

**GOCE DELCEV UNIVERSITY, STIP, NORTH MACEDONIA
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING**

ETIMA 2025
THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE
24-25 SEPTEMBER, 2025



**TECHNICAL SCIENCES APPLIED IN ECONOMY,
EDUCATION AND INDUSTRY**



УНИВЕРЗИТЕТ
ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ
ФАКУЛТЕТ



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“, ШТИП
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

GOCE DELCEV UNIVERSITY, STIP
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING

ТРЕТА МЕЃУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА
THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE

ЕТИМА / ETIMA 2025

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ
CONFERENCE PROCEEDINGS

24-25 септември 2025 | 24-25 September 2025

ISBN: 978-608-277-128-1

DOI: <https://www.doi.org/10.46763/ETIMA2531>

Главен и одговорен уредник / Editor in Chief

проф.д-р Сашо Гелев
Prof.d-r Saso Gelev

Јазично уредување / Language Editor

Весна Ристова (македонски) / Vesna Ristova (Macedonian)

Техничко уредување / Technical Editing

Дарко Богатинов / Darko Bogatinov

Издавач / Publisher

Универзитет „Гоце Делчев“, Штип / Goce Delcev University, Stip
Електротехнички факултет / Faculty of Electrical Engineering

Адреса на организационен комитет / Address of the organizational committee

Универзитет „Гоце Делчев“, Штип / Goce Delcev University, Stip
Електротехнички факултет / Faculty of Electrical Engineering

Адреса: ул. „Крсте Мисирков“ бр. 10А / Address: Krste Misirkov, 10A

Пош. фах 201, Штип - 2000, С. Македонија / PO BOX 201, Stip 2000, North Macedonia

E-mail: conf.etf@ugd.edu.mk

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

62-049.8(062)

004-049.8(062)

МЕЃУНАРОДНА конференција ЕТИМА (3 ; 2025 ; Штип)

Зборник на трудови [Електронски извор] / Трета меѓународна конференција ЕТИМА 2025, 24-25 септември 2025 ; [главен и одговорен уредник Сашо Гелев] = Conference proceedings / Third international conference, 24-25 September 2025 ; [editor in chief Saso Gelev]. - Текст во PDF формат, содржи 357 стр., илустр. - Штип : Универзитет "Гоце Делчев", Електротехнички факултет ; Штип : "Goce Delchev" University, Faculty of Electrical engineering, 2025

Начин на пристапување (URL): <https://js.ugd.edu.mk/index.php/etima/en>. - Наслов преземен од екранот. - Опис на изворот на ден 30.10.2025. - Трудови на мак. и англ. јазик. - Библиографија кон трудовете

ISBN 978-608-277-128-1

**а) Електротехника -- Примена -- Собири б) Машинство -- Примена -- Собири
в) Автоматика -- Примена -- Собири г) Информатика -- Примена -- Собири**

COBISS.MK-ID 67297029



Трета меѓународна конференција ЕТИМА
24-25 Септември 2025
Third International Conference ETIMA
24-25 September 2025

**ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР
ORGANIZING COMMITTEE**

Драган Миновски / Dragan Minovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Сашо Гелев / Saso Gelev

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Тодор Чекеровски / Todor Cekerovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Маја Кукушева Панева / Maja Kukuseva Paneva

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Билјана Читкушева Димитровска / Biljana Citkuseva Dimitrovska

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Дарко Богатинов / Darko Bogatinov

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia



Трета меѓународна конференција ЕТИМА
24-25 Септември 2025
Third International Conference ETIMA
24-25 September 2025

**ПРОГРАМСКИ И НАУЧЕН ОДБОР
SCIENTIFIC COMMITTEE**

Антонио Курадо / António Curado

Политехнички институт во Виана до Кастело, Португалија
Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal

Стелијан – Емилијан Олтеан / Stelian –Emilian Oltean

Факултет за инженерство и информатичка технологија,
Медицински универзитет Ѓеорге Емил Паладе, фармација, наука и технологија
во Таргу Муреш, Романија
Faculty of Engineering and Information Technology, George Emil Palade
University of Medicine, Pharmacy, Science, and Technology of Targu Mures, Romania

Митко Богданоски / Mitko Bogdanoski

Воена академија, Универзитет „Гоце Делчев“, Северна Македонија
Military Academy, Goce Delcev University, North Macedonia

Верица Тасеска Ѓоргиевска / Verica Taseska Gjorgievska

Македонска академија на науките и уметностите, Северна Македонија
Macedonian Academy of Sciences and Arts, North Macedonia

Југослав Ачкоски / Jugoslav Ackoski

Воена академија, Универзитет „Гоце Делчев“, Северна Македонија
Military Academy, Goce Delcev University, North Macedonia

Димитар Богатинов / Dimitar Bogatinov

Воена академија, Универзитет „Гоце Делчев“, Северна Македонија
Military Academy, Goce Delcev University, North Macedonia

Со Ногучи / So Noguchi

Висока школа за информатички науки и технологии
Универзитет Хокаидо, Јапонија
Graduate School of Information Science and Technology
Hokkaido University, Japan

Диониз Гашпаровски / Dionýz Gašparovský

Факултет за електротехника и информатички технологии,
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Георги Иванов Георгиев / Georgi Ivanov Georgiev
Технички Универзитет во Габрово, Бугарија
Technical University in Gabrovo, Bulgaria

Антон Белан / Anton Belán
Факултет за електротехника и информации технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Ивелина Стефанова Балабанова / Ivelina Stefanova Balabanova
Технички Универзитет во Габрово, Бугарија
Technical University in Gabrovo, Bulgaria

Бојан Димитров Карапeneв / Boyan Dimitrov Karapenev
Технички Универзитет во Габрово, Бугарија
Technical University in Gabrovo, Bulgaria

Сашо Гелев / Saso Gelev
Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Влатко Чингоски / Vlatko Cingoski
Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Божо Крстајиќ / Bozo Krstajic
Електротехнички факултет
Универзитет во Црна Гора, Црна Гора
Faculty of Electrical Engineering,
University in Montenegro, Montenegro

Милован Радуловиќ / Milovan Radulovic
Електротехнички факултет
Универзитет во Црна Гора, Црна Гора
Faculty of Electrical Engineering,
University in Montenegro, Montenegro

Гоце Стефанов / Goce Stefanov
Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Мирјана Периќ / Mirjana Peric
Електронски факултет
Универзитет во Ниш, Србија
Faculty of Electronic Engineering,
University of Nis, Serbia

Ана Вучковиќ / Ana Vuckovic

Електронски факултет,
Универзитет во Ниш, Србија
Faculty of Electronic Engineering,
University of Nis, Serbia

Тодор Чекеровски / Todor Cekerovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Далибор Серафимовски / Dalibor Serafimovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Мирослава Фаркаш Смиткова / Miroslava Farkas Smitková

Факултет за електротехника и информации технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Петер Јанига / Peter Janiga

Факултет за електротехника и информации технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Јана Радичова / Jana Raditschová

Факултет за електротехника и информации технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Драган Миновски / Dragan Minovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Василија Шарац / Vasilija Sarac

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Александар Тузаров / Aleksandar Tudzarov

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Владимир Талевски / Vladimir Talevski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Владо Гичев / Vlado Gicev

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Марија Чекеровска / Marija Cekerovska

Машински факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Mechanical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Мишко Цидров / Misko Dzidrov

Машински факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Mechanical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Александар Крстев / Aleksandar Krstev

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Ванчо Аџиски / Vancho Adziski

Факултет за природни и технички науки,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Natural and Technical Sciences,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Томе Димовски / Tome Dimovski

Факултет за информатички и комуникациски технологии,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Information and Communication Technologies,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Зоран Котевски / Zoran Kotevski

Факултет за информатички и комуникациски технологии,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Information and Communication Technologies,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Никола Рендевски / Nikola Rendevski

Факултет за информатички и комуникациски технологии,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Information and Communication Technologies,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Илија Христовски / Ilija Hristovski

Економски факултет,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Economy,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Христина Спасовска / Hristina Spasovska

Факултет за електротехника и информациски технологии,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Роман Голубовски / Roman Golubovski

Природно-математички факултет,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Маре Србиновска / Mare Srbinovska

Факултет за електротехника и информациски технологии,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Билјана Златановска / Biljana Zlatanovska

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Александра Стојанова Илиевска / Aleksandra Stojanova Ilievska

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Мирјана Коцалева Витанова / Mirjana Kocaleva Vitanova

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Ивана Сандева / Ivana Sandeva

Факултет за електротехника и информациски технологии,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Билјана Читкушева Димитровска / Biljana Citkuseva Dimitrovska

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Наташа Стојковиќ / Natasa Stojkovik

Факултет за информатика,

Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;

Faculty of Computer Science,

Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;



Трета меѓународна конференција ЕТИМА Third International Conference ETIMA

PREFACE

The Third International Conference “Electrical Engineering, Technology, Informatics, Mechanical Engineering and Automation – Technical Sciences in the Service of the Economy, Education and Industry” (ETIMA’25), organized by the Faculty of Electrical Engineering at the “Goce Delchev” University – Shtip, represents a significant scientific event that enables interdisciplinary exchange of knowledge and experience among researchers, professors, and experts in the field of technical sciences. The conference was held in an online format and brought together 78 authors from five different countries.

The ETIMA conference aims to establish a forum for scientific communication, encouraging multidisciplinary collaboration and promoting technological innovations with direct impact on modern life. Through the presentation of scientific papers, participants shared the results of their research and development activities, contributing to the advancement of knowledge and practice in relevant fields. The first ETIMA conference was organized four years ago, featuring 40 scientific papers. The second conference took place in 2023 and included over 30 papers. ETIMA’25 continued this scientific tradition, presenting more than 40 papers that reflect the latest achievements in electrical engineering, technology, informatics, mechanical engineering, and automation.

At ETIMA’25, papers were presented that addressed current topics in technical sciences, with particular emphasis on their application in industry, education, and the economy. The conference facilitated fruitful discussions among participants, encouraging new ideas and initiatives for future research and projects.

ETIMA’25 reaffirmed its role as an important platform for scientific exchange and international cooperation. The organizing committee extends sincere gratitude to all participants for their contribution to the successful realization of the conference and its scientific value.

We extend our sincerest gratitude to all colleagues who, through the presentation of their papers, ideas, and active engagement in discussions, contributed to the success and scientific significance of ETIMA’25.

The Organizing Committee of the Conference

ПРЕДГОВОР

Третата меѓународна конференција „Електротехника, Технологија, Информатика, Машинство и Автоматика – технички науки во служба на економијата, образованието и индустријата“ (ЕТИМА’25), организирана од Електротехничкиот факултет при Универзитетот „Гоце Делчев“ – Штип, претставува значаен научен настан кој овозможува интердисциплинарна размена на знаења и искуства меѓу истражувачи, професори и експерти од техничките науки. Конференцијата се одржа во онлајн формат и обедини 78 автори од пет различни земји.

Конференцијата ЕТИМА има за цел да создаде форум за научна комуникација, поттикнувајќи мултидисциплинарна соработка и промовирајќи технолошки иновации со директно влијание врз современото живеење. Преку презентација на научни трудови, учесниците ги споделуваат резултатите од своите истражувања и развојни активности, придонесувајќи кон унапредување на знаењето и практиката во релевантните области.

Првата конференција ЕТИМА беше организирана пред четири години, при што беа презентирани 40 научни трудови. Втората конференција се одржа во 2023 година и вклучи над 30 трудови. ЕТИМА’25 продолжи со истата научна традиција, презентирајќи повеќе од 40 трудови кои ги отсликуваат најновите достигнувања во областа на електротехниката, технологијата, информатиката, машинството и автоматиката.

На ЕТИМА’25 беа презентирани трудови кои обработуваат актуелни теми од техничките науки, со посебен акцент на нивната примена во индустријата, образованието и економијата. Конференцијата овозможи плодна дискусија меѓу учесниците, поттикнувајќи нови идеи и иницијативи за идни истражувања и проекти.

ЕТИМА’25 ја потврди својата улога како значајна платформа за научна размена и интернационална соработка. Организациониот одбор упатува искрена благодарност до сите учесници за нивниот придонес кон успешната реализација на конференцијата и нејзината научна вредност. Конференцијата се одржа онлајн и обедини седумдесет и осум автори од пет различни земји.

Изразуваме голема благодарност до сите колеги кои со презентирање на своите трудови, идеи и активна вклученост во дискусиите придонесоа за успехот на ЕТИМА’25 и нејзината научна вредност.

Организационен одбор на конференцијата

СОДРЖИНА / TABLE OF CONTENTS:

СОВРЕМЕНО РАНОГРАДИНАРСКО ПРОИЗВОДСТВО СО ПРИМЕНА НА ОБНОВЛИВИ ЕНЕРГЕТСКИ ИЗВОРИ И ТЕХНОЛОГИИ.....	15
ШИРОКОПОЈАСЕН ПРЕНОС НА ПОДАТОЦИ ПРЕКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКАТА МРЕЖА	25
TRANSIENT PHENOMENA IN BLACK START	32
OPTIMIZATION OF SURPLUS ELECTRICITY MANAGEMENT FROM MUNICIPAL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: VIRTUAL STORAGE VS BATTERY SYSTEMS.....	43
IMPACT OF LIGHT POLLUTION ON ENERGY EFFICIENCY	53
ПЕРСПЕКТИВИ, ПРЕДИЗВИЦИ И ИНОВАЦИИ ВО ПЕРОВСКИТНИТЕ СОЛАРНИ КЕЛИИ	61
ПРИМЕНА НА НАНОМАТЕРИЈАЛИ КАЈ ФОТОВОЛТАИЧНИ КЕЛИИ ЗА ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА НИВНАТА ЕФИКАСНОСТ ПРЕКУ НАМАЛУВАЊЕ НА РАБОТНАТА ТЕМПЕРАТУРА	68
LONG-TERM POWER PURCHASE AGREEMENT FOR PHOTOVOLTAIC ENERGY AS A SOLUTION FOR ENHANCING THE PROFITABILITY OF THE TASHMARUNISHTA PUMPED-STORAGE HYDRO POWER PLANT	75
СПОРЕДБЕНА АНАЛИЗА НА ПОТРОШУВАЧКА, ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И ТРОШОЦИ КАЈ ВОЗИЛА СО РАЗЛИЧЕН ТИП НА ПОГОН	87
АВТОМАТСКИ СИСТЕМ ЗА НАВОДНУВАЊЕ УПРАВУВАН ОД ARDUINO МИКРОКОНТРОЛЕР	95
ПРИМЕНА НА WAMS И WACS СИСТЕМИ ВО SMART GRID	103
IoT-BASED ENVIRONMENTAL CONTROL IN 3D PRINTER ENCLOSURES FOR OPTIMAL PRINTING CONDITIONS.....	112
BENEFITS OF STUDYING 8086 MICROPROCESSOR FOR UNDERSTANDING CONTEMPORARY MICROPROCESSOR.....	123
ПРАКТИЧНА СИМУЛАЦИЈА НА SCADA СИСТЕМ ЗА СЛЕДЕЊЕ И РЕГУЛАЦИЈА НА НИВО НА ТЕЧНОСТ ВО РЕЗЕРВОАР	130
ADVANCEMENTS IN INDUSTRIAL DIGITAL SENSORS (VERSION 3.0 TO 4.0) AND RADAR SYSTEMS FOR OBJECT DETECTION: A STATE-OF-THE-ART REVIEW.	140
CHALLENGES AND SOLUTIONS FOR ENHANCING DRONE-TO-TOC COMMUNICATION PERFORMANCE IN MILITARY AND CRISIS OPERATIONS..	148
BRIDGING TELECOM AND AVIATION: ENABLING SCALABLE BVLOS DRONE OPERATIONS THROUGH AIRSPACE DIGITIZATION.....	157
MEASURES AND RECOMMENDATIONS FOR EFFICIENCY IMPROVEMENT OF ELECTRICAL MOTORS	167
USE OF MACHINE LEARNING FOR CURRENT DENSITY DISTRIBUTION ESTIMATION OF REBCO COATED CONDUCTORS	180
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DENTAL MEDICINE	186
ИНТЕГРАЦИЈА НА ДИГИТАЛНИОТ СПЕКТРОФОТОМЕТАР ВО ДЕНТАЛНАТА МЕДИЦИНА – НОВИ МОЖНОСТИ ЗА ТОЧНОСТ И КВАЛИТЕТ	194

CORRELATION OF DENTAL MEDICINE STUDENTS' PERFORMANCE IN PRECLINICAL AND CLINICAL COURSES	205
INTRAORAL ELECTROSTIMULATOR FOR RADIATION INDUCED XEROSTOMIA IN PATIENTS WITH HEAD AND NECK CANCER.....	214
ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE OF ENDODONTIC EQUIPMENT WITH GASTRIC PACEMAKER	221
DENTAL IMPLANTS ANALYSIS WITH SEM MICROSCOPE	226
ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАТОЦИ ПРИ УПОТРЕБА НА ЛАСЕР ВО РЕСТАВРАТИВНАТА СТОМАТОЛОГИЈА И ЕНДОДОНЦИЈА.....	231
LASERS AND THEIR APPLICATION IN PEDIATRIC DENTISTRY	238
INCREASE OF ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE BEHAVIOUR THROUGH EDUCATION AND TECHNOLOGICAL INNOVATION.....	242
A DATA-DRIVEN APPROACH TO REAL ESTATE PRICE ESTIMATION: THE CASE STUDY SLOVAKIA.....	249
ANALYSIS OF THE BACKWARD IMPACTS OF A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT ON THE DISTRIBUTION SYSTEM	261
VARIANT SOLUTIONS FOR A PARKING LOT COVERED WITH PHOTOVOLTAIC PANELS.....	268
COMPARISON OF ENERGY STATUS IN PORTUGAL AND IN SLOVAKIA	279
DESIGN, ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ...	286
BATTERY STORAGE IN TRACTION POWER SUPPLY	297
THE ROLE OF CYBERSECURITY AWARENESS TRAINING TO PREVENT PHISHING.....	304
A REVIEW OF RESOURCE OPTIMIZATION TECHNIQUES IN INTRUSION DETECTION SYSTEMS	311
APPLICATION OF A ROBOTIC ARM IN A SIMPLE PICK-AND-DROP OPERATION	321
SIMULATION-BASED PERFORMANCE ANALYSIS OF A SECURE UAV-TO-TOC COMMUNICATION FRAMEWORK IN MILITARY AND EMERGENCY OPERATIONS	328
DIGITALIZATION OF BPM USING THE CAMUNDA SOFTWARE TOOL ON THE EXAMPLE OF THE CENTRAL BANK OF MONTENEGRO	339
DESIGNING A SECURE COMMUNICATION FRAMEWORK FOR UAV-TO-TOC OPERATIONS IN MILITARY AND EMERGENCY ENVIRONMENTS.....	349



Трета меѓународна конференција ЕТИМА

Third International Conference ETIMA

UDC: 004.773.4:621.316.1

<https://www.doi.org/10.46763/ETIMA253125p>

ШИРОКОПОЈАСЕН ПРЕНОС НА ПОДАТОЦИ ПРЕКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКАТА МРЕЖА

Мите Ристов¹, Христина Пиличева¹, Билјана Читкушева Димитровска¹

¹Електротехнички факултет, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија

email: mite.20688@student.ugd.edu.mk

email: hristina.20684@student.ugd.edu.mk

email: biljana.citkuseva@ugd.edu.mk

Апстракт

Овој труд претставува преглед на технологијата за широкопојасна комуникација преку електричната мрежа (Broadband over Power Line Communication - BPLC) како средство за комуникација при детекција, контрола и автоматизација на електричната мрежа. Некои од апликациите каде што оваа технологија може да се примени се пренос на информации од уреди за мерење на квалитетот на електричната енергија, системи за управување со енергија и автоматизација, управување со побарувачка и други. Во трудот е прикажан преглед и анализа на барањата за комуникациски систем базиран на BPLC, со посебен акцент на условите на постојната мрежна инфраструктура потребни за користење на оваа технологија. Трудот е изработен врз база на вистински пример, односно земена е електричната мрежа на градот Богота во Колумбија за анализа и нејзина модернизација сè со цел полесно и попрактично користење денес.

Клучни зборови:

широкопојасни, паметни, мрежа, технологии, комуникациски, податоци

1. ВОВЕД

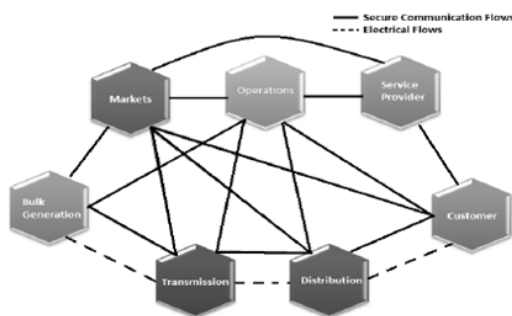
Паметните мрежи (Smart Grid) претставува режим на функционирање на електроенергетскиот систем кој користи комуникациски технологии, енергетска електроника и технологии за складирање на енергија со цел балансирање на производството и потрошувачката, како и постигнување на подобрена доверливост, безбедност и ефикасност. Од ваквите придобивки се очекува да имаат корист сите учесници во процесот на производство и потрошувачка на електрична енергија, како што се потрошувачите на енергија, енергетските компании и производствените постројки.

Со глобалниот развој на паметните мрежи, се води интензивна дискусија околу најсоодветните комуникациски технологии за нивна примена. Меѓу најчесто користените технологии во овие мрежи, широкопојасната комуникација преку електричната мрежа (Broadband over Power Line Communication – PLC) нуди низа атрактивни можности преку користење на повисоки фреквенции, поширок фреквентен опсег и високи брзини на пренос.

Овој труд ги проучува техничките карактеристики и електричниот модел на нисконапонската мрежа утврден во стандардот NTC 2050 и Техничкиот правилник за електрични инсталации (RETIE), со цел да се утврдат можностите и ограничувањата за пренос на податоци во градот Богота во Колумбија.

2. КОМУНИКАЦИСКИ СЦЕНАРИЈА

Со развојот на паметните мрежи (Smart Grid), голем број меѓународни и национални организации активно работат на изработка на стандарди. Според NIST (Национален институт за стандарди и технологија на САД), беше структуриран концептуален модел кој ги дефинира комуникациските сценарија преку електричната мрежа според нивото на напон. Овие сценарија се дефинирани на следниов начин:



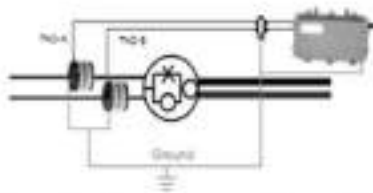
Слика 1: Интеракција на учесниците во различни домени на паметната мрежа преку безбедни комуникациски текови и електрични текови. Извор: Национален институт за стандарди и технологија (NIST) и Министерство за трговија на САД

Линиите со екстра висок напон (EHV) и висок напон (HV) се користат за преносни системи низ целата држава, а понекогаш и за меѓународен пренос на електрична енергија. На ова ниво на напон, оваа технологија не е широко применета бидејќи преносните линии обично се многу долги, што предизвикува значителна ослабеност (атенуација) на сигналот. Дополнително, комуникацијата во преносните системи обично се реализира со оптички влакна.

