитални *GIS* неизоставно постаје део будућих електроенергетских мрежа.

Кључне речи: Гасом изолована постројења, *GIS* технологија, *SF₆* гас, алтернативна решења, дигитализација мреже.

Биографија предавача



Мр Љубиша Чичкарић је дипломирао на енергетском одсеку Електротехничког факултета Универзитета у Београду 1986. године, где је стекао и диплому Магистра електротехничких наука на смеру „Електроенергетска постројења и опрема” 2010. године.

Од 1987. године је запослен у Институту Никола Тесла у Београду, где тренутно ради у звању стручног саветника. Радио је на развоју и имплементацији термографских метода испитивања опреме у електро-постројењима различитих напонских нивоа. Од 2015. године ради као руководилац Специјализоване лабораторије за испитивања електроопреме, материјала, заштитних средстава и безбедности, у оквиру акредитоване

лабораторије Института Никола Тесла у Београду. Поседује искуство у пружању консултантских и услуга супервизије, контроле квалитета и испитивања електроенергетске опреме различитих напонских нивоа. Радио је, за потребе електропривреде, на изради студија, техничких препорука и интерних стандарда за испитивања и контроле енергетских трансформатора, обртних електричних машина, енергетских каблова и друге електроенергетске опреме. Активан је члан у *CIGRE* Србија у више студијских комитета. Аутор је бројних радова на међународним и домаћим стручним конференцијама, у монографијама и часописима.

Gas-Insulated Facilities in the Power Transmission Network

MSc. Ljubiša Čičkarić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade,
Republic of Serbia

ORCID: [0009-0001-1730-3898](https://orcid.org/0009-0001-1730-3898)

Abstract

New trends in power electricity consumption, constant increase in the needs of modern society for electricity and progressive urbanization represent an increasingly complex challenge for power systems. The lack of space in large cities results in an increasing need for more compact high-voltage switchgear. In order to achieve a safer and more reliable supply of consumers, as well as a greater economic benefit, during the last decades the application of facilities insulated with SF₆ gas has been increasing.

The construction of the facilities enables high safety of people from electric shock, with limited space requirements and a high concentration of power at high voltages (up to 1100 kV in China) and at high currents (up to 8000 A in Canada). The share of GIS installations in power facility projects worldwide is increasing compared to other technologies (air-insulated or hybrid).

There are many other reasons, besides space, where gas-insulated plants (GIS) can be applied. Some of the general advantages of use are economic efficiency, high reliability, safety due to the enclosed equipment, long service life, low maintenance costs, ergonomic design, reliable operation in extreme environmental conditions.

The modular design of these facilities enables easy assembly and shortening of construction time. The facilities are divided into gas chambers, which in the event of a malfunction in a chamber, leads to the shutdown of only a limited part of the facility. Small decomposition of SF₆ gas during arc extinguishing and minor wear of circuit-breaker and switch disconnector contacts during commutation, allows the facility to work for up to 20 years without maintenance.

The specification of various aspects of GIS facilities, components and supporting equipment is elaborated in detail in a large number of normative documents.

The paper presents the historical development of GIS technology. The basic characteristics of SF₆ gas and gas-insulated facilities are described.

The technical requirements for the selection of GIS facilities were considered various factors related to the power system, environment and costs.

SF₆ gas can be considered a revolutionary technology, which was a key driver of modern urbanization. On the other hand, European transmission system operators, in cooperation with equipment manufacturers and key stakeholders, are making great efforts to gradually reduce the use of SF₆ gas in their networks and introduce alternative solutions.

The paper provides a brief overview of the regulations and goals of the European Union for reducing the emission of SF₆ gas, which belongs to fluorinated gases with a greenhouse effect. Since 2010, the search for an alternative insulating and arc-quenching gas with a significantly reduced global warming potential (GWP) has brought solutions based on fluoronitrile, fluoroketone and technical air, combined with vacuum circuit breakers. The paper presents an overview of available alternative technologies.

The alternative to today's GIS facilities is reflected in the achievements in the development of environmentally efficient GIS solutions and the integration of digital techniques in design and diagnostics. This means combining a low carbon footprint, superior reliability and low life cycle costs in a flexible arrangement of elements.

