



Науковий журнал

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА та ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

№3'2020

*Засновано національним університетом "Запорізька політехніка"
у травні 1999 року*

Виходить 4 рази на рік

Запоріжжя

2020

Головний редактор д-р техн. наук
Яримбаш Д.С.

Заст. гол. редактора д-р техн. наук
Тіховод С.М.

Відповідальний канд. техн. наук
секретар Коцур М. І.

ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ
КОЛЕГІЇ

Yunus Biçen, Ph.D, університет Дюздже,
Туреччина;

Zgraja Jerzy, Ph.D, професор Лодзького тех-
нологічного університету, Лодзь, Польща;

Biro, Oszkar, Ph.D, професор інституту основ
і теорії електротехніки Грацького технічного,
Грац, Австрія;

Zurek Stan, Ph.D., науковий співробітник,
Кардіфський університет, Кардіфф,
Великобританія;

Sebastian Tomy, Ph.D, професор університету
Торонто, м. Торонто, Канада, технічний ек-
сперт корпорації "Motor Drives and Control
Group", Бей-Сіті, Мічиган, США;

Arturi, Cesare Mario, Ph.D., професор політе-
хнічного університету Мілана, Італія;

Ronseero-Clemente Carlos, Ph.D., професор
факультету Електроенергетика та електронні
системи, Університет Естремадури, м. Бада-
хос, Іспанія;

José Roberto Camacho, PhD, професор
електротехніки в Uberlandia федеральний
університет, Бразилія;

Mohamed Ahmed Moustafa Hassan, Ph.D.,
професор кафедри електротехніки та електро-
енергетики, Каїрський університет, Гіза, Єги-
пет.

Включено до переліку

наукових фахових видань України
(наказ МОНУ № 409 від 17.03.2020 р.,
наказ МОНУ № 1471 від 26.11.2020 р.)

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (Україна)

Загірняк М. В., д-р техн. наук, проф., Кременчуцький національний
університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна;
Зірка С. Є., д-р техн. наук, проф., Дніпровський національний універ-
ситет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна; **Міліх В. І.**, д-р техн.
наук, проф., Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків,
Україна; **Жильцов А. В.**, д-р техн. наук, проф., Національний універси-
тету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна; **Па-
ранчук Я. С.**, д-р техн. наук, проф., Національний університет "Львів-
ська політехніка", м. Львів, Україна; **Толочко О. І.**, д-р техн. наук,
проф., Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського, м. Київ,
Україна; **Бушер В. В.**, д-р техн. наук, проф., Одеський національного
політехнічного університету, м. Одеса, Україна; **Андрієнко П. Д.**, д-р
техн. наук, проф., НУ «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна;
Зіновкін В. В., д-р техн. наук, проф., НУ «Запорізька політехніка», м.
Запоріжжя, Україна; **Мороз Ю. І.**, канд. техн. наук, доц., Дніпровський
національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна;
Коцур І. М., канд. техн. наук, доц., НУ «Запорізька політехніка», м.
Запоріжжя, Україна; **Яримбаш С. Т.**, канд. техн. наук, доц., НУ «Запо-
різька політехніка», м. Запоріжжя, Україна; **Шило Г. М.**, д-р техн. наук,
доц., НУ «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна; **Фурманова
Н. І.**, канд. техн. наук, доц., НУ «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя,
Україна; **Пархоменко А. В.**, канд. техн. наук, доц., НУ «Запорізька по-
літехніка», м. Запоріжжя, Україна; **Щербовських С. В.**, д-р. техн. наук,
доц., Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів,
Україна; **Мартинюк В. В.**, д-р. техн. наук, проф., Хмельницький націо-
нальний університет, м. Хмельницький, Україна; **Кочан В. В.**, канд.
техн. наук, доц., Тернопільський національний економічний універси-
тет, м. Тернопіль, Україна; **Глоба Л. С.**, д-р. техн. наук, проф., Націо-
нальний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м.
Київ, Україна; **Скулиш М. А.**, канд. техн. наук, с.н.с., Національний
технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ,
Україна.

Журнал включено до міжнародних наукометричних баз, каталогів та систем пошуку: *Index Copernicus*,
CrossRef; *Directory of Open Access Journals (DOAJ)*; *OpenAIRE*; *Public Knowledge Project (PKP)*; *ResearchBib -
Academic Recourse Index*; *Scientific Indexing Services (SIS)*; *Ulrich's Periodicals Directory*; *WorldCat*;
КіберЛенінка; *Наукова періодика України – проект Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського
(НБУВ)*.

У науковому журналі друкуються результати фундаментальних та прикладних досліджень, зокрема резуль-
тати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук у галузі елек-
тротехніки та електроенергетики у відповідності з рубриками: 1. Електротехніка; 2. Електроенергетика.

Журнал розповсюджується за Каталогом періодичних видань України (передплатний індекс – 22913)

Видавець: Національний університет "Запорізька політехніка", м. Запоріжжя. Свідчення суб'єкта видавничої справи
ДК №6952 від 22.10.2019р.

Реєстрація журналу: Журнал зареєстровано у Міністерстві юстиції України. Свідчення про державну реєстрацію КВ №24219-
14059 ПР від 07.11.2019р.