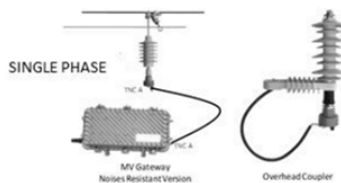
Среднонапонските (MV) дистрибутивни линии се поврзани со преносните системи преку примарни трафостаници со трансформатори. Тие се користат за распределба на електрична енергија во градови, населени места и кај индустриски потрошувачи. На ова ниво се користат пониски структури. Дополнително, може директно да се поврзат интелигентни електронски уреди (IEDs), како што се автоматски прекинувачи (reclosers), прекинувачи, кондензаторски батерии и уреди за мерење на фазори (phasor measurement units). Ова ниво на напон бара релативно ниски преносни брзини на податоци, а BPLC може да понуди економски исплатливи комуникациски решенија.

Нисконапонските (LV) дистрибутивни линии произлегуваат од секундарните кола на дистрибутивните трансформатори. Комуникацискиот сигнал може да помине низ секундарниот дел на трансформаторот до нисконапонската линија, но со значителна ослабеност на сигналот, во рамките од 55 dB до 75 dB. Овој проблем лесно се решава со сигнални спојувачи (капацитивни или индуктивни, како што е прикажано на Слика 2 и Слика 3), кои овозможуваат комуникацијата да не поминува низ трансформаторот, туку да се испрати директно од среден напон кон низок напон.

На секој трансформатор, во зависност од анализата на топологијата на системот, се поврзува главна комуникациска единица (Master Gateway). Оваа единица функционира како концентратор на податоци, собирајќи информации од сите потрошувачи напојувани од конкретниот трансформатор. Gateway уредот на нисконапонско ниво може да управува со приближно 1000 корисници. Секој корисник е дефиниран преку паметен бројач со двонасочна комуникација, кој има уникатен MAC ID, со што се овозможува надзор, контрола, мониторинг и реално-временско функционирање.



Слика 2: Подземен спојувач. Поврзливост на паметни мрежи



Слика 3: Спојување на сигнал во еднофазна среднонапонска линија преку среднонапонски спојувач

Со интеграцијата на BPLC, Националниот електроенергетски систем може да обезбеди интернет услуга, како и да ги задоволи и други потреби, покрај веќе споменатите, преку постојните мрежи. Ваквиот систем ја вклучува една од најшироко распространетите инфраструктури во земјата – преносната мрежа. BPLC може да претставува “last mile“ (последна милја) решение за обезбедување интернет услуга во рурални подрачја, без потреба од поставување дополнителна инфраструктура. Предложената шема подразбира интернет провајдер (ISP) кој обезбедува податоци до терминал со носечки бран, поставен во електрична трафостаница и поврзан со електричната мрежа.

3. КОНТРОЛА И АВТОМАТИЗАЦИЈА ВО ПАМЕТНИТЕ МРЕЖИ

Во моментот, најголемиот број технологии кои се применуваат во електричните мрежи се однесуваат на преносниот систем. Овие технологии имаат за цел да ги претворат традиционалните електрични мрежи во паметни мрежи. Некои од клучните технологии кои се користат во овие нови мрежи се:

FACTS уреди (Flexible Alternating Current Transmission Systems) – флексибилни системи за пренос на наизменична струја кои овозможуваат преносните линии да пренесат максимална моќност и да помогнат во стабилизација на мрежата преку прецизна контрола на енергијата. FACTS опфаќа сите системи базирани на енергетска електроника кои се користат за управување со преносот на електрична енергија.

Системи за контрола на широка територија (WAMS – Wide Area Monitoring Systems) – дистрибуиран систем за мерење во електроенергетските системи кој користи мерења на фазори (PMU – Phasor Measurement Units) и овозможува брза анализа на аномалии во квалитетот на електричната енергија на големи географски подрачја, со цел да се спречи развојот на опасна нестабилност во мрежата.

Фазорски мерен уред (PMU – Phasor Measurement Unit) или синхрофазор – уред кој овозможува прецизно следење на динамичката состојба на електроенергетскиот систем. Податоците од PMU, добиени од вторичните намотки на трансформаторите и струјни трансформатори, се обработуваат за добивање фазори на напон и струја, кои потоа се испраќаат до центар за собирање и распределба на податоци.

Системи за прибирање на податоци и супервизорска контрола (SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition) – овозможуваат анализа на состојбата на електричната

мрежа во реално време, при што се добиваат податоци за брза регулација на снабдувањето со електрична енергија.