Digitization of the network, from the design phase to the complete digital functionality of every device in the power system, is something that represents the key to technological transfer

towards future solutions. What is already certain are: digital twin technology, integrated intelligent electronic devices (IEDs) with digital input and output, a complete power network database available in the digital cloud, and intelligent software, which uses artificial intelligence (AI) to optimize the network operation. Digital GIS inevitably becomes a part of future power networks.

Keywords: Gas-insulated switchgear, GIS technology, SF₆ gas, alternative solutions, digitalization of the network.

Biography of the presenter



MSc Ljubiša Čičkarić graduated from the Faculty of Electrical Engineering at the University of Belgrade in 1986, where he also obtained a Master of Electrical Engineering degree in “Electric Power Plants and Equipment” in 2010. Since 1987, he has been employed at the Nikola Tesla Institute in Belgrade, where he currently works as an expert advisor. He worked on the development and implementation of thermographic methods of testing equipment in electrical installations of various voltage levels. Since 2015, he has been working as the head of a Specialized laboratory for testing electrical equipment, materials, protective equipment and safety, within the accredited laboratory of the Nikola Tesla Institute in

Belgrade. He has experience in providing consultancy and supervision services, quality control and testing of power equipment of various voltage levels. He worked, for the needs of the electrical power industry, on the studies, technical recommendations and internal standards for the testing and control of power transformers, rotating electrical machines, power cables and other power equipment. He is an active member of CIGRE Serbia in several study committees. He is the author of numerous papers at international and domestic professional conferences, in monographs and journals.

Иновације и трансфер технологије

Др Јелена Лукић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија
ORCID: 0000-0003-3538-203X

Кратак садржај

Процес трансформације у оквиру пројекта Акцелерације иновација и подстицаја раста предузетништва у Републици Србији – САИГЕ) који се реализује уз финансијски подршку Светске банке и Европске уније има за циљ развој иновација и трансфера технологије и тиме доприноси одрживом развоју Института. У раду су приказани типови интелектуалне својине (патент, технолошко знање, пословна тајна, жиг, индустријски дизајн, ауторско право), начини заштите права интелектуалне својине (ИС) и садржина правилника о ИС, са посебним освртом на патентну заштиту и могућим начинима финансирања раног развоја иновација и подизање нивоа технолошке спремности (енг. Technology Readiness Level – TRL). Приказани су досадашњи резултати Института и канцеларије за трансфер технологије од 2022. године, уз податке о броју пријављених иновација, патената, доказа концепта, пројекта за подизање нивоа технолошке спремности. Приказани су основни елементи потребни за израду стратегије комерцијализације и бизнис плана за иновације зреле за излазак на тржиште. Дат је кратак приказ једне успешне приче о развоју иновације од ниског нивоа технолошке спремности кроз доказ концепта, пријаве патента, до одобреног пројекта за подизање нивоа технолошке спремности за верификацију технологије у оперативном окружењу (TRL 9) и излазак на тржиште, а у складу са израђеном стратегијом комерцијализације и бизнис планом.

Кључне речи: иновације, патенти, трансфер технологије, доказ концепта, стратегија комерцијализације, бизнис план.

Биографија предавача



Др Јелена Лукић, дип. инж. техн. запослена је у Електротехничком институту Никола Тесла, Београд, Србија од 1996. године. Руководилац је Специјализоване лабораторије за испитивање изолационог уља и папира, акредитоване према ISO 17025. Аутор је преко 20 публикација у истакнутим часописима и преко 50 радова на међународним и домаћим конференцијама. Бави се анализом изолационог уља и папира и дијагностиком стања енергетских трансформатора, старењем изолационог уља и целулозе и иновацијама у области примене хемијских технологија у третману изолационих течности и PCB деконтаминације уља и трансформатора. Проналазач је два регистрована патента у овој области. Водила је више од 20 истраживачких пројеката, истакнути је члан међународног комитета CIGRE. Била је члан у око 20 CIGRE SC D1, SC A2 и IEC TC 10 WG радних група и руководилац две радне групе у IEC TC 10 и CIGRE. Тренутно руководи радном групом CIGRE WG D1.76: „Tests for the verification of quality and ageing performance of cellulose insulation for power transformers” и CIGRE SC A2 – Power Transformers: „Silver Corrosion in Transformers”. Јелена Лукић је делегат Српског националног комитета у Међународном електротехничком комитету Технички комитет 10 (IEC TC 10) – Флуиди за електротехничке примене и IEC TC 10 ко-официр за везу CIGRE SC A2.

