

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

ПРАЦІ

Таврійського державного
агротехнологічного
університету



Випуск 24, том 2
Наукове фахове видання
Технічні науки



Запоріжжя – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



ПРАЦІ

**Таврійського державного
агротехнологічного університету**
Технічні науки

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**
Technical sciences

*Виходить 3 рази на рік
Видається з 1998 р.*

**Випуск 24, том 2
Issue 24, volume 2**

WEB: <https://oj.tsatu.edu.ua>

DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2

**Запоріжжя
2024**



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 2. 206 с.

ISSN 2220-8674

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Реферативні бази: Crossref, Google Scholar, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

Головний редактор

Кюрчев В. М., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)

Заступники головного редактора

Надикто В. Т., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)
Панченко А. І., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Відповідальний секретар

Волошина А. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Технічний секретар

Погорельцева Д. О. (Україна)

Editor in chief

Kyurchev V., corresponding member of NAAS of
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Deputy editors in chief

Nadykto V., corresponding member of NAAS of
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Panchenko A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Executive secretary

Voloshina A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Technical secretary

Pogoreltseva D. (Ukraine)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Белоев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)
Івановс Семенс, д-р техн. наук (Латвія)
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)
Паскуцці Сімон, PhD, доц. (Італія)
Финдура Павол, PhD, проф. (Словачія)
Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Журавель Д. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кувачов В. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Скляр О. Г., канд. техн. наук, проф. (Україна)
Скляр Р. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)

SECTORAL MACHINE BUILDING

Beloev Hristo, Dr. Sci. Tech., Prof. (Bulgaria)
Damanauskas Vidas, Dr. Sci. Tech. (Lithuania)
Ivanovs Semjons, Dr. Sci. Tech. (Latvia)
Olt Jüri, PhD, Dr. Sci. Tech., Prof. (Estonia)
Pascuzzi Simone, PhD, Assoc. Prof. (Italia)
Pavol Findura, PhD, Prof. (Slovakia)
Vershkov O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Didur V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Zhuravel D., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kuvachov V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kiurchev S., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Sclyar O., Cand. Sci. Tech, Prof. (Ukraine)
Sclyar R., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Titova O., Dr. Sci. Ped., Prof. (Ukraine)

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

Шафранець Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польща)
Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)
Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Кузнецов М. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Лисенко О. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Плюгін В. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**ELECTRICAL POWER ENGINEERING,
ELECTRICAL ENGINEERING AND
ELECTROMECHANICS**

Szafraniec Andrzej, Dr. Sci. Tech., Prof. (Poland)
Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)
Burian S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Halko S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Karpaliuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kvitka S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kuznietsov M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lysenko O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Miroshnyk O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Moroz O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pliuhin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

Гавриленко Є. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Лясковська С. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Малкіна В. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мацулевич О. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Холодніак Ю. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Яблонський П. М., канд. техн. наук, доц. (Україна)

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Євлаш В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Ломейко О. П., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Пилипенко Л. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Пріс О. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Сердюк М. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Ялпачик В. Ф., д-р техн. наук, проф. (Україна)

ПРАЦІ

**Таврійського державного
агротехнологічного університету**

Випуск 24, том 2

Засновник

Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 1998 році

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ №24285-14125ПР від 27.12.2019 р.
Виходить 3 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного
університету
імені Дмитра Моторного
Протокол № 10 від 28.05.2024 р.

«Праці ТДАТУ» включено до **Категорії Б**
Переліку наукових фахових видань України
(науки: технічні), в яких можуть
публікуватися результати дисертаційних
робіт на здобуття наукових ступенів
доктора наук і доктора філософії /
кандидата наук (накази МОН України від
17.03.2020 р. № 409)

Адреса редакції

Юридична: 72312, Запорізька обл.
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18
Фактична: 69600, Запорізька обл.
м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66
<https://oj.tsatu.edu.ua>
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2

COMPUTER SCIENCES

Havrylenko Ye., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Hnatushenko V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Humen O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Dashkevych A., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Lubko D., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Liaskovska S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Malkina V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Matsulevych O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kholodniak Y., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Yablonskyi P., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)

FOOD TECHNOLOGIES

Deynichenko G., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Evlash V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lomeiko O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Palamarchuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pylypenko L., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Priss, O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Samoichuk K., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Serdyuk M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Yalpachik V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

Issue 24, volume 2

Founder

Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University

Founded in 1998

Certificate of governmental registration
KB No. 24285-14125ПР dated December 27, 2019
Published 3 times a year

Recommended for publication by the Academic
Board of Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University
Record No. 10 dated May 28, 2024

Proceedings of TSATU is included in the List of
scientific professional editions of Ukraine
(technical sciences), category B, in which the
results of theses for obtaining scientific degrees
of Doctor of Sciences and Doctor of Philosophy /
Candidate of Sciences can be published (order of
the Ministry of Education and Science of Ukraine
dated March 17, 2020, No. 409)

Address of the Editorial office

Legal address: 72312, Zaporizhzhia region
Melitopol, 18, B. Khmelnytskyi Ave.
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskiy Str.
<https://oj.tsatu.edu.ua>
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2



ЗМІСТ / CONTENTS

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

- Журавель Д. П., Бондар А. М.** Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання адаптивного рульового керування колісного трактора 7
Zhuravel D., Bondar A. Feasibility study of the feasibility of using adaptive steering of a wheeled tractor
- Самойчук К. О., Самохвал В. А., Червоткіна О. О.** Дослідження роботи багатосекційного пристрою формування паливних брикетів на гвинтових прес-екструдерах 18
Samoichuk K., Samokhval V., Chervotkina O. Study of the operation of a multi-section device for forming fuel briquettes on screw press extruders
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Акулов В. Д.** Шляхи підвищення енергетичної ефективності біогазової установки 27
Skliar O., Skliar R., Akulov V. Ways to increase the energy efficiency of a biogas installation
- Шарапов С. О., Євтушенко С. О., Хованський С. О.** Експериментальний стенд для дослідження процесів змішування в рідинно-парових струминних апаратів 37
Sharapov S., Yevtushenko S., Khovansky S. Experimental stand for research of mixing processes in liquid-vapor jet devices
- Червоткіна О. О., Фучаджи Н. О., Верхоланцева В. О., Самохвал В. А.** Вплив різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул 51
Chervotkina O. O., Fuchadgi N. A., Verkholtantseva V. A., Samokhval V. A. Influence of various parameters on the vegetable raw material pelleting process and pellets quality
- Бага В. М.** Підвищення ефективності проточних частин соплових пристроїв пневматичних систем на основі поглибленого дослідження робочого процесу 61
Baha V. Increasing the efficiency of flow parts of nozzle devices of pneumatic systems on the basis of in-depth study of the working process