Пренос на електрична енергија со висок напон на еднонасочна струја (HVDC – High Voltage Direct Current) – овозможува пренос на енергија на долги растојанија со ниски загуби, како на копно, така и под вода, како и поврзување на асинхронизирани електроенергетски системи.

4. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ НА НИСКОНАПОНСКАТА ЛИНИЈА

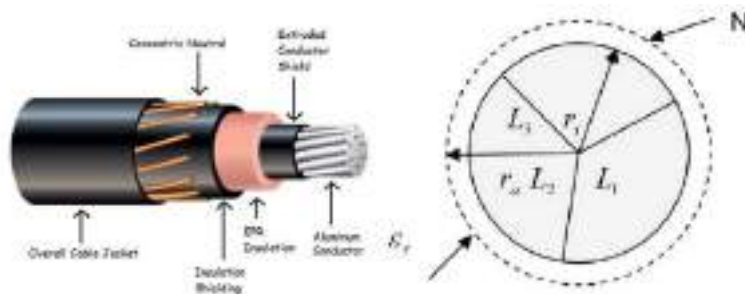
Бидејќи електричните мрежи првично не биле дизајнирани да пренесуваат комуникациски канал, тие имаат неколку недостатоци како што се широк спектар на шумови, потешкотии при спарување и слично. Дополнително, електричните мрежи имаат различни тополошки конфигурации, нивоа на напон и преносни медиуми. Па затоа користењето на BPLC преку електричните мрежи претставува предизвик кога се користи за телекомуникациски цели.

За карактеризација и моделирање на комуникацискиот канал, потребно е да се одредат и анализираат индуктивноста, отпорот, капацитетот и проводливоста (Слика 4). Овие параметри се одредуваат според својствата на каналот што се користи за пренос на податоци. Некои од овие параметри, како што е отпорот, се менуваат со фреквенцијата, додека пак вредностите на индуктивноста и капацитетот се практично независни од фреквенцијата.



Слика 4: Карактеризација и моделирање на нисконапонска линија

Постојат различни видови на проводници кои се користат во нисконапонските дистрибутивни мрежи, што имплицира дека вредностите на слабеење и карактеристичните импеданси ќе бидат многу различни. При изработката на оваа работа беа користени некои од типичните топологии кои најчесто се применуваат во Колумбија. Конфигурација со трифазни проводници и надворешен концентричен неутрален проводник, која се користи во подземни инсталации и за внатрешни кабли со пресеци 6, 8, 10, 12 и 14 AWG, за врска фаза–неутрален, обично се инсталира низ PVC цевка со дијаметар од половина инч ($\frac{1}{2}$ инч), во согласност со колумбискиот технички стандард NTC 2050.



Слика 5: Конфигурација со трифазни проводници и надворешен концентричен неутрален проводник, која се користи во подземни инсталации

5. BPLC ПАМЕТНА МРЕЖА

Предложената имплементација на паметната мрежа е развиена во градот Богота, главен град на Колумбија, на нисковолтна мрежа. Додека пак целите на имплементацијата на интелигентната мрежа беа:

- Имплементирање на паметна мрежа во мала нисковолтна електрична мрежа, вклучувајќи комуникации, обновлива енергија, автоматизација, контрола, мерење во реално време и мониторинг на квалитетот на електричната енергија.
- Евалуација на употребата на технологијата во мрежната комуникација за контрола, автоматизација, мерење и мониторинг.
- Имплементација на користење на обновлива енергија за задоволување на потрошувачката на домаќинствата. Користење на фотоволтаични панели на изолирана мрежа како замена на постојната електрична мрежа.
- Контрола, автоматизација, мерење и мониторинг на опрема за конверзија DC/AC користејќи BPLC технологија.
- Мерење и анализа на квалитетот на електричната енергија во мрежата. Пријавување на аларми и настани во реално време користејќи BPLC технологија.
- Мерење на параметри на животната средина во реално време, како брзина на ветер, интензитет на сончева светлина, температура, мониторинг на батериски банки и следење на електричните параметри на мрежата користејќи BPLC.

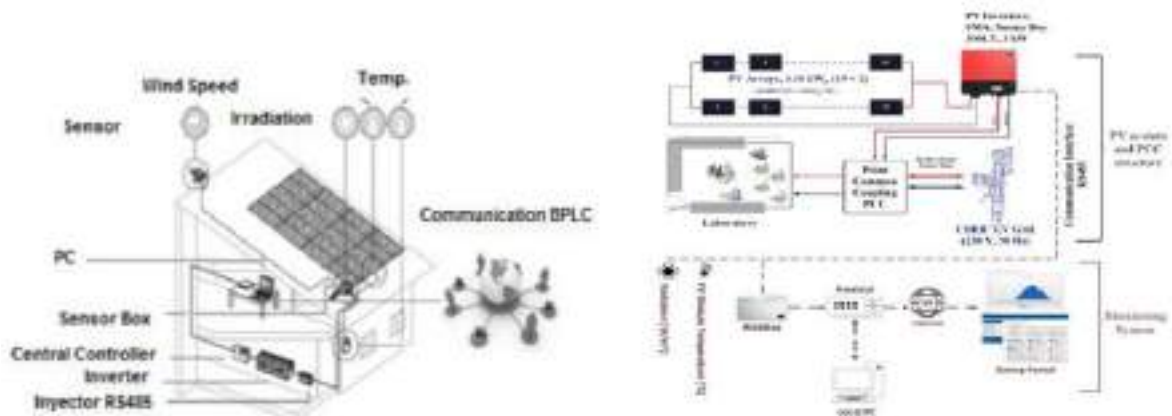
6. ОПИС И ТОПОЛОГИЈА НА МРЕЖАТА

Проектот за паметна мрежа поддржува две главни состојби: конвенционална мрежа со инвертори кои се синхронизирани со мрежата и мрежа каде што дистрибутивната мрежа или некој друг тип на генератор се користи како замена, при што инверторот е единствено одговорен за напојувањето на таа мрежа. Ако мрежата е поврзана со електричната мрежа, тогаш напојувањето доаѓа од конвенционалната мрежа. Напонот и фреквенцијата на мрежата се исти како кај конвенционалната мрежа.

Во системот на мрежата, можно е да се интегрира генератор како дополнителен јавен извор, како втор систем за резервно напојување, за да се подобри доверливоста на мрежата, како што е спомнато погоре. Ова е корисно во случај на подолги прекини во мрежата, кога капацитетот на батеријата по одредено време веќе не е доволен за обезбедување електрична енергија.

Вообичаеното решение во овие случаи е користење на прекинувач за префрлање (transfer switch), достапен во рачен или автоматски режим. Со користење на таков прекинувач, во поврзувањето на инверторот (кој обично ја поврзува јавната мрежа) се поврзува дизел генератор. На следната слика може да се види преглед на проектот. Во развојот на

проектот се користеа сензори за брзина на ветер, интензитет на сончева светлина и температура.



Слика 6: Преглед на предложената имплементација на соларна енергија, мерење на параметри на животната средина и комуникација во паметната мрежа

7. СЛЕДНИ ЧЕКОРИ

Во следните чекори во развојот на паметната мрежа се вклучени проширувањето на веќе инсталираните фотоволтаични генератори и приклучувањето на нови корисници кон мрежата. Се очекува за наредните проекти да се користат капацитетите на Националниот универзитет на Колумбија во Богота, каде ќе се искористат постоечките мрежи за комуникација, како и некои згради каде што може соодветно да се инсталираат други електрани. Друга задача што треба да се развие е пронаоѓање на повеќе придобивки од оваа паметна мрежа, кои ќе можат да се оценат преку индекси на перформанси. Ќе се оценуваат и некои индекси за квалитет на електрична енергија, како што се бројот и времетраењето на прекините, и ќе се мери намалувањето на потрошената енергија во дистрибутивната мрежа, достапноста и сигурноста на паметната мрежа, како и намалувањето на загуби, исто така ќе се применуваат и софтверски алатки за детекција и лоцирање на дефекти.

ЗАКЛУЧОК

Во овој труд беше презентирани детален преглед на мал проект за паметна мрежа во градот Богота, реализиран со употреба на BPL технологија. Предизвиците со кои се соочивме за време на дизајнот и поуките научени при имплементацијата се дискутирани и анализирани. При тоа беа опфатени карактеризацијата и моделирањето на нисконапонската линија, како и функционалноста на мрежата. Конечно, се претставени и следните чекори за подобрување на перформансите на BPLC мрежите.

Користена литература

- [1] The smart grid – an introduction, (US) Department of Energy, 2008.
- [2] Smart Grids, European technology platform for the electricity networks of the future.
- [3] Ramírez, A. “Análisis y diseño de un modelo para la lectura de datos de los contadores del servicio de energía eléctrica en un tramo de baja Tensión utilizando la red de suministro de este servicio”. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá 2007.
- [4] J. Anatory and N. Theethayi. Broadband Power-line Communication Systems. Theory and Applications. WITPress. Southampton, Boston. 2010.

- [5] Colombian Institute of Technical Standards and Certification ICONTEC. Colombian Technical Standard NTC 2050.
- [6] Narain G. Hingorani and Laszlo Gyugyi, Understanding FACTS: concepts and technology of flexible AC transmission system, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2000.
- [8] Shaobu Wang, Xiangyu Meng, and Tongwen Chen Wide-Area Control of Power Systems Through Delayed Network Communication. IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 20, NO. 2, MARCH 2012.