Адреса редакції: Редакційно-видавничий відділ, національний університет "Запорізька політехніка", вул. Жуковського,
64, м. Запоріжжя, 69063, Україна. Телефон: +380(61)769-82-96 Факс: (061) 764-21-41 e-mail: rrvv@zntu.edu.ua.
Електронна адреса журналу <http://ee.zntu.edu.ua> E-mail: etae@ukr.net

Комп'ютерна верстка Дяченко О.О. Редактор англійських текстів Войтенко С.В. Журнал підписано до друку 08.10.2020 за рекомендаці-
єю вченої ради національного університету "Запорізька політехніка" (протокол №2/20 від 28.09.2020 р.). Формат 60x84/8. Ум. Др. Арк.
4,19. Тираж 300 прим. Зам. №1073



Scientific journal

ELECTRICAL ENGINEERING & POWER ENGINEERING

№3'2020

Founded by Zaporizhzhia Polytechnic National University in May 1999

4 issues per year

Zaporizhzhia

2020

Editor-in-chief Prof., Sc.D.
Dmitro Yarymbash
Associate Editor-in-chief Assoc. prof., Sci.D.,
Sergiy Tihovod
Senior secretary Assoc. prof., Ph.D.
Mikhailo Kotsur

*The journal has been included
scientific professional editions of Ukraine
(Order of the Ministry of Education and Science
№ 409 dated 17.03.2020,
Order of the Ministry of Education and Science
№ 1471 dated 26.11.2020)*

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD

Yunus Biçen, Ph.D. Duzce University, Turkey;
Prof. Jerzy Zgraja, Ph.D., Lodz University of Technology, Lodz, Poland;
Prof. Oszkár Bíró, Ph.D., Technical University of Graz, Graz, Austria;
Zurek, Stan, Ph.D., Research Associate, Cardiff University, Cardiff, United Kingdom;
Sebastian Tomy, Ph.D, Toronto University, Canada, (Technical Expert, Motor Drives and Control Group, Bay City, Michigan, USA);
Arturi Cesare Mario, Ph.D., Prof., Polytechnic University of Milan, Italy;
Carlos Roncero-Clemente, Ph.D., Prof., Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain;
José Roberto Camacho PhD, Prof., Universidade Federal de Uberlândia, Brazil;
Mohamed Ahmed Moustafa Hassan, Ph.D., Prof., Cairo University, Giza, Egypt.

MEMBERS OF EDITORIAL BOARD (Ukraine)

M.V. Zagirnyak, Sc.D., prof., Kremenchuk Michaylo Ostrogradskiy National University; **S. E. Zirka**, Sc.D., prof., Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine; **V. I. Milykh**, Sc.D., prof., National Technical University "KhPI", Kharkiv, Ukraine; **A. V. Zhylytsov**, Sc.D., prof., National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine; **Ya. S. Paranchuk**, Sc.D., prof., Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine; **O. I. Tolochko**, Sc.D. prof., Kyiv Polytechnic National Technical University, Kiev, Ukraine; **V. V. Busher**, Sc.D., prof., Odesa National Polytechnic University, Odesa, Ukraine; **P. D. Andrienko**, Sc.D., prof., Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine; **V.V. Zinovkin**, Sc.D., prof., Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine; **Yu I. Moroz**, Ph.D., assoc. prof., Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine; **I. M. Kotsur**, Ph.D, assoc. prof., Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine; **S. T. Yarymbash**, Ph.D, assoc. prof., Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine; **G. M. Shilo**, Sci.D., assoc. prof., Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine; **N. I. Furmanova**, Ph.D., assoc. prof., Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine; **A. V. Parkhomenko**, Ph.D., assoc. prof., Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine; **S. V. Shcherbovskykh**, Sc.D., assoc. prof., Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine; **V. V. Martynyuk**, Sc.D., prof., Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine; **V. V. Kochan**, Ph.D., assoc. prof., Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine; **L. S. Globa**, Sc.D. prof., Kyiv Polytechnic National Technical University, Kyiv, Ukraine; **M. A. Skulish**, Ph.D., assoc. prof., Kyiv Polytechnic National Technical University, Kyiv, Ukraine;

The journal included in the international scientometric databases, catalogs and search systems: Index Copernicus; CrossRef; Directory of Open Access Journals (DOAJ); Google Academy; OpenAIRE; Public Knowledge Project (PKP); ResearchBib - Academic Resource Index; Scientific Indexing Services (SIS); Ulrich's Periodicals Directory; WorldCat; CyberLeninka; Scientific Periodicals of Ukraine — the project of the National Library of Ukraine named V.I. Vernadsky (NBUV).

The scientific journal publishes the results of fundamental and applied research, in particular the results of dissertation papers for obtaining the scientific degrees of a Sc.D. and a Ph.D. of technical sciences in the field of electrical engineering and electrical engineering in accordance with the headings: 1. Electrical engineering; 2. Power engineering.

The journal is distributed by the Catalog of periodicals of Ukraine (subscription index – 22913)

Founder and editor: Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia. Certificate of publisher Civil Code №6952 dated October 22, 2019.

Journal was registered: by the Ministry of Justice of Ukraine. Registration number KV № 24219-14059 PR dated November 7, 2019.

Address of editor and editorial office: Zaporizhzhia Polytechnic National University, st. Zhukovsky, 64, Zaporozhia, 69063, Ukraine. Phone: +380(61)769-82-96 Fax: (061) 764-21-41 e-mail: rvv@zntu.edu.ua.

E-address: <http://ee.zntu.edu.ua>; **E-mail:** etae@ukr.net

Computer layout Dyachenko O.O. Editor of English texts Voitenko S.V. The journal was signed on October 08, 2020 on the recommendation of the academic council of the Zaporizhzhia Polytechnic National University (Protocol No. 2/20 dated september 28, 2020). Sheet size 60x84/8. Cond. Print. Sheets 4,19. Number of copies printed 300. Rep. №1073