Innovations and Technology Transfer

Dr. Jelena Lukić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia
ORCID: [0000-0003-3538-203X](https://orcid.org/0000-0003-3538-203X)

Abstract

The main objective of project Serbia Accelerating Innovation and Entrepreneurship Project – SAIGE funded by World bank and EU is growth of innovations and technology transfer to enable sustainable development of Scientific Research Institutes of Republic of Serbia, including NTI. Intellectual property rights and types of IP (patent, trademark, industrial design, copyright, trade secret) are presented in this paper, content of NTI rulebook on IP and ways of financing innovations upgrade of technology readiness level. Achievements of newly established Technology Transfer Office and number of NTI innovations, patents, proof of concepts, in NTI from 2022 is presented, as well as success story, upgrade of technology readiness level of one innovation to reach TRL 9, verification in operational environment, based on developed commercialization strategy and business plan.

Keywords: innovations, patents, proof of concept, technology transfer, commercialization strategy, business plan.

Biography of the presenter



Jelena Lukić, PhD in chemical engineering has been employed at Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, Belgrade, Serbia since 1996. She holds the position of head of a Specialized laboratory for oil and paper insulation testing, accredited according to ISO 17025. Her field of expertise is insulating oil and paper analyses and power transformers condition assessment, insulating oil and cellulose ageing, know-how in oil treatment processes for the removal of corrosive sulfur and PCB and holds two registered patents in this field. She has published 92 research and technical papers and has been a project leader of more than 20 research projects in the topics mentioned above. Jelena has been a member in more than 20 CIGRE SC D1, SC A2 and IEC TC 10 WG's over the past two decades. She is currently convener of CIGRE WG D1.76: Tests for the verification of quality and ageing performance of cellulose insulation for power transformers. Jelena Lukic is a delegate of the Serbian National Committee in International Electro-technical Committee Technical Committee 10 (IEC TC 10) – Fluids for Electro-technical Applications, Serbia NC Representative in CIGRE SC A2 – Transformers and IEC TC 10 Liaison Co-officer of CIGRE SC A2.

Развој мерне опреме за испитивање струјних мерних трансформатора у Институту Никола Тесла и остварени резултати

Др Драгана Наумовић-Вуковић, Институт Никола Тесла ад,
Универзитет у Београду, Република Србија
ORCID: 0000-0002-8334-4452

Кратак садржај

Струјни мерни трансформатори су већ више од сто година веома важан елемент у мерењима наизменичне струје, посебно у обрачунском мерењу снаге и електричне енергије. Паралелено са развојем и побољшањем њихових техничких и метролошких карактеристика, развијале су се и мерне методе и мерни уређаји. У области испитивања струјних мерних трансформатора Електротехнички институт Никола Тесла има традицију дугу више од 60 година. Од самог почетка експерти Института су активно учествовали у развоју ове области како на међународном, тако и на домаћем плану. Учествовали су у развоју и реализацији мерних система и еталона који се употребљавају како у националним метролошким лабораторијама, тако и у лабораторијама произвођача струјних мерних трансформатора. Рад даје преглед развоја мерних метода за испитивање тачности и еталонирање струјних мерних трансформатора, као и широк спектар мерних уређаја, еталона и мерних система заснованих на различитим мерним методама.

Кључне речи: струјни мерни трансформатори, испитивање тачности, еталонирање.

Биографија предавача



Др Драгана Наумовић-Вуковић је дипломирала на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 1992. године. Магистрирала је на истом факултету 1997. године. Звање доктора наука стекла је 2018. године на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду. У Институту за нуклеарне науке ВИНЧА била је запослена од 1992. до 1997. године. У периоду од 1997. до 2003. године радила је у Дирекцији за мере и драгоцене метале у Београду. Од 2003. године ради у Институту Никола Тесла, Београд, као руководица Специјализоване лабораторије за еталонирање. Активно учествује у истраживачким пројектима из области мерних техника и мерних трансформатора, а посебно у пројектима развоја мерних метода и мерних уређаја и система за испитивање тачности и еталонирање мерних трансформатора. Делегат је Српског националног комитета у Међународној електротехничкој комисији *IEC*, Технички комитет 38 (*IEC TC 38*) – Мерни трансформатори. Председник је Студијског комитета *SK A3*: Високотачносна опрема, Српског националног комитета *CIGRE* – *CIGRE* Србија.

Development of Measuring Equipment for Current Transformers Accuracy Testing at the Nikola Tesla Institute

Dr. Dragana Naumović-Vuković, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade,
Republic of Serbia

ORCID: [0000-0002-8334-4452](https://orcid.org/0000-0002-8334-4452)

Abstract

Measuring current transformers are an important and inevitable element of AC current measurement techniques. They have been in use for more than a century. In parallel with the development of technical characteristics and improvement of current transformers, the measuring methods and equipment developed too. The measurement accuracy is the most important characteristic of measuring current transformers, since that is the important factor in the accurate billing of electricity. The tradition in the field of testing current transformer's accuracy at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering is more than 60 years long. From the very beginning, the experts of the Institute have been active participants in the development of this field, both domestically and internationally. They have contributed to the development of measuring systems and standards for testing and calibration of current transformers, which have found application in laboratory calibration of the national metrology laboratories, as well as in industry. This paper provides an overview of the development of measuring methods for testing and calibration of current transformers, as well as a wide range of measuring devices and standards based on different measuring methods.

Keywords: current transformers, accuracy testing, calibration.

Biography of the presenter



Dragana Naumovic Vukovic, PhD received the Dipl. Ing. degree in Electrical Engineering and the M.Sc. degree from the University of Belgrade, Belgrade, Serbia, School of Electrical Engineering, in 1992 and 1997, respectively. She received the Ph.D. degree from the University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences in 2018. She was with the Institute of Nuclear Sciences, Vinča, Serbia, from 1992 to 1997. She was with the Bureau for Measures and Precious Metals, Belgrade, from 1997 to 2003. Since 2003, she joined the Nikola Tesla Institute, where she is currently head of Calibration Laboratory. Her current research interests include the calibration techniques for instrument transformers and electronic instrumentation, as well as the design and manufacturing of precision test equipment for instrument transformers. She is a delegate of the Serbian National Committee in the International Electrotechnical Commission IEC, Technical Committee 38 (IEC TC 38) – Instrument transformers. She is also the chair of the Study Committee SK A3: High Voltage Equipment, of the Serbian National Committee CIGRE – CIGRE Serbia.

Зелени програм сарадње науке и привреде – презентација резултата пројекта „GreenCleanS”

Др Јелена Лукић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија
ORCID: 0000-0003-3538-203X

Кратак садржај

Пројекат под акронимом „GreenCleanS” има за циљ да развије нову технологију за уклањање осмоатомног молекула елементарног сумпора, S₈, из минералних изолационих уља. Под акронимом *GreenCleanS* развија се јединствена технологија заснована на ниско-температурном еколошком третману, која не емитује загађење док изузетно ефикасно уклања елементарни сумпор из минералних изолационих уља, за разлику од постојећих технологија у свету, које могу бити емитери загађења (уколико су у уљу присутни полихлоровани бифенили), не уклањају елементарни сумпор и штавише стварају га као нус-продукт поступака реактивације адсорбената који се користе. Развој ове технологије за уклањање елементарног сумпора из трансформаторских уља обухвата третмане изолациониог уља у лабораторијским условима и на пилот постројењу након чега ће уследити демонстрација развијене технологије у индустријском окружењу на терену у мобилном постројењу Института Никола Тесла. Поступак је заснован на примени мале количине честица гвожђа на чијој површини је депонован бакар, као кључне компоненте реагенс смеше која је диспергована у полиетилен гликолу. Интензивним мешањем наведене реагенс смеше са минералним изолационим уљем при температурама нижим од 100°C долази до потпуног уклањања S₈ из уља. Висока ефикасност поступка, тј. уклањање S₈ од почетних 15 мг/кг до нивоа испод границе детекције, постигнута је употребом мале количине реагенс смеше у односу на масу уља <(0,2 мас.%), у лабораторијским условима и на пилот постројењу. Применом овог поступка и након завршне обраде са адсобентима уз сушење и филтрирање добијају се изолациона уља са побољшаним физичко-хемијским и електричним карактеристикама погодна за даљу употребу у енергетским трансформаторима. Развојем *GreenCleanS* поступка десулфуризације и интеграцијом са претходно развијеном и патентираном технологијом за уклањање полихлорованих бифенила и корозивних дибензил дисулфида формираће се јединствена мултифункционална технологија чијом применом ће бити омогућено симултано уклањање свих нежељених једињења из минералних изолационих уља. Ова технологија представља значајан напредак у односу на постојеће поступке који могу бити загађивачи или неефикасни у уклањању елементарног сумпора, пружајући изузетно ефикасно решење са минималним еколошким утицајем на животну средину.

Кључне речи: елементарни сумпор, корозивни сумпор, зелена технологија, енергетски трансформатори, минерално изолационо уље.

Биографија предавача



Др Јелена Лукић, дипл. инж. техн. запослена је у Институту Никола Тесла, Београд, Србија од 1996. године. Руководилац је Специјализоване лабораторије за испитивање изолационог уља и папира, акредитоване према *ISO 17025*. Аутор је преко 20 публикација у истакнутим часописима и преко 50 радова на међународним и домаћим конференцијама. Бави се анализом изолационог уља и папира и дијагностиком стања енергетских трансформатора, старењем изолационог уља и целулозе и иновацијама у области примене хемијских технологија у третману изолационих уља. Проналазач је два регистрована патента у овој области. Водила је више од 20 истраживачких пројеката. Истакнути је члан међународног комитета *CIGRE*, била је члан у око 20 *CIGRE SC D1, SC A2* и *IEC TC 10 WG* радних група и руководилац две радне групе у *IEC TC 10* и *CIGRE*. Тренутно руководи радном групом *CIGRE WG D1.76: „Tests for the verification of quality and ageing performance of cellulose insulation for power transformers”* и *CIGRE SC A2 – Power Transformers: „Silver Corrosion in Transformers”*. Јелена Лукић је делегат Српског националног комитета у Међународном електротехничком комитету Технички комитет 10 (*IEC TC 10*) – Флуиди за електротехничке примене и *IEC TC 10* ко-официр за везу *CIGRE SC A2*.

Green Program of Cooperation between Science and Industry – Presentation of “GreenCleanS” Project Results

Dr. Jelena Lukić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Republic of Serbia
ORCID: [0000-0003-3538-203X](https://orcid.org/0000-0003-3538-203X)

Abstract

The project under the acronym “GreenCleanS” aims to develop a new technology for removing elemental sulfur, in a form of eight atom molecule of sulphur, S₈, from mineral insulating oils. Under the acronym GreenCleanS, a unique technology is being developed based on low-temperature eco-friendly treatment, which does not emit pollution while efficiently removing elemental sulfur from mineral insulating oils, unlike existing technologies worldwide which can be pollutant emitters (if polychlorinated biphenyls are present in the oil), do not remove elemental sulfur, and, moreover create it as a by-product of the reactivation procedures of the adsorbents used. The development of this technology for removing elemental sulfur from transformer oils will involve treatments of insulating oil under laboratory conditions and at a pilot scale experiments, followed by a demonstration of the developed technology in operational environments on-site at the mobile facility of the Nikola Tesla Institute. The procedure is based on the application of a small amount of iron particles coated with copper on its surface as a key component of the reagent mixture which is dispersed in polyethylene glycol. Intensive mixing of the reagent mixture with mineral insulating oil at temperatures below 100°C enables the complete removal of S₈ from the oil. High process efficiency, the removal of S₈ from the initial 15 mg/kg to levels below the detection limit, is achieved by using a small amount of the reagent mixture relative to the oil mass (<0.2 wt.%), in laboratory conditions and on a pilot scale experiments. Applying this process and subsequent treatment with adsorbents, insulating oils with improved physical, chemical and electrical characteristics are obtained, suitable for further use in power transformers. Integration of the GreenCleanS desulfurization procedure with a previously developed and patented technology for removing polychlorinated biphenyls and corrosive dibenzyl disulfide will create a unique multifunctional technology enabling simultaneous removal of all unwanted compounds from mineral insulating oils. This technology represents a significant advancement over existing procedures that can be pollutants or inefficient in removing elemental sulfur, providing an extremely efficient solution with minimal environmental impact.

Keywords: elemental sulfur, corrosive sulfur, green technology, power transformers, mineral insulating oil.

Biography of the presenter



Jelena Lukić, PhD in chemical engineering has been employed at Nikola Tesla Institute, Belgrade, Serbia since 1996. She holds the position of head of a Specialized laboratory for oil and paper insulation testing, accredited according to ISO 17025. Her field of expertise is insulating oil and paper analyses and power transformers condition assessment, insulating oil and cellulose ageing, know-how in oil treatment processes for the removal of corrosive sulfur and PCB and holds two registered patents in this field. She has published 92 research and technical papers and has been a project leader of more than 20 research projects in the topics mentioned above. Jelena has been a member in more than

20 CIGRE SC D1, SC A2 and IEC TC 10 WG's over the past two decades. She is currently convener of CIGRE WG D1.76: Tests for the verification of quality and ageing performance of cellulose insulation for power transformers. Jelena Lukic is a delegate of the Serbian National Committee in International Electro-technical Committee Technical Committee 10 (IEC TC 10) – Fluids for Electro-technical Applications, Serbia NC Representative in CIGRE SC A2 – Transformers and IEC TC 10 Liaison Co-officer of CIGRE SC A2.

Пројекат NANO-THINK у оквиру програма ERASMUS+ Virtual Exchanges

Др Драгана Наумовић-Вуковић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
ORCID: 0000-0002-8334-4452

Кратак садржај

Пројекат „Учење критичког мишљења у науци кроз принципе нано-учења и виртуелне размене” (*NANO-THINK*), финансиран је у оквиру програма *ERASMUS+ Virtual Exchange*. Пројекат окупља партнере из земаља Западног Балкана и Аустрије, а Институт Никола Тесла је као део Универзитета у Београду један од учесника. Координатор пројекта је Факултет здравствених студија Универзитета у Риједи. Пројекат *NANO-THINK* представља свеобухватну иницијативу усмерену на стварање специјализованог програма који подстиче критичко мишљење у науци. У развоју програма користиће се начела виртуелног учења и такозваних фокусираних нано-алата, како би савременим генерацијама студената искуство учења било привлачно, занимљиво и ефикасно.

Кључне речи: *ERASMUS+ Virtual Exchange*, критичко мишљење, нано-учење, виртуелна размена.

Биографија предавача



Др Драгана Наумовић-Вуковић је дипломирала на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 1992. Магистрирала је на истом факултету 1997. године. Звање доктора наука стекла је 2018. године на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду. У Институту за нуклеарне науке ВИНЧА била је запослена од 1992. до 1997. године. У периоду од 1997. до 2003. године радила је у Дирекцији за мере и драгоцене метале у Београду. Од 2003. године ради у Институту Никола Тесла, Београд, као руководиоца Специјализоване лабораторије за еталонирање. Активно учествује у истраживачким пројектима из области мерних техника и мерних трансформатора, а посебно у пројектима развоја мерних метода и мерних уређаја и система за испитивање тачности и еталонирање мерних трансформатора. Делегат је Српског националног комитета у Међународној електротехничкој комисији *IEC*, Технички комитет 38 (*IEC TC 38*) – Мерни трансформатори. Председник је Студијског комитета *SK A3*: Високоталонска опрема, Српског националног комитета *CIGRE* – *CIGRE* Србија.

NANO-THINK Project within the ERASMUS+ Virtual Exchanges Program

Dr. Dragana Naumović-Vuković, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade,
Republic of Serbia
ORCID: 0000-0002-8334-4452

Abstract

The project “Learning critical thinking in science through the principles of nano-learning and virtual exchange” (NANO-THINK) was financed under the ERASMUS+ Virtual Exchange program. The project brings together partners from the countries of the Western Balkans and Austria, and the Nikola Tesla Institute, as part of the University of Belgrade, is one of the participants. The coordinator of the project is the Faculty of Health Studies, University of Rijeka. The NANO-THINK project is a comprehensive initiative aimed at creating a specialized program that encourages critical thinking in science. The principles of virtual learning and so-called focused nano-tools will be used in the development of the program, so that the learning experience will be attractive, interesting and effective for modern generations of students.

Keywords: *ERASMUS+ Virtual Exchange*, critical thinking, nano-learning, virtual exchange.

Biography of the presenter



Dragana Naumovic Vukovic, PhD received the Dipl. Ing. degree in Electrical Engineering and the M.Sc. degree from the University of Belgrade, Belgrade, Serbia, School of Electrical Engineering, in 1992 and 1997, respectively. She received the Ph.D. degree from the University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences in 2018. She was with the Institute of Nuclear Sciences, Vinča, Serbia, from 1992 to 1997. She was with the Bureau for Measures and Precious Metals, Belgrade, from 1997 to 2003. Since 2003, she joined the Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Serbia where she is currently head of Calibration Laboratory. Her current research interests include the calibration techniques for instrument transformers and electronic instrumentation, as well as the design and manufacturing of precision test equipment for instrument transformers. She is a delegate of the Serbian National Committee in the International Electrotechnical Commission IEC, Technical Committee 38 (IEC TC 38) – Instrument transformers. She is also the chair of the Study Committee SK A3: High Voltage Equipment, of the Serbian National Committee CIGRE – CIGRE Serbia.

РАСПОРЕД РАДА | SCHEDULE

СРЕДА, 5. ЈУН | WEDNESDAY, JUNE 5

9:30 – 10:30 **Отварање скупа** | Conference opening

Др Драган Ковачевић, Институт Никола Тесла

Проф. др Виктор Недовић, SAIGE PIU

Небојша Петровић, АД ЕМС, CIGRE

Петар Ђокић, Министар енергетике и рударства Републике Српске

Проф. др Мирослав Трајановић, саветник министра науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије

Dr. Dragan Kovačević, Nikola Tesla Institute

Prof. dr. Viktor Nedović, SAIGE PIU

Nebojša Petrović, EMS AD, CIGRE

Petar Đokić, Minister of Energy and Mining Republic of Srpska

Prof. dr. Miroslav Trajanović, Advisor to the Minister of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia

11:00 – 12:30

ПРЕДАВАЊА ПО ПОЗИВУ | INVITED LECTURES

Председавајућа: Др Маја Грбић | Chair: **Dr. Maја Grbić**

УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ КОД БУДУЋЕ ЕЛЕКТРИФИКАЦИЈЕ ВЕЛИКИХ РАЗМЕРА
RISK MANAGEMENT OF FUTURE LARGE-SCALE ELECTRIFICATION

Проф. др Младен Кезуновић | **Prof. dr. Mladen Kezunović**

ДИГИТАЛИЗАЦИЈА – РЕВОЛУЦИЈА КОЈА ВОДИ КА БУДУЋИМ ЕКОНОМИЈАМА СА НИСКИМ ЕМИСИЈАМА УГЉЕНИКА
DIGITALIZATION – A REVOLUTION LEADING TO FUTURE LOW-CARBON ECONOMIES

Проф. др Владимир Терзија | **Prof. dr. Vladimir Terzija**

13:00 – 14:30

ПРЕДАВАЊА ПО ПОЗИВУ | INVITED LECTURES

Председавајући: Др Жарко Јанда | Chair: **Dr. Žarko Janda**

ЕЛЕКТРИЧНА И МАГНЕТНА ПОЉА У БЛИЗИНИ ПРЕНОСНЕ МРЕЖЕ И ВИСОКОНАПОНСКИХ ПОСТРОЈЕЊА ЈЕДНОСМЕРНЕ СТРУЈЕ
ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS IN THE VICINITY OF TRANSMISSION NETWORK AND HVDC PLANTS

Prof. dr. Aldo Canova

ДИЗАЈН РЕГУЛАТОРА ЗА ПРИГУШИВАЊЕ ОСЦИЛАЦИЈА СНАГЕ ЗА ЕЛЕКТРАНЕ ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА ЕНЕРГИЈЕ
DESIGN OF POWER OSCILLATION DAMPING CONTROLLERS FOR RENEWABLE POWER PLANTS

Др Милан Продановић | **Dr. Milan Prodanović**

Председавајући: Драган Дабих | Chair: Dragan Dabić

Анализа утицаја прикључења соларне електране на систем помоћу квази-динамичког прорачуна

Analysis of the Connection of the Solar Power Plant to the System Using Quasi-Dynamic Calculation

Сара Стаматовић | Sara Stamatović

Формирање симулационог модела за прорачун еквивалентне импедансе преносне мреже

Simulation Model for the Calculation of the Equivalent Impedance of the Transmission Network

Милица Дилпарић Цакић | Milica Dilparić Cakić

Једна методологија за оптималну компензацију реактивне енергије на конзуму ТС 110/x kV

One Methodology for Optimal Compensation of Reactive Energy on TS 110/x kV Consumption

Бранка Ковачевић | Branka Kovačević

Прогноза напонско реактивних стања у оквиру природне напонске зоне

Forecast of Voltage-Reactive States Within the Natural Voltage Zone

Мирослав Драгићевић | Miroslav Dragičević

Интеграција ОИЕ, батеријских складишта енергије и регулисане потрошње у виртуелну електрану једне производно потрошачке области

Integration of Renewable Energy Sources, Battery Energy Storage and Controlled Consumption into the Virtual Power Plant of one Production-Consumption Zone

Јелена Павловић | Jelena Pavlović

ИНТРОЛ-22 Аутоматски регулатор напона синхроног генератора

INTROL-22 Synchronous Generator Automatic Voltage Regulator

Др Ђорђе Стојић | Dr. Đorđe Stojić

ЧЕТВРТАК, 6. ЈУН | THURSDAY, JUNE 6

Председавајућа: Др Драгана Наумовић-Вуковић | Chair: Dr. Dragana Naumović-Vuković

Нивои електромагнетских поља у околини преносних електроенергетских водова и постројења и мере заштите

Levels of Electromagnetic Fields in the Vicinity of Transmission Power Lines and Facilities and Mitigation Techniques

Др Маја Грбић | Dr. Maja Grbić

Високонапонски каблови – носиоци енергије градова будућности

High-voltage cables – energy transfer carriers of the future cities

Мр Нинослав Симић | MSc. Ninoslav Simić

Гасом изолована постројења у мрежи електропреноса

Gas-Insulated Facilities in the Power Transmission Network

Мр Љубиша Чичкарић | MSc. Ljubiša Čičkarić

10:30 – 12:00

ПРЕДАВАЊА | LECTURES

Председавајућа: **Др Јасна Драгосавац** | Chair: **Dr. Jasna Dragosavac**

Иновације и трансфер технологије
Innovations and Technology Transfer

Др Јелена Лукић | Dr. Jelena Lukić

Развој мерне опреме за испитивање струјних мерних трансформатора у Институту Никола Тесла и остварени резултати
Development of Measuring Equipment for Current Transformers Accuracy Testing at the Nikola Tesla Institute

Др Драгана Наумовић-Вуковић | Dr. Dragana Naumović-Vuković

Зелени програм сарадње науке и привреде – презентација резултата пројекта GreenCleanS

Green Program of Cooperation between Science and Industry – Presentation of “GreenCleanS” Project Results

Др Јелена Лукић | Dr. Jelena Lukić

Пројекат NANO-THINK у оквиру програма ERASMUS+ Virtual Exchanges
NANO-THINK Project within the ERASMUS+ Virtual Exchanges Program

Др Драгана Наумовић-Вуковић | Dr. Dragana Naumović-Vuković

12:30 – 14:30

ПРЕДАВАЊА ПО ПОЗИВУ | INVITED LECTURES

Председавајућа: **Др Маја Грбић** | Chair: **Dr. Maja Grbić**

ХОЛИСТИЧКИ ПРИСТУП МОДЕЛИРАЊУ И АНАЛИЗИ ОДРЖИВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА

HOLISTIC APPROACH TO MODELLING AND ANALYSIS OF SUSTAINABLE POWER SYSTEMS

Проф. др Јовица Милановић | Prof. dr. Jovica Milanović

ОСНАЖИВАЊЕ МРЕЖЕ: ИНОВАЦИЈЕ У РАЗВОДНОЈ ОПРЕМИ ЗА ЕНЕРГЕТСКУ ТРАНЗИЦИЈУ
EMPOWERING THE GRID: INNOVATIONS IN SWITCHING EQUIPMENT FOR ENERGY TRANSITION

Ненад Узелац | Nenad Uzelac

РЕЗОНАНЦЕ И ИНТЕРАКЦИЈЕ У ЕЛЕКТРИЧНИМ МРЕЖАМА – РАСТУЋИ ИЗАЗОВИ

RESONANCES AND INTERACTIONS IN ELECTRICAL NETWORKS – GROWING CHALLENGES

Мр Горан Дробњак | MSc. Goran Drobnyak