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Мірошник О. О., Мороз О. М., Пазій В. Г., Миргород Д. Г., Ганус Р. О., Галько С. В.** Дослідження та порівняння характеристик мікропроцесорного пристрою релейного захисту та автоматики РС83-AB3 компанії «РЗА СИСТЕМЗ» з пристроями електромеханічного типу 78
Miroshnyk O., Moroz O., Pazyi V., Myrgorod D., Hanus R., Halko S. Research and comparison of characteristics of the microprocessor relay protection and automation device PC83-AB3 company "RPA SYSTEMS" with electromechanical devices



Трунова І. М., Мірошник О. О., Середа А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Мороз О. М., Савченко О. А., Попадченко С. А., Галько С. В., Ладизжинський І. В. Автоматизована система обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж 96

Trunova I., Miroshnyk O., Sereda A., Dudnikov S., Pazii V., Moroz O., Savchenko O., Popadchenko S., Halko S., Ladyzhynskiy I. Automated system of justification for reconstruction of distribution network objects

Бабич М. І., Боярчук В. М., Сиротюк С. В., Коробка С. В., Михалюк М. А., Стукалець І. Г., Баранович С. М. Визначення витрати води і напору дериваційних гідроелектростанцій для виробництва електроенергії на гірських річках 109

Babych M., Boyarchuk V., Syrotyuk S., Korobka S., Mykhaliuk M., Stukalets I., Baranovych S. Determination of water consumption and pressure of derivation hydro-electric power station for electricity production on mountain rivers

Постол Ю. О., Гулевський В. Б., Постол О. О. Підвищення енергоефективності житлового сектору 121

Postol Y., Hulevskiy V., Postol O. Increase of energy efficiency of the housing sector

Савойський О. Ю., Сіренко В. Ф., Вольвач Т. С., Сіренко Ю. В. Підвищення надійності районних трансформаторних підстанцій за рахунок орнітологічного захисту ліній електропередачі 130

Savoiskiy O., Sirenko V., Volvach T., Sirenko Y. Enhancing the reliability of district transformer substations through ornithological protection of power lines

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

Мацулевич О. Є., Вершков О. О. Вдосконалення методики контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням симулятора роботи токарного верстата з ЧПУ 140

Matsulevych O., Vershkov O. Improvement of the quality control methodology of control program development using a work simulator CNC lathe

Стукалець І. Г., Коробка С. В., Скляр О. Г., Болтянський Б. В., Скляр Р. В. Оформлення креслеників у середовищі solidworks відповідно до національних стандартів України та міждержавних стандартів 150

Stukalets I., Korobka S., Skliar O., Boltianskyi B., Skliar R. Design of engineering drawings in solidworks according to national standards of Ukraine and interstate standards

Залевська О. В., Можаровський В. М., Суворов Л. В., Половий А. С., Оленєва К. Д. Моделювання колінного суглоба з використанням методів геометричного моделювання та фрактальної геометрії на основі даних з магнітно-резонансної терапії 166

Zalevska O., Mozharovsky V., Suvorov L., Polovyi A., Oleneva K. Modeling of knee joint using geometric modeling and fractal geometry methods based on magnetic resonance therapy data



ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Семко Т. В., Іваніщева О. А., Пахомська О. В., Корчак М. І.**
Дослідження можливостей інноваційного обладнання АМС у ресторанних технологіях 176
Semko T., Ivanishcheva O., Pahomska O., Korchak M. Research of the possibilities of amc innovative equipment in restaurant technology
- Бандура В. М.** Ресторани – можливості для енергоефективності 186
Bandura V. N. Restaurants – opportunities for energy efficiency
- Фучаджи Н. О., Кузьмінська І. М.** Піноутворення в технологічних операціях шляхом збивання 196
Fuchadzhi N., Kuzminska I. Foam formation in technological operations through whipping



**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-7**УДК 621.316**О. О. Мірошник¹, д-р. техн. наук

ORCID: 0000-0002-6144-7573

О. М. Мороз¹, д-р. техн. наук

ORCID: 0000-0002-8520-9211

В. Г. Пазій¹, ст. викладач

ORCID: 0000-0002-7336-0854

Д. Г. Миргород¹, аспірант

ORCID: 0000-0002-5494-6227

Р. О. Ганус², аспірант

ORCID: 0009-0001-2442-6087

С. В. Галько³, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-7991-0311

¹*Державний біотехнологічний університет,*²*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,*³*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

email: omiroshnyk@btu.kharkiv.ua, тел.: +380979506033

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК
МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ
ТА АВТОМАТИКИ РС83-АВЗ КОМПАНІЇ «РЗА СИСТЕМЗ»
З ПРИСТРОЯМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ТИПУ**

Анотація. В статті розглянуті автоматизовані системи релейного захисту та автоматики, які працюють на базі мікропроцесорних пристроїв, що поєднують багато видів захисту та протиаварійної автоматики. Показано, що один термінал релейного захисту та автоматики здатний виконувати велику кількість функцій. Важливою особливістю сучасних пристроїв релейного захисту та автоматики є можливість інтеграції їх в інформаційну мережу, що дозволяє реалізувати концепції «Цифрова підстанція» та «Smart Grid». Виконано порівняльний аналіз характеристик мікропроцесорного пристрою РС83-АВЗ та електромеханічних пристроїв релейного захисту для визначення ефективності, надійності та технічних переваг мікропроцесорних рішень у сучасних електроенергетичних системах.

Ключові слова: мікропроцесорний пристрій релейного захисту, Smart Grid, цифрова підстанція, електроенергетична система, коротке замикання.

Постановка проблеми. В процесі роботи електроенергетичної системи (ЕЕС) неминуче виникають аварійні ситуації, які порушують нормальну роботу обладнання та системи в цілому. Серед аварій, що мають найвищу небезпеку є короткі замикання (КЗ), які здатні охоплювати великі ділянки мережі та можуть мати досить тяжкі



наслідки для всієї ЕЕС. Особливо ризикованим подібні аварійні ситуації є під час воєнного стану, коли енергетична інфраструктура постійно піддається атакам, має знижений ресурс, знижену надійність, але вимоги що висуваються до неї навпаки підвищені, оскільки крім забезпечення роботи зв'язку, банків, державних установ необхідно також забезпечувати населення водопостачанням та теплопостачанням особливо в зимовий період.

Для локалізації пошкоджених елементів і запобігання розвитку аварій в ЕЕС використовуються пристрої релейного захисту та автоматики (РЗА), які відіграють вирішальну роль у підтриманні стабільної та безпечної роботи ЕЕС та забезпеченні надійного електропостачання.

Релейний захист – це автоматична система, метою якої є оперативне виявлення та відокремлення пошкоджених елементів ЕЕС у разі виникнення аварійних ситуацій. Пристрій релейного захисту виявляє зону пошкодження і відключає її від працездатної частини ЕЕС з подальшим відновленням нормальної роботи решти елементів системи [1, 2].

Зараз існує три елементні бази, на яких будуються пристрої РЗА: електромеханічна, електронна та мікропроцесорна (цифрова). Найпершими і найстарішими є електромеханічні засоби. Проте досить велика їх кількість експлуатується і зараз і за оцінками з різних джерел на даний час їхня частка в ЕЕС України складає до 70% від загальної кількості. Електронні прилади були проміжними між електромеханічними і мікропроцесорними, але через певні особливості не набули поширення. Найсучаснішими є мікропроцесорні або цифрові пристрої РЗА. Дані пристрої останнім часом досить стрімко розвиваються та набувають поширення в Україні, с той час як за кордоном вони експлуатуються вже понад 30 років. Найбільш відомими зарубіжними фірмами в області розробок цифрових пристроїв релейного захисту та автоматики є ABB, SIEMENS, ALSTOM, GENERAL ELECTRIC. Таке широке використання цифрових терміналів РЗА викликане їх беззаперечними перевагами, що робить їх застосування в енергосистемах на даний час практично безальтернативним. Основними з них є:

– більш висока точність відтворення заданих характеристик функціонування пристрою. В цілому, апаратна похибка цифрових захистів може досягати до 2%. Так, один з основних параметрів вимірювальних органів захисту – коефіцієнт повернення – може мати значення 0,99. Досягнення такого значення коефіцієнта на напівпровідникових та електромеханічних реле потребує складних технічних рішень. Прикладом такого реле є захист від симетричного перевантаження статора генератора, виконаного на спеціальному реле



РТВК. Це реле виконано на напівпровідникових елементах і дозволяє збільшити коефіцієнт повернення до 0,99. Про те воно є дорогим та громіздким. Висока точність відтворення характеристик захистів дозволяє змінити деякі параметри узгодження між захистами суміжних елементів електричної мережі. Наприклад, можна зменшити ступінь селективності для максимальних струмових захистів суміжних елементів мережі, що в свою чергу зменшить час їх спрацювання і, як наслідок, час ліквідації аварії;

- отримання характеристик будь-якої складності. Це особливо є актуальним для дистанційних захистів, вимірні органи яких можуть мати які завгодно характеристики і враховувати будь-які особливості режимів, що можуть виникати в енергосистемі. При цьому зміна форми характеристик не потребує ніяких додаткових технічних переробок – вона змінюється на алгоритмічному рівні;

- запам'ятовування координат режиму під час спрацювання цифрового пристрою. Практично всі цифрові захисти запам'ятовують координати режиму аварійного та доаварійного режиму, що дає змогу експлуатаційному персоналу здійснювати глибокий аналіз аварійних ситуацій, визначати причини аварії і на основі цього при необхідності уточнювати та змінювати характеристики захистів та автоматики;

- можливість змінювати конфігурацію пристрою. В процесі розвитку мережі може виникнути необхідність в зміні характеристик пристроїв захисту – змінити уставки, ввести або вивести з роботи деякі функції тощо. Такі зміни не потребують ніяких технічних витрат, тому що вони здійснюються на програмному рівні;

- універсальність. Ця особливість цифрових пристроїв в більшій мірі стосується розробників, а не експлуатацію. Використовуючи універсальний процесорний модуль, відкоригувавши вхідні та вихідні кола, змінюючи алгоритм функціонування, можна створювати різні типи захистів та автоматики;

- значно менші габарити та менші затрати електротехнічних матеріалів. Один невеликий за розміром цифровий пристрій може замінити цілу групу складних реле, виконаних на напівпровідниках або електромеханічних елементах. Наприклад, напівпровідниковий дистанційний захист від міжфазних к.з. має дев'ять вимірних дистанційних органів, кожен з яких виконаний у вигляді окремого модуля. В цифровому ж пристрої характеристики всіх цих вимірних органів задаються на програмному рівні і реалізуються віртуально в процесорі;

- можливість самодіагностики. Алгоритми функціонування сучасних цифрових пристроїв захисту, особливо складних, обов'язково включають функцію самодіагностики, яка періодично здійснює контроль справності всіх складових пристрою – вхідних кіл,



вихідних кіл, цифрових елементів і при виявленні несправностей робота пристрою блокується з автоматичним повідомленням про це черговому персоналу. Традиційні ж пристрої релейного захисту, особливо електромеханічні, такої можливості не мають і є багато випадків в експлуатації, коли при виникненні аварії ці пристрої не спрацьовували і після аналізу виявлялось, що вони були несправними, про що оперативний персонал і не здогадувався;

- менше споживання енергії для функціонування, що суттєво зменшує потужність джерел енергії оперативного струму;

- менше навантаження та первинні вимірювальні трансформатори струму та напруги. Потужність споживання сучасних цифрових пристроїв релейного захисту складає до 0,5 В·А. Це дає змогу під'єднувати до первинних вимірювальних трансформаторів струму та напруги більшу кількість пристроїв релейного захисту та автоматики, забезпечуючи при цьому роботу трансформаторів струму та напруги в заданому класі точності;

- простота в експлуатації. Під час проведення планових профілактичних робіт немає необхідності перевіряти характеристики окремих складових елементів, як в традиційних пристроях релейного захисту, тому що фізично їх немає, їхні характеристики реалізовані програмно. Тому перевіряються лише загальні характеристики функціонування. Це суттєво зменшує номенклатуру робіт і відповідно час перевірки пристроїв.

Таким чином, з огляду на зростання частки цифрових РЗА з кожним роком та наявністю вказаних переваг даних пристроїв досить актуальним завданням є знати принципи побудови пристроїв МП РЗА та вміти з ними працювати: підключати, налаштовувати та експлуатувати.

Формулювання мети статті. Провести комплексний порівняльний аналіз характеристик мікропроцесорного пристрою РС83-АВЗ та електромеханічних пристроїв релейного захисту для визначення ефективності, надійності та технічних переваг мікропроцесорних рішень у сучасних електроенергетичних системах.

Аналіз останніх досліджень. Забезпечення надійної та безаварійної роботи електроустановок тісно пов'язане з підвищенням технічного рівня РЗА, впровадженням комплексної автоматизації керування нормальними, аварійними та післяаварійними режимами роботи, що зумовлено безперервністю процесів виробництва, розподіл і споживання електроенергії.

Сучасні автоматизовані системи РЗА працюють на базі пристроїв МП, які поєднують багато видів захисту та протиаварійної автоматики. Один термінал РЗА здатний виконувати багато функцій, кількість яких може досягати сотень. Також важливою особливістю



сучасних пристроїв РЗА є можливість інтеграції їх в інформаційну мережу, що дозволяє реалізувати концепції «Цифрова підстанція» та «Smart Grid» [3,4].

Ще одна особливість сучасного РЗА – використання вільно-програмованої логіки. Ця технологія являє собою різновид мови програмування на основі логічних схем, що дозволяє задавати власні або змінювати існуючі програмні алгоритми пристрою. Тобто за рахунок даної технології з'являється можливість налаштувати пристрій під конкретні специфічні завдання, що можуть виникнути у користувача [5, 6].

Також причиною переходу на нову елементну базу є й те, що при цьому змінюються не принципи роботи захисту та автоматики, а лише розширюється їх функціональність, що робить експлуатацію більш зручною.

Щодо етапів розвитку систем РЗА від електромеханіки до цифрової підстанції, можна зазначити, що схемотехніка, логіка роботи (алгоритми) і розрахунок уставок – присутні в усіх системах РЗА незалежно від елементної бази, але ці складові мають різні частки.

В електромеханічних пристроях логіка роботи алгоритмів РЗА зрозуміла безпосередньо з принципової схеми; невеликий відсоток її прихований в самих реле. Однак самі схеми реле в основному прості, а алгоритми їх роботи очевидні. Таким чином, РЗ на електромеханіці є чітким і зрозумілим при вивченні.

У цифрових терміналах зовнішня електрична схема зменшена і спрощена, а складні логічні зв'язки переносяться всередину цифрового пристрою. Кількість алгоритмів, реалізованих в одному пристрої, різко зростає.

Також підвищуються вимоги до персоналу, що експлуатує і обслуговує МП термінали. Фахівці служби РЗА повинні знати всі аспекти електромеханіки, а також правила роботи з логічними схемами. Крім того, вони повинні розуміти особливості використання цифрових пристроїв, такі як призначення дискретних входів, правила роботи з програмним забезпеченням, оперативне живлення терміналу, електромагнітна сумісність (ЕМС) і т. д. Відповідно при роботі з МП пристроями пред'являються більш високі стандарти на кваліфікацію персоналу, ніж при використанні електромеханічних систем.

Цифрова підстанція є ключовим елементом розумної енергетики, де організація всіх інформаційних потоків при вирішенні задач моніторингу, аналізу та керування здійснюється в цифровому вигляді, а параметри такої передачі визначаються єдиним електронним файлом проекту [7]. В якості основного середовища передачі даних в цифровій підстанції використовується локальна мережа (LAN) на основі технології Ethernet і використовуються протоколи зв'язку,



описані стандартом IEC 61850 [8]. Основними характеристиками такої підстанції є інтелектуалізація основного обладнання, розвинена мережа зв'язку та автоматизація експлуатації та управління.

У концепції цифрової підстанції на основі стандартів IEC 61850 схемотехніка майже повністю скорочена, а логічна частина розширена. Через відсутність візуалізації стає надмірною ступінь абстрактності у поданні інформації і погіршується розуміння системи. Функції РЗ автономні і не прив'язані до конкретного обладнання; вони реалізовані у віртуальній моделі підстанції. Для роботи з таким обладнанням потрібні фахівці вищого рівня, ніж ті, хто має справу зі звичайними терміналами МП РЗА. Вони повинні знати про сучасну підстанцію з транспортними протоколами МП РЗА та IEC 61850.

Сучасна система автоматизації підстанцій, що ґрунтується на стандарті IEC 61850, є загальною технологією для забезпечення інфраструктури інтелектуальної мережі в системі передачі, але для реалізації цього необхідний постійний розвиток. IEC 61850 постійно використовується для модернізації або розширення існуючих підстанцій, а також для впровадження нових цифрових підстанцій, чим закладається основа для плавної інтеграції всієї системи. Завдяки цій технології можна досягти передового енергоменеджменту та управління в розумній мережі.

Проте основи РЗА однакові для стандартного релейного захисту та для цифрових підстанцій, оскільки IEC 61850 не вносить жодних істотних нововведень у цьому аспекті. Сфера застосування стандарту IEC 61850 – системи зв'язку всередині підстанції.

Незважаючи на переваги цифрової технології IEC 61850, у системі є вразливості з точки зору кібербезпеки. Зокрема це відсутність автентифікації та шифрування повідомлень, що дозволяє перехоплювати повідомлення та змінювати стани вимикачів на підстанції, здійснювати несанкціоновані відключення або включення та чинити загрозу навіть життю людей. [9].

Знання різних методів кібератак, а також застосовних, можливих і найсучасніших механізмів захисту можуть дозволити дослідникам ефективно їх вивчати та вдосконалювати різні методи боротьби з новими формами кібератак на енергетичні системи [9].

В процесі еволюції РЗА основні зміни відбулися в схемотехніці, де відбувся перехід від використання громіздких релейних систем на основі візуально зрозумілих елементів до компактних пристроїв, здатних підключатися до інформаційної мережі цифрової підстанції, як звичайний комп'ютер.

Останніми роками різко зріс попит на енергію у зв'язку зі швидким розвитком різноманітних галузей промисловості та суспільства. Незважаючи на довгострокове підвищення



енергоефективності, до 2050 року глобальне споживання енергії за базовим сценарієм зросте майже на 50% порівняно з 2020 роком [10]. З точки зору споживання енергії, зміна клімату на глобальному рівні збільшила потребу у використанні електричних пристроїв для зменшення споживання бензину та викидів парникових газів у всіх секторах економіки [11, 12].

Відбулися значні зміни у виробництві енергії. Основним рушієм цієї трансформації стало зростання частки відновлюваних джерел енергії. З розвитком сонячної, вітрової, гідроенергетики та інших відновлювальних технологій стало можливим широкомасштабне впровадження «зелених» технологій у виробництво енергії [13], що сприяло диверсифікації енергетичного портфеля багатьох країн та зменшенню залежності від нестабільні ринки та ціни на викопне паливо [14-16].

Крім того, важливу роль у новому підході до виробництва енергії відіграє тенденція до використання децентралізованої та розподіленої генерації [13]. Усі ці виклики спонукали електроенергетику до перетворення своїх електромереж із застарілих на розумні.

В останні десятиліття за кордоном активно обговорюється і розвивається ідея інтелектуальної енергетичної системи, відомої як Smart Grid. Він представлений як інноваційна ідея розвитку електроенергетики в майбутньому [3]. Інтелектуальні електромережі, які називаються Smart Grid, є модернізованою версією звичайних мереж за рахунок використання модемних систем автоматизації та зв'язку, які забезпечують двосторонній обмін як енергією, так і інформацією, за допомогою яких можна автоматично підвищувати ефективність, надійність, економічні вигоди, а також забезпечують сталість процесів виробництва та розподілу електроенергії в режимі реального часу [4].

Іншими словами, Smart Grid – це цифрова технологія, яка забезпечує двосторонній зв'язок між комунальним підприємством та його клієнтами, а також моніторинг ліній електропередач, що робить мережу «розумною».

На додаток до забезпечення зв'язку в реальному часі між усіма системами, від генерації та передачі до розподілу та кінцевих користувачів, розумні мережі впроваджують нові можливості, технології та різноманітне обладнання для моніторингу, яке постійно відслідковує, перевіряє та повністю контролює всю систему. Потреба в такій інфраструктурі привела до існуючої мережі концепцію Інтернету речей (IP) [17].

IP стає все більш важливою та поширеною концепцією в сучасному світі. Він охоплює широкий спектр пристроїв, починаючи від розумних термостатів і смарт-годинників до промислових датчиків

і медичних пристроїв. Основна ідея ІР полягає в тому, щоб дозволити пристроям збирати та обмінюватися даними через Інтернет, таким чином створюючи розумніші та ефективніші системи [17].

Все це накладає відбиток і на стабільність роботи мереж, їх надійність, безаварійність. В умовах коли від безаварійної роботи мережі залежить не лише робота окремого вузла, а і обмін інформацією, робота всіх елементів в цілому, вимоги до пристроїв РЗА, до функцій які повинні забезпечувати ці пристрої значно зростають.

Основна частина. Зараз на ринку України існує велика кількість пропозицій МП терміналів різних виробників, що відрізняються як за функціональністю так і за вартістю. Одним з таких пристроїв є пристрій РС83-АВ3 компанії РЗА-СИСТЕМЗ [18].

Пристрій РС83-АВ3 призначений для використання у схемах релейного захисту та протиаварійної автоматики ліній напругою 6...35 кВ, а також може бути використаний на приєднання інших класів напруг. Пристрій може встановлюватися в релейних відсіках КРУ, КРУН і КСВ, на панелях та шафах в релейних залах і на пультах управління, а також у релейних шафах зовнішньої установки на ОРУ. Пристрій може застосовуватися як самостійний пристрій, так і з іншими пристроями РЗА.

РС83-АВ3 – багатофункціональний цифровий пристрій, зібраний на сучасній елементній базі із застосуванням SMD монтажу, що поєднує різні функції захисту, контролю, керування та сигналізації. Загальний вигляд пристрою РС83-АВ3 наведено на рис. 1.



Рис. 1. Зовнішній вигляд пристрою РС83-АВ3

Пристрій забезпечує наступні експлуатаційні можливості:

- виконання функцій захисту, автоматики управління та сигналізації;



- локальне (місцеве) та дистанційне завдання внутрішньої конфігурації (введення захисту та автоматики, вибір захисних характеристик, кількості ступенів захисту, налаштування аварійного осцилографа, функцій світлодіодів та ін.) та її зберігання;
- дистанційне перемикання наборів уставок;
- сигналізацію спрацьовування захистів та автоматики, положення комутаційних апаратів, несправності пристрою за допомогою реле та світлодіодів, що призначаються, а також по каналу АСУ;
- реєстрацію та зберігання осцилограм;
- можливість підключення до однієї з обраних точок функціональної логічної схеми за допомогою програмованих реле;
- контроль та індикацію положення вимикача, а також справності його ланцюгів керування, місцеве та дистанційне керування вимикачем, перемикання режиму керування, діагностику вимикача;
- вимірювання поточних значень електричних параметрів об'єкта, що захищається;
- визначення виду аварії;
- безперервний оперативний контроль працездатності (самодіагностики) протягом усього часу роботи;
- гальванічну розв'язку входів і виходів, включаючи живлення, для забезпечення високої перешкоди;
- високий опір та міцність ізоляції входів та виходів щодо корпусу та між собою для підвищення стійкості пристрою до перенапруг, що виникають у вторинних ланцюгах КРУ;

У пристрої передбачені календар та годинник астрономічного часу з енергонезалежним харчуванням з індикацією року, місяця, дня місяця, години, хвилини та секунди з можливістю синхронізації ходу годинника по АСУ.

Пристрій забезпечує синхронізацію внутрішнього годинника від зовнішнього пристрою.

Даний пристрій здатний виконувати функції, наведені в табл. 1.

Аналізуючи функціональні особливості мікропроцесорних пристроїв РЗА в цілому, та зокрема пристрою РС83-АВЗ можна зазначити наступне. Якщо для захисту лінії використовуються МП термінали, то при відключенні автоматичного вимикача від системи захисту або при спрацьовуванні автоматики у внутрішній пам'яті пристрою зберігається інформація про момент спрацьовування, найменування спрацьованого захисту або автоматики, а також запис електричних параметрів в періоди до аварії, під час аварії та після її завершення. Завдяки цьому функціоналу можна точно відновити хід подій, що дає змогу проаналізувати стан мережі, коли відбуваються серйозні аварії. Реєстрація аварійних ситуацій здійснюється з високою



розподільною здатністю в часі. МП термінали здатні вимірювати події тривалістю кілька мілісекунд, що при аналізі роботи захисних пристроїв дозволяє правильно визначити послідовність їх спрацьовування, а також зробити висновок про відповідність роботи захисних механізмів із зазначеними налаштуваннями та умовами. Записи подій зберігаються пристроєм в його енергонезалежній пам'яті.

Термінал захисту має функцію самодіагностики, а також контролює роботу вхідних і вихідних кіл, що дозволяє швидко визначати несправності. У разі використання електромеханічного захисту порушення в роботі цих пристроїв часто залишаються непоміченими, а їх несправності часто виявляються лише тоді, коли система захисту працює неправильно або повністю виходить з ладу.

У пристрої МП РЗА зміна параметрів спрацьовування захисту здійснюється в меню шляхом вибору необхідних значень. У цьому випадку можна організувати кілька наборів параметрів і легко перемикатися між ними, що виявляється дуже зручним, коли потрібно тимчасово змінити задані значення.

Однією з додаткових переваг МП терміналів є можливість інтегрувати їх із системою диспетчерського керування та збору даних (SCADA), що дозволяє обслуговуючому персоналу підстанції контролювати стан комутаційних пристроїв, навантаження та напругу на шині, а також дистанційно керувати обладнанням безпосередньо з центрального командного пункту.

Таблиця 1

Перелік функцій, що виконуються пристроєм РС83-AB3 [18]

№ п/п	Функція	Кількість ступеней захисту	Код ANSI
1	2	3	4
1	МСЗ направлена, з можливістю виводу направленості з вольтметровим блокуванням по $U_{\phi \min}$, $U_{\text{л} \min}$, $U_{1 \min}$, $U_{2 \max}$, із залежними і незалежними характеристиками	8	67(V), 50/51(V)
2	Захист від замикань на землю (ЗНЗ) по струму $3I_0$ або опору Z_0 , направлений з можливістю виводу направленості, з пуском по $3U_0$ або без пуску, із залежними і незалежними характеристиками	4	67N, 50/51N, 21N
3	Захист від замикання на землю із залежними характеристиками від суми вищих гармонік $3I_0$	2	-
4	Захист по напрузі ЗН (ЗМН U_{ϕ} , ЗМН $U_{\text{л}}$, ЗПН $U_{\text{л}}$, ЗПН $3 U_0$, ЗМН U_1 , ЗПН U_2)	4	27, 59, 59N, 27-1, 59-2



Продовження таблиці 1.

1	2	3	4
5	Захист струму зворотної послідовності ОБР (I_2 , I_2/I_1)	2	46
6	Логічний захист шин (ЛЗШ)	2	
7	АЧР по частоті мережі	2	
8	ЧАПВ по частоті мережі	2	
9	Логіка АЧР-ЧАПВ по дискретному входу	1	
10	УРОВ	2	50BF
И	АПВ	2	79
12	БНН	1	VTs
13	Визначення місця пошкодження (ВМП)	+	
14	Керування вимикачем (АУВ)	+	
15	Контроль ресурсу вимикача	+	
16	Технічний облік електроенергії	+	
17	Вимірювання, розрахунок, відображення на дисплеї та передача по мережі всіх аналогових величин з якими працює пристрій	+	
18	Розрахунок, відображення на дисплеї та передача по мережі активної та реактивної потужності, коефіцієнта потужності	+	

Сучасні прилади РЗА поєднують в одній системі функції РП, вимірювання, регулювання та контролю електроустановки. У складі автоматизованих систем керування технологічними процесами енергооб'єктів вони виступають кінцевими пристроями збору інформації.

Проведемо порівняльний аналіз функціональних можливостей пристроїв РЗА на основі електромеханічних реле та мікропроцесорних РЗА на прикладі пристрою РС83-АВЗ. Порівняння характеристик електромеханічних реле і МП пристроїв наведено у табл. 2.

Електромеханічні реле – це традиційні пристрої релейного захисту, що працюють на основі фізичних принципів електромагнетизму і механіки. До їх складу входять контакти, пружини та електромагніти, які реагують на зміну електричних параметрів мережі. Дані пристрої мають наступні переваги:

- простота і надійність: електромеханічні реле привабливі простотою конструкції, що забезпечує їх розуміння інженерами і техніками;



Таблиця 2

Порівняння характеристик електромеханічних реле та мікропроцесорних пристроїв

№	Параметр	Електромеханічні реле	Мікропроцесорні пристрої
1	2	3	4
1	Принцип дії	Ґрунтується на використанні контактів і електромагнітів. При зміні параметрів електричної мережі релейний механізм реагує на електромагнітне поле перемиканням контактів.	Працюють за алгоритмами, заданими програмою. Мікропроцесор обробляє дані від датчиків і приймає рішення відповідно до заданих параметрів.
2	Швидкість реакції	Обмежена механічними процесами швидкість реакції обмежена часом, необхідним для руху механізму	Забезпечує високу швидкість обробки та відповіді завдяки швидким обчисленням, що робить їх ефективними в середовищах, що швидко змінюються
3	Гнучкість і налаштування	Обмежені налаштування параметрів і функціональності, їх здатність змінюватись обмежена механічною конструкцією	Вони мають високу гнучкість конфігурації та програмування. Параметри захисту, часові затримки та логіку роботи можна легко змінити
4	Складність алгоритмів захисту	Може забезпечити базові алгоритми захисту, але обмежено у реалізації складних алгоритмів, таких як диференціальний захист або гармонічний аналіз	Дозволяє реалізувати широкий спектр складних алгоритмів, включаючи диференціальний і гармонічний аналіз, а також інтегровані функції моніторингу та діагностики
5	Надійність	Надійний, витримує тимчасові перевантаження. Однак з віком і зношеністю механізмів і контактів їх надійність може знижуватися	Від цього залежить надійність електронних компонентів. Може виникати несправність через перенапругу, електромагнітні перешкоди або помилки програмного забезпечення
6	Інтеграція та дистанційне керування	Як правило, не мають вбудованої інтеграції та можливостей дистанційного керування	Легко інтегрується в системи управління, моніторингу та діагностики, що дозволяє дистанційно налаштовувати та контролювати їх роботу
7	Технічне обслуговування	Вимагають періодичного калібрування та обслуговування для надійної роботи	Потрібна технічна підтримка та оновлення програмного забезпечення



– перешкодостійкість: ці пристрої демонструють певний рівень стійкості до електромагнітних перешкод і коливань напруги, що робить їх цінними в ситуаціях, коли електрична мережа не дуже стабільна.

Проте їм властивий і ряд недоліків:

– обмежена швидкість і точність: електромеханічні реле мають обмежену швидкість спрацьовування та час відгуку, що може бути недостатнім для забезпечення захисту від швидких подій, таких як короткі замикання;

– необхідне технічне обслуговування: реле потребують періодичного обслуговування та калібрування для забезпечення надійної роботи. Через механічну природу складових частин вони зношуються і з часом можуть потребувати заміни;

– обмежені можливості: складні сучасні системи електропостачання можуть потребувати більш складних алгоритмів захисту, які важко або неможливо реалізувати за допомогою електромеханічних реле.

На відміну від електромеханічних пристроїв, мікропроцесорні термінали релейного захисту мають такі переваги:

– висока точність і швидкість: пристрої МП мають можливість виконувати обробку даних з підвищеною швидкістю і точністю, що полегшує реалізацію складних алгоритмів захисту і швидке реагування на події;

– гнучкість і налаштування: можна налаштувати параметри захисту відповідно до унікальних системних вимог, що стає важливим для адаптації до різноманітних умов роботи;

– інтеграція та контроль: пристрої МП легко інтегруються з іншими системами автоматизації, моніторингу та управління, що дозволяє досягти більш глибокого рівня контролю над роботою системи електропостачання.

Також їм властиві певні недоліки:

– висока вартість: використання пристроїв МП передбачає інвестиції в електронні компоненти та програмне забезпечення, що може призвести до збільшення витрат порівняно з використанням електромеханічних реле;

– неремонтопридатність: при виході з ладу функціонального вузла його можна замінити тільки в цілому;

– залежність від електронних компонентів: МП пристрої можуть стати вразливими, коли в електронних компонентах виникають проблеми або дефекти;

– для програмування, налаштування та обслуговування пристроїв МП необхідні спеціалісти відповідної кваліфікації;



- можливість навмисного дистанційного впливу на РЗ МП з метою порушення його нормальної працездатності;
- крім того, термінали МП РЗА різних виробників не можуть бути взаємозамінними через відсутність єдиного стандарту на обладнання.

Електромеханічні реле підходять лише для невеликих систем захисту, де мало компонентів і потрібна висока надійність та є обмеження в ціні. МП пристрої дозволяють використовувати більш складні та гнучкі алгоритми захисту, легко інтегрувати їх в автоматизовані системи, а також більш точно налаштовувати параметри захисту.

Вибір між цими типами пристроїв залежить від конкретних вимог системи захисту:

- якщо необхідно забезпечити високу точність, складні алгоритми захисту та інтеграцію з іншими системами, то вибір за МП пристроями;
- якщо необхідний захист має просту схему та обмежений бюджет, то можна розглянути використання електромеханічних реле.

У сучасних системах РЗА поширене поєднання електромеханічних реле і пристроїв МП, що дозволяє поєднати переваги обох підходів: точність, гнучкість і можливість інтеграції МП пристроїв, високу надійність електромеханічних реле.

В сучасних умовах просування концепції Smart Grid, що є складним і масштабним процесом та вимагає змін на різних рівнях енергетичної системи, використання сучасних технологій та інновацій, спрямованих на підвищення ефективності, надійності та стійкості електроенергетики, використання МП РЗА є однією з ключових вимог побудови захисту мереж.

Уміння фахівців правильно розрахувати параметри роботи систем РЗА і налаштувати їх підвищує надійність роботи і безпеку експлуатації електрообладнання. Тому важливо ще на етапі навчання у вищому навчальному закладі отримати не лише теоретичні знання, а й практичні навички роботи з сучасним обладнанням.

Висновки.

Порівнюючи сучасні МП РЗА на прикладі пристрою РС83-АВЗ та електромеханічні реле можна зробити такі висновки:

1. Електромеханічні реле, безсумнівно, відігравали важливу роль в електроенергетиці, але вони мали певні обмеження: вони були відносно однофункціональними та вимагали ручного налаштування для різних сценаріїв. Крім того, вони піддаються зносу, що зумовлює необхідність їх постійного (регулярного або періодичного) обслуговування.



2. При прийнятті рішення про перехід від електромеханічних реле до мікропроцесорних релейних пристроїв слід враховувати вимоги до системи, її складність, швидкість відгуку та рівень інтеграції. У деяких випадках спільне використання цих двох типів пристроїв дозволяє досягти оптимального балансу між надійністю і функціональністю системи захисту.

3. Сьогодні на зміну традиційному релейному захисту приходять пристрої МП, які поєднують функції захисту, автоматики, контролю та сигналізації. Їх використання підвищує чутливість захисту і скорочує час спрацьовування, що зменшує збитки від відключень електроенергії. Також можливе створення автоматизованих систем управління підстанціями та їх інтеграція з АСУ верхнього рівня. Це відкриває перспективи використання МП терміналів як основних пристроїв релейного захисту в електричних мережах для подальшого просування до ідеальної моделі Smart Grid.

4. Ефективний вибір обладнання МП РЗА для підстанції потребує оптимізації витрат та ефективності. Необхідно врахувати початкові та загальні витрати на обслуговування терміналів МП РПА за 10 років. Також важливо враховувати витрати на оновлення програмного забезпечення та послуги спеціалістів від виробника.

5. Дослідження, проведені в процесі тестування пристрою РС83-АВЗ показали відповідність його функціональності та характеристик до використання в сучасних умовах, а також високу надійність роботи і порівняно нескладний процес освоєння даного пристрою, що дозволяє рекомендувати його для використання в сучасних електричних мережах.

Список використаних джерел.

1. Al Issa H. A., Pazyi V., Miroshnyk O., Moroz O., Savchenko O. Halko S. Determination of a Line with a Single-Phase Short Circuit in the Distribution Network Using the Method of Signal Input. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2023. P. 1-6. <https://10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312925>.

2. Pazyi V., Miroshnyk O., Shchur T., Halko S., Nikolov M., Idzikowski A. Development of Simulation Model of Single-Phase Circuit Lock in the DigSilent Powerfactory Program. *System Safety: Human – Technical Facility – Environmen*. 2023. Vol. 5(1). P. 350–358. <https://doi.org/10.2478/czoto-2023-0038>.

3. Miroshnyk O., Moroz O., Shchur T., Chepizhnyi A., Qawaqzeh M., Kocira S. Investigation of Smart Grid Operation Modes with Electrical Energy Storage System. *Energies*. 2023. Vol. 16(6). P. 2638. <https://doi.org/10.3390/en16062638>.

4. Xiong C., Su Y., Zhang D., Chen L., Zhang H., Li Q. A New Distributed Robust Power Control for Two-Layer Cooperative Communication Networks in Smart Grids with Reduced Utility Costs. *Energies*. 2023. Vol. 16(6). P. 2911. <https://doi.org/10.3390/en16062911>.
5. Siemens вебсайт. 2024. URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата звернення 28.12.2023).
6. Schneider Electric вебсайт. 2024. URL: <https://www.se.com/ww/en/> (дата звернення 04.01.2024).
7. Liu Y., Gao H., Gao W., Peng F. Development of a Substation-Area Backup Protective Relay for Smart Substation. *IEEE Trans. Smart Grid*. 2017. Vol. 8. P. 2544–2553.
8. Lima D. A. C., Bernardon D. P., Morais A. P., Oliveira A. L., Hokama W. S., Conceição J. B. R., Sartori Â. F. Review of Bus Differential Protection Using IEC 61850. *Energies*. 2022. Vol. 15(24). P. 9537. <https://doi.org/10.3390/en15249537>.
9. Kim M.-S., Kang S.-H. Centralized Multiple Back-Up Protection Scheme with Sharing Data between Adjacent Substations Based on IEC 61850. *Energies*. 2022. Vol. 15(12). P. 4195. <https://doi.org/10.3390/en15124195>.
10. International energy outlook 2023 – U.S. energy information administration (EIA). URL: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/index.php> (дата звернення 11.01.2024).
11. Popescu C., Apostu S. A., Rădulescu I. G., Mureșan J. D., Brezoi A. G. Energizing the Now: Navigating the Critical Landscape of Today's Energy Challenges – An In-Depth Review. *Energies*. 2024. Vol. 17(3). P. 675. <https://doi.org/10.3390/en17030675>.
12. Hassan Q., Abdulateef A. M., Hafedh S. A., Al-samari A., Abdulateef J., Sameen A. Z., Salman H. M., Al-Jiboory A. K., Wieteska S., Jaszczur M. Renewable energy-to-green hydrogen: A review of main resources routes, processes and evaluation. *Int. J. Hydrogen Energy*. 2023. Vol. 48. P. 17383–17408.
13. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Гунько І. О. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2018. 174 с.
14. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали Міжнар. наук. конф., 10 квіт. 2020 р. Луцьк: МЦНД, 2020. Т. 1. С. 83-90. https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10.*
15. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні*



науки. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130-141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.

16. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica*, 24 de abril de 2020. Barcelona, España: Plataforma Europea de la Ciencia, 2020. Vol. 2. P. 39-44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.

17. Teca G., Natkaniec M. StegoBackoff: Creating a Covert Channel in Smart Grids Using the Backoff Procedure of IEEE 802.11 Networks. *Energies*. 2024. Vol. 17(3). P. 716. <https://doi.org/10.3390/en17030716>.

18. Мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики серії PC83. Пристрій PC83-AB3. URL: <https://rzasystems.com/product/rs83-av3/> (дата звернення 08.01.2024).

Стаття надійшла до редакції 15.02.2024 р.

O. Miroshnyk¹, O. Moroz¹, V. Pazyi¹, D. Myrgorod¹, R. Hanus², S. Halko³

¹State Biotechnological University,

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",

³Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

**RESEARCH AND COMPARISON OF CHARACTERISTICS
OF THE MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION AND AUTOMATION
DEVICE PC83-AB3 COMPANY "RPA SYSTEMS"
WITH ELECTROMECHANICAL DEVICES**

Summary

The article discusses automated systems of relay protection and automation, which work on the basis of microprocessor devices, combining many types of protection and emergency automation.

During the operation of the electric power system, emergencies inevitably arise that disrupt the normal operation of the equipment and the system as a whole. Among the most dangerous accidents are short circuits, which can cover large areas of the network and can have quite serious consequences for the entire electricity system. Such emergencies are especially risky during martial law, when the energy infrastructure is constantly under attack, has a reduced resource, reduced reliability, but the requirements for it, on the contrary, are increased, since in addition to ensuring the operation of communications, banks, and government agencies, it is also necessary to provide the population with water supply and heat supply, especially in winter.

To localize damaged elements and prevent the development of accidents in the electric power system, relay protection and automation devices are used, which play a



decisive role in maintaining stable and safe operation of the electric power system and ensuring reliable power supply.

Today, traditional relay protection is being replaced by microprocessor devices that combine protection, automation, control and alarm functions. Their use increases the sensitivity of protection and shortens the response time, which reduces the damage from power outages. It is also possible to create automated substation control systems and integrate them with automated control systems of the upper level. This opens up prospects for the use of microprocessor terminal devices as the main relay protection devices in electrical networks for further advancement to the ideal Smart Grid model.

It is shown that one relay protection and automation terminal is capable of performing a large number of functions. An important feature of modern devices of relay protection and automation is the possibility of their integration into the information network, which allows to implement the concepts of "Digital Substation" and "Smart Grid". A comparative analysis of the characteristics of the PC83-AB3 microprocessor device and electromechanical relay protection devices was performed to determine the efficiency, reliability and technical advantages of microprocessor solutions in modern power systems.

Keywords: microprocessor relay protection device, Smart Grid, digital substation, electric power system, short circuit.

ПРАЦІ
Таврійського державного агротехнологічного університету

Наукове фахове видання

Випуск 24, том 2

Заснований у 1998 р
Виходить три рази на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію
Друкованого засобу масової інформації
Міністерство юстиції
КВ 24285-14125 ПР від 27.12.2019 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Панченко А.І.

Підписано до друку 01.06.2024 р. Формат 60х84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 23,95. Наклад 100.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.