

УДК 621.311.172

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2023.1\(490\).17](https://doi.org/10.15589/znp2023.1(490).17)**RESEARCH OF INTELLIGENT TERMINAL FOR RELAY PROTECTION
AND AUTOMATION OF ENERGY SUPPLY SYSTEMS****ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ТЕРМІНАЛУ ДЛЯ РЕЛЕЙНОГО
ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ****Vasyl Ia. Bunko**

VBunko@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9403-8135

Petro M. Darmoris

Darmoris@meta.ua

ORCID: 0000-0001-7052-3315

В. Я. Бунько,

канд. техн. наук, доцент

П. М. Дарморіс,

старший викладач

*Separated subdivision of the National university of bioresources and natural use of Ukraine**“Berezhanskyi agrotechnical institute”, Berezhany**Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут», м. Бережани*

Abstract. Today, in the period of development of digital technologies, specialists of any industry, including in the field of electric power and automation, increasingly deal with intelligent devices for controlling, protecting and dispatching electrical installations and energy infrastructure objects. Such objects include modern powerful electric power systems and their elements (for example, power stations, long-distance power transmission lines, electric distribution systems of large industrial enterprises, autonomous electric power, conversion, electrotechnical and electromechanical installations and their control systems), which include relay protection devices and emergency automation, contact switchgear, etc. The purpose of this work is a detailed and extended analysis of the functionality and modes of operation of the RZL-05 microprocessor terminal of relay protection and automation, which is studied in laboratory conditions and is designed to increase the reliability and efficiency of the operation of transformers, cable and overhead power lines with a voltage of 6-35 kV.

Method. Analysis and substantiation of the possibilities of using an intelligent relay protection and automation device aimed at ensuring the reliable operation of the power supply system as a whole.

The results. A control system for the study and adjustment of the microprocessor terminal as an executive element, which ensures an increase in the reliability of the system of relay protection and automation of stations, substations and electrical networks, is presented. A control scheme for a microprocessor device with separate power elements, high-voltage switches was developed, and a study of their coordinated operation and system functionality with this intelligent device was conducted.

Scientific novelty. The article discusses innovative approaches to the practical use of intelligent relay protection and automation devices, controlled and configured from a personal computer to ensure the safety and reliability of the power supply system for consumers.

Practical significance. The system using intelligent protection devices and automatic control of electric power facilities will make it possible to optimally ensure the reliability and safety of power supply systems, as well as significantly improve the quality of electric energy for consumers. Therefore, the implementation of such innovative solutions and solving the problem of ensuring the safety of the power supply system is quite relevant and important.

Key words: intelligent device; microprocessor terminal; relay protection; automation; power supply system.

Анотація. На сьогоднішній день в період розвитку цифрових технологій, фахівці будь-якої галузі, в тому числі в сфері електроенергетики та автоматизації, все частіше мають справу з інтелектуальними пристроями керування, захисту та диспетчеризації електричних установок та об'єктів енергетичної інфраструктури. До таких об'єктів відносяться сучасні потужні електроенергетичні системи та їх елементи (наприклад, електричні станції, дальні лінії електропередачі, електричні розподільні системи великих промислових підприємств, автономні електроенергетичні, перетворювальні, електротехнічні і електромеханічні установки і системи управління ними), які включають пристрої релейного захисту і противарійної автоматики, контактні розподільні пристрої тощо.

Мета даної роботи полягає у детальному та розширеному аналізі функціональних можливостей та режимів роботи мікропроцесорного терміналу релейного захисту та автоматики РЗЛ-05, який досліджується в лабораторних умовах і призначений для підвищення надійності та ефективності функціонування трансформаторів, кабельних та повітряних ліній електропередач напругою 6-35 кВ.

Методика. Аналіз та обґрунтування можливостей використання інтелектуального пристрою релейного захисту та автоматизації, спрямованих на забезпечення надійної роботи системи електропостачання в цілому.

Результати. Представлено систему керування для дослідження та налаштування мікропроцесорного терміналу, як виконавчого елемента, що забезпечує підвищення надійності системи релейного захисту та автоматизації станцій, підстанцій та електричних мереж. Розроблено схему керування мікропроцесорним пристроєм з окремими силовими елементами, високовольтними вимикачами, а також проведено дослідження їх узгодженої роботи та функціональних можливостей системи з даним інтелектуальним пристроєм.

Наукова новизна. У статті розглянуто інноваційні підходи до практичного використання інтелектуальних пристроїв релