

УДК 621.311.13

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2024.1\(494\).10](https://doi.org/10.15589/znп2024.1(494).10)

MODELING PROCESSES OF CONTROLLING MICROPROCESSOR DEVICES OF RELAY PROTECTION AND AUTOMATION USING THE INTERNAL LOGIC EDITOR

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИМИ ПРИСТРОЯМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕДАКТОРА ВНУТРІШНЬОЇ ЛОГІКИ

Vasyl Ya. Bunko¹

VBunko@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9403-8135

Mykola V. Potapenko¹

m.potapenko19@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2880-613X

Nazarii V. Bunko²

bunkonazar@gmail.com

В. Я. Бунько¹,

канд. техн. наук, доцент

М. В. Потапенко¹,

канд. техн. наук, доцент

Н. В. Бунько²,

здобувач вищої освіти

¹*Separated subdivision of the National University of Bioresources and Natural Use of Ukraine
“Berezhanskyi Agrotechnical Institute”, Berezhany*

²*Lviv Polytechnic National University, Lviv*

¹*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут», м. Бережани*

²*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*

Abstract. The development of modeling technologies has led to the appearance of technical solutions that differ in the method of implementation, the size of the simulated systems, and the degree of detailing of the investigated processes. *Purpose.* The purpose of this study is to simulate the processes of controlling microprocessor terminals of relay protection and automation of power supply systems using the «Monitor-2» software, which allows you to create and edit the free program logic of the device.

Method. Freely programmable logic is a flexible tool that allows the user to refine or create his own logic of protective functions, automation functions, control and management depending on specific tasks. It also allows you to program the operation of all discrete inputs, output relays and LEDs.

The research methodology of freely programmable logic allows the use of standard logic elements («AND», «OR»), triggers (RS and SR), timers (delay lines, monovibrators) and others with the possibility of inverting inputs and outputs. Freely programmable logic is specified using a graphic editor based on the «Monitor-2» software.

A feature of this modeling is the use of an internal logic editor. Such studies are carried out under laboratory conditions in the teaching laboratory of relay protection and automation at the Department of Energy and Automation using the «Monitor-2» software package and the RZL-05 microprocessor device.

Results. To control this terminal, in addition to the basic functions of protection and automation, a freely programmable logic package is used, which is directly related to the construction of logic circuits and connections during device research in laboratory and real conditions of operation of the power supply system. In this case, options for building logic circuits in the main window of the program are given, as well as other possibilities for modeling the operation processes of such a device are shown.

Application of the software complex will provide an opportunity to investigate the interaction of microprocessor protections, improvement of existing algorithms and creation of new protection algorithms and emergency automation, which take into account the features and functionality of the microprocessor element base and optimization of digital data transmission.

This software implementation, in addition to the basic settings of the microprocessor terminal, provides the possibility of building circuits of freely programmable logic, which will make it possible to directly analyze the operation of the relay protection system and automation of power systems.

Scientific novelty. One of the directions of the modern approach and improvement of such systems is the use of intelligent devices to perform the functions of relay protection and anti-emergency automation in the power supply system, including the use of control software packages for dispatching and automation of power systems. Therefore,

this question is currently relevant and important when using such elements in the dispatching and automation system of energy supply.

Practical importance. Modern complexes of relay protection and automation, made on a microprocessor element base, ensure the transmission of measurement and control signals in both analog and digital form. Digital devices have a number of advantages compared to systems made on a traditional elemental basis, including wider performance indicators and the possibility of their integration into control systems of electric power facilities.

Key words: relay protection; automation; microprocessor device; internal logic; modeling.

Анотація. Розвиток технологій моделювання призвів до появи технічних рішень, що відрізняються способом реалізації, розміром модельованих систем, ступенем деталізації досліджуваних процесів.

В статті розглядається питання моделювання процесів керування мікропроцесорними терміналами релейного захисту та автоматики системи електропостачання з використанням програмного забезпечення «Монітор-2», яке дозволяє створювати та редагувати вільно програмуючу логіку пристрою.

Вільно програмована логіка – це гнучкий інструмент, який дозволяє користувачу допрацьовувати або створити власну логіку захисних функцій, функцій автоматики, контролю і керування в залежності від конкретних завдань. Вона також дозволяє програмувати роботу всіх дискретних входів, вихідних реле і світлодіодів.

Вільно програмована логіка використовує стандартні логічні елементи («І», «АБО»), тригери (RS і SR), таймери (лінії затримки, одновібратори) та інші з можливістю інвертувати входи і виходи. Вільно програмована логіка задається з використанням графічного редактора на базі ПЗ «Монітор-2».

Особливістю такого моделювання являється використання редактора внутрішньої логіки. Такі дослідження проводяться в лабораторних умовах в навчальній лабораторії релейного захисту та автоматики при кафедрі енергетики і автоматики з використанням програмного пакету «Монітор-2» та мікропроцесорного пристрою РЗЛ-05. Для керування даного терміналом, крім основних функцій захисту та автоматизації, використовується пакет вільно-програмованої логіки, яка безпосередньо пов'язана із побудовою логічних схем та зв'язків при дослідженнях пристрою в лабораторних та реальних умовах функціонування системи електропостачання. В даному випадку наведено варіанти побудови логічних схем в основному вікні програми, а також показано інші можливості при моделюванні процесів роботи такого пристрою. Застосування програмного комплексу дасть можливість дослідити взаємодію мікропроцесорних захистів, удосконалення алгоритмів існуючих та створення нових алгоритмів захисту та протиаварійної автоматики, що враховують особливості та функціональні можливості мікропроцесорної елементної бази та оптимізації цифрової передачі даних.

Мета. Мета даного дослідження полягає у вирішенні практичної задачі щодо моделювання процесів керування мікропроцесорними терміналами релейного захисту та автоматики системи електропостачання з використанням програмного забезпечення «Монітор-2», яке дозволяє створювати та редагувати вільно програмуючу логіку пристрою.

Методика. Вільно програмована логіка – це гнучкий інструмент, який дозволяє користувачу допрацьовувати або створити власну логіку захисних функцій, функцій автоматики, контролю і керування в залежності від конкретних завдань. Вона також дозволяє програмувати роботу всіх дискретних входів, вихідних реле і світлодіодів.

Вільно програмована логіка використовує стандартні логічні елементи («І», «АБО»), тригери (RS і SR), таймери (лінії затримки, одновібратори) та інші з можливістю інвертувати входи і виходи. Вільно програмована логіка задається з використанням графічного редактора на базі ПЗ «Монітор-2» [7, с. 4–20].

Результати. Представлено моделювання процесів керування мікропроцесорними пристроями релейного захисту та автоматики з використанням редактора внутрішньої логіки. Наведено основні інструменти діалогового вікна для роботи із схемами вільно програмованої логіки з використанням програмного середовища керування мікропроцесорними терміналами на базі «Монітор-2» [7, с. 4–10].

Наукова новизна. В даний час більшість використовуваних в Україні пристроїв релейного захисту і автоматики (РЗА) електроенергетичних мереж (ЕЕМ) відносяться до покоління електромеханічних і мікроелектронних реле і не відповідають сучасним науково-технічним вимогам [1, с. 10]. Один з напрямків сучасного підходу та удосконалення таких систем – використання інтелектуальних пристроїв для виконання функцій релейного захисту і протиаварійної автоматики в системі електропостачання, в тому числі із застосуванням програмних пакетів керування для диспетчеризації та автоматизації енергосистем. Тому, дане питання на сьогоднішній день є актуальним та важливим при використанні таких елементів в системі диспетчеризації та автоматизації енергопостачання.

Практична значимість. Сучасні комплекси релейного захисту та автоматики, виконані на мікропроцесорній елементній базі, забезпечують передачу сигналів вимірювання та управління як в аналоговій, так і в цифровій формі. Цифрові пристрої мають ряд переваг у порівнянні із системами, виконаними на традиційній елементній базі, у тому числі більш широкі експлуатаційні показники і можливість інтеграції їх у системи керування електроенергетичними об'єктами.

Ключові слова: релейний захист; автоматика; мікропроцесорний пристрій; внутрішня логіка; моделювання.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Рівень технічного розвитку будь-якої держави визначається в основному станом її енергетики, потужністю електростанцій і виробництвом електричної енергії. Тому, враховуючи пошкодження значної частини енергетичної інфраструктури, спричинене російською військовою агресією варто звернути увагу на відновлення енергетичної системи України, в тому числі на ефективність її роботи за рахунок мікропроцесорних терміналів релейного захисту та автоматизації ліній електропередач, станцій та підстанцій, які безпосередньо входять в об'єднану енергетичну систему країни.

Розробка комплексу потребує побудови математичної моделі пристроїв РЗА, визначення методів її аналізу та синтезу, оптимізації програми діагностування, принципів проектування апаратних рішень засобів діагностування РЗА [8, с. 5].

Актуальним залишається питання діагностичного та програмного забезпечення на етапі проектування мікроелектронної та мікропроцесорної техніки засобів РЗА [8, с. 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями мікропроцесорних пристроїв захисту та автоматики (МП РЗА) займалися Кузнецов С.М., Яндульський О.С., Демиденко І.С., Гашкова А.В., Гречишников В.А., Кутін В.М., Кутіна М.В., Ілюхін М.О., Данилов О.А., Гребченко М.В. та інші [1, с. 8]. В останні роки щодо розробки, підвищення ефективності функціонування та впровадження МП РЗА ведуться відомими компаніями, зокрема ТОВ «Науково-виробниче підприємство «РЕЛСІС» [7], РЗА СИСТЕМЗ [3, с. 1–3], SCHNEIDER ELECTRIC Україна, ВО «Київприлад», ABB Україна – General Energy Ukraine», ТОВ НВП «Хартрон Інкор», SIEMENS та інші [1, с. 7–8].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Не зважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені питанням дослідження мікропроцесорних пристроїв захисту та протиаварійної автоматики, мала увага приділена програмній реалізації мікропроцесорних терміналів, що дасть можливість користувачу допрацьовувати або створювати власну логіку захисних функцій, функцій автоматики, контролю і керування в залежності від конкретних видів завдань.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є вирішення практичної та технічної задачі щодо моделювання процесів керування мікропроцесорними терміналами релейного захисту та автоматики системи електропостачання з використанням програмного забезпечення «Монітор-2», яке дозволяє створювати та редагувати вільно програмуючу логіку пристрою [4, с. 1–2].

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи дослідження – аналіз та моделювання процесів керування мікропроцесорними пристроями релейного захисту та автоматики з використанням редактора внутрішньої логіки. Об'єкт дослідження – програмне середовище «Монітор-2» для дослідження роботи мікропроцесорного терміналу захисту та автоматики. Предмет дослідження – процеси визначення параметрів роботи мікропроцесорного терміналу з використанням редактора вільно програмованої логіки в середовищі «Монітор-2».

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Мікропроцесорні пристрої як правило використовуються в системі електропостачання об'єктів енергетики, зокрема для керування режимами роботи релейного захисту та автоматики в розподільних пристроях різного класу напруги [5, с. 5–6].

Такий пристрій мікропроцесорного захисту та автоматики, як РЗЛ-05М, призначений для виконання функцій релейного захисту, автоматики та сигналізації приєднаних трансформаторів, кабельних та повітряних ліній електропередач напругою до 6–35 кВ [2, с. 135–137; 5, с. 6].

Пристрої РЗЛ-05 призначені для встановлення в релейних комірках КСВ, КРП, КРПЗ електричних станцій та підстанцій, а також на панелях та шафах РЗА, розташованих у релейних залах та пунктах управління [6, с. 199].

Для ефективної роботи з такими мікропроцесорними терміналами, використовується програма верхнього рівня диспетчерського керування «Монітор-2» [7, с. 4–8], яка призначена для управління пристроями релейного захисту серій РЗЛ-05, РЗЛ-06 та аналізу їх роботи за допомогою персонального комп'ютера. Для зв'язку пристроїв захисту із ПК використовується протокол зв'язку MODBUS-RTU [5, с. 4].

Використання мікропроцесорних терміналів для релейного захисту на даному етапі є основними пристроями електричної автоматики, без якого неможлива нормальна та надійна робота сучасних електроенергетичних систем та об'єктів [2, с. 136].

Тому, використання мікропроцесорних терміналів різного функціонального призначення в системі енергопостачання є невід'ємною частиною у прийнятті раціональних інженерно-технічних рішень, які дозволять забезпечити безаварійність такої системи та підвищити її надійність та ефективність [2, с. 135–137].

Моделювання процесів та режимів роботи мікропроцесорного пристрою є важливим етапом використання такого типу терміналу в системі енергопостачання об'єктів, а також оперативного налаштування за допомогою програмного середовища.

В даному випадку для редагування такої системи необхідно завантажити схему логіки роботи пристрою [7, с. 56–73].

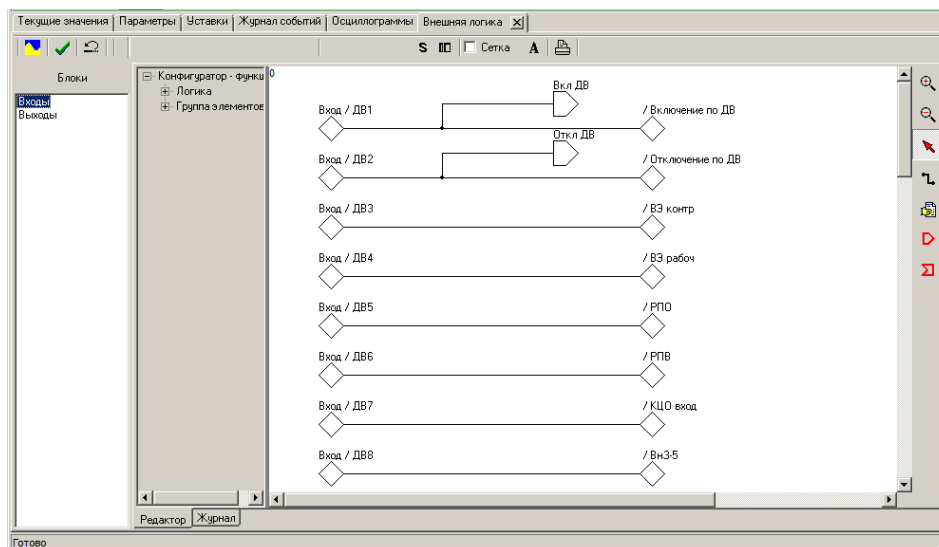


Рис. 1. Основное рабочее окно

В даному випадку логічна схема розбита кілька блоків. У будь-якому блоці схеми можна побудувати логіку роботи між «входами» і «виходами». «Входами» блоку можуть бути дискретні входи, логічні виходи датчиків, кнопки з передньої панелі пристрою або логічні виходи вбудованих функцій захисту, контролю та автоматики. «Виходами» блоку можуть бути логічні входи вбудованих функцій захисту, контролю та автоматики або реле, світлодіоди, засоби створення осцилограм [7, с. 56–73].

Логічний зв'язок між «Входами» і «Виходами» встановлюється шляхом використання безліч логічних елементів або просто пов'язуючи їх безпосередньо.

При обранні необхідного блоку, відкривається поле редактора (рис. 2). За замовчуванням деякі «Входи» (дискретні входи) вже призначені (або логічно пов'язані) на деякі «Виходи» [7, с. 56–73].

В даному відкритому вікні, в якому за допомогою «відміток» можна вибрати будь-який із «Входів» та «Виходів» (рис. 2). Також тут можна перейменувати блок. Для повного очищення вибраних «Входів» та «Виходів» необхідно натиснути на кнопку «Очищення». Після цього вони пропадуть із робочого простору панелі «Зовнішня логіка» [7, с. 56–73].

Після того, як будуть призначені нові «Входи» та «Виходи» блоку, вони з'являться на робочому просторі, де їх можна буде переміщувати та зв'язувати. Конкретні «Входи» та «Виходи» не можуть бути продубльовані в одному блоці. «Вихід» може бути використаний лише раз у всіх блоках (вихід, що використовується, не можна призначити відповідним позначенням). «Входи» та «Виходи» блоку можна також видаляти. Для цього необхідно прибрати відмітку в меню вибору [7, с. 56–73].

Для переміщення будь-якого елемента («Входи» та «Виходи» блоку, логічні елементи) натискаємо

на нього та, утримуючи праву кнопку миші, переміщуємо елемент у будь-яке місце. Переміщення елементів не впливає на функціонал логічної схеми, але дає змогу зручно розмістити їх для користувача [7, с. 56–73].

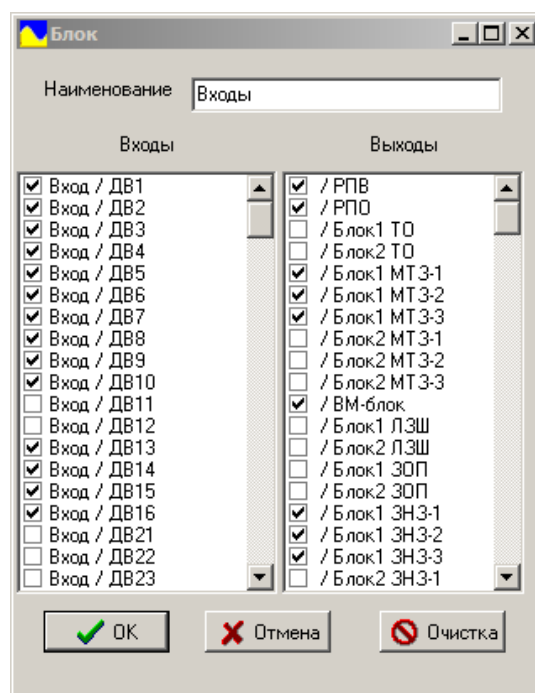


Рис. 2. Вікно вибору «Входів» та «Виходів» блоку

Для зручності роботи передбачено можливість масштабування робочого простору. Для цього використовуються кнопки «Збільшити» та «Зменшити» на бічній панелі інструментів [7, с. 56–73].

Щоб зв'язати будь-які елементи використовується інструмент «Зв'язок», вибраний на бічній панелі інструментів, або клавіші Ctrl+K.

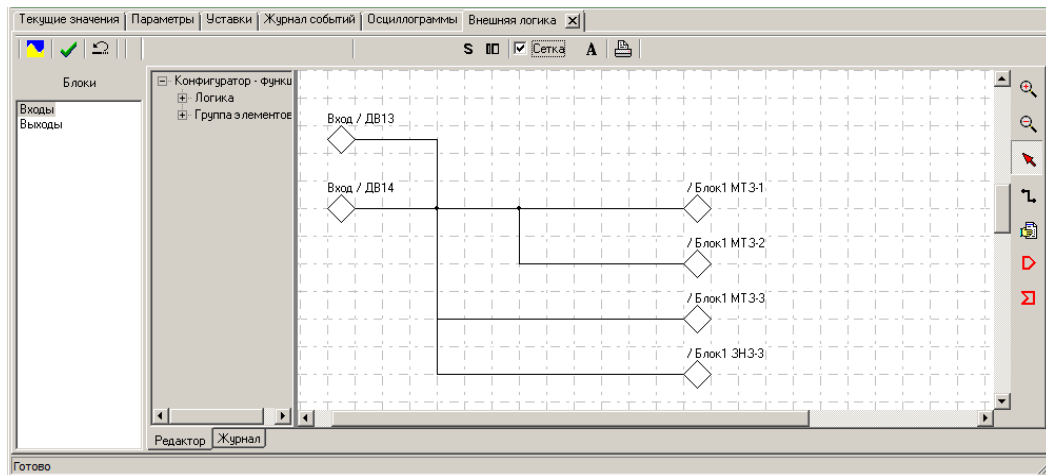


Рис. 3. Побудова зв'язків

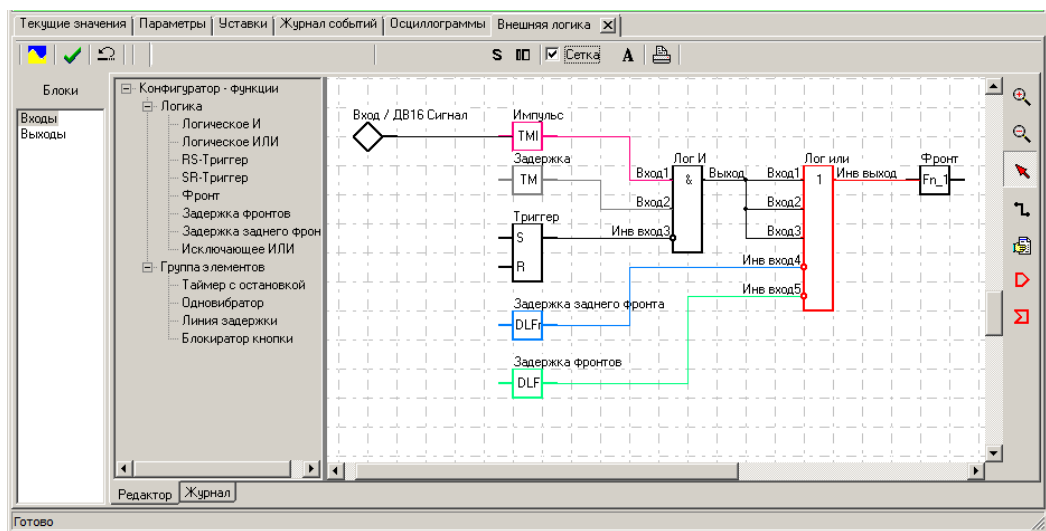


Рис. 4. Возможности отображения элементов на схеме

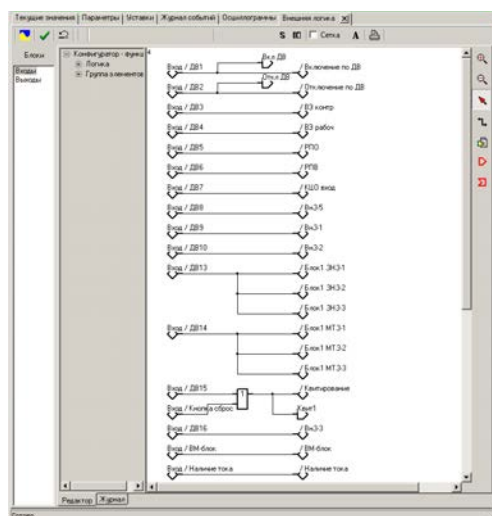


Рис. 5. Входный блок

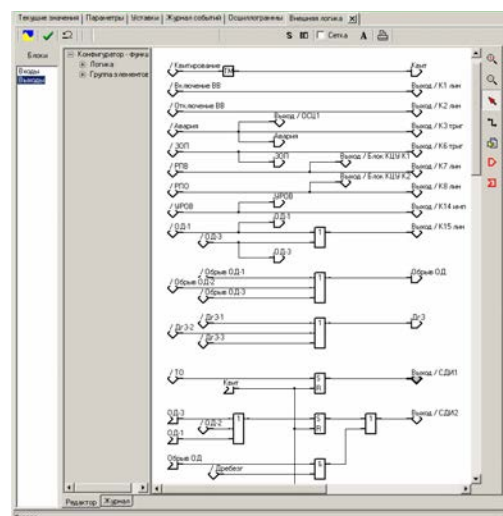


Рис. 6. Выходный блок

Побудова зв'язку завжди починається з виходу одного елемента вхід іншого. На один вихід можна призначити скільки завгодно ліній зв'язку, на вхід – лише одну. Якщо лінії з одного виходу накладаються одна на іншу, то в місцях їхнього розгалуження відображається точка. У тому випадку, коли зв'язки належать різним виходам, точок немає (рис. 3) [7, с. 56–73].

Приклад вхідного блоку представлений рис. 5.

Приклад вихідного блоку представлений на рис. 6.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Дані результати щодо моделювання процесів роботи мікропроцесорного терміналу обговорювались на кафедрі енергетики і автоматики ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». Така система досліджень дозволяє реалізувати методику проведення експериментального моделювання параметрів мікропроцесорного терміналу релейного

та автоматизації енергосистем з використанням вільно програмованої логіки елементів.

ВИСНОВКИ

До перспективних напрямів застосування програмного середовища відноситься дослідження взаємодії мікропроцесорних захистів, удосконалення алгоритмів існуючих та створення нових алгоритмів захисту та противарійної автоматики, що враховують особливості та функціональні можливості мікропроцесорної елементної бази та оптимізації цифрової передачі даних.

Дана програмна реалізація крім основних налаштувань мікропроцесорного терміналу забезпечує можливість побудови схем вільно програмованої логіки, що дасть можливість безпосередньо аналізувати роботу системи релейного захисту та автоматизації енергосистем.

REFERENCES

- [1] Yandulskyi, O.S. & Dmytrenko, O.O. (2016). *Releinyi zakhyst. Tsyfrovі prystroi releinoho zakhystu, avtomatyky ta upravlinnia elektroenergetychnykh system* [Relay protection. Digital devices of relay protection, automation and control of power systems]. Kyiv: NTUU «KPI». [in Ukrainian].
- [2] Bunko, V.Ia. & Darmoris, P.M. (2023). Doslidzhennia intelektualnogo terminalu dlia releinoho zakhystu ta avtomatyzatsii system [Research of an intelligent terminal for relay protection and system automation]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnogo universytetu korablobuduvannia imeni admiralа Makarova* № 1 (490) / 2023. pp. 135-142 [in Ukrainian].
- [3] Sait kompanii RZA SYSTEMS [«RZA SYSTEMS»]. Catalogue. Relay protection and automation devices. *rzasystems.com*. Retrieved from: <https://rzasystems.com/> [in Ukrainian].
- [4] Prystroi serii RZL-05 z vilno prohramovanoiі lohikoіu. [Devices of the RZL-05 series with freely programmable logic]. *reلسis.ua*. Retrieved from: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05-spl> [in Ukrainian].
- [5] Prystrii zakhystu ta kontroliu dlia pidstantsii ta pryednan 6-35 kV RZL-05.M [Protection and control device for substations and connections 6-35 kV RZL-05.M]. *reلسis.ua*. Retrieved from: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05m> [in Ukrainian].
- [6] Hrebchenko, M.V., Nikiforov, A.P. & Bunko, V.Ia. (2019). *Releinyi zakhyst i avtomatyka rozpodilnykh elektrychnykh merezh* [Relay protection and automation of electrical distribution networks]. Kyiv: TsP «KOMPRYNT» [in Ukrainian].
- [7] Program sms.exe «Monitor-2». Sait kompanii NVP «RELSIS» [NVP «RELSIS»]. *reلسis.ua*. Retrieved from: <https://reلسis.ua/ua> [in Ukrainian].
- [8] Kutin, V.M., Kutina, M.V., & Pliukhin, M.O. (2017). *Zasoby diahnostuvannia releinoho zakhystu ta avtomatyky elektroenergetychnykh system* [Diagnostic tools for relay protection and automation of electric power systems]. Vinnitsa: VNTU [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Яндульський, О.С., Дмитренко, О.О. (2016). Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем : навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ». 102 с.
- [2] Бунько, В.Я., Дарморіс, П.П. (2023). Дослідження інтелектуального терміналу для релейного захисту та автоматизації систем. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова* № 1 (490). С. 135–142.
- [3] Сайт компанії РЗА Системз. Каталог. Пристрої релейного захисту та автоматики. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://rzasystems.com/wp-content/uploads/2023/11/Katalog_RZA_2024.pdf.
- [4] Пристрої серії РЗЛ-05 з вільно програмованою логікою. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05-spl>.
- [5] Пристрій захисту та контролю для підстанцій та приєднань 6-35 кВ РЗЛ-05.М [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05m>.
- [6] Гребченко, М.В., Нікіфоров, А.П., Бунько, В.Я. (2019). Релейний захист і автоматика розподільних електричних мереж : навчальний посібник. Київ : ЦП «КОМПРИНТ». 314 с.
- [7] Програма sms.exe «Монітор-2». Сайт компанії НВП «РЕЛСІС» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://reلسis.ua/ua>.
- [8] Кутін, В.М., Кутіна, М.В., Ілюхін, М.О. (2017). Засоби діагностування релейного захисту та автоматики електроенергетичних систем : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ. 120 с.

© Бунько В. Я., Потапенко М. В., Бунько Н. В.
Дата надходження статті до редакції: 09.02.2024
Дата затвердження статті до друку: 21.02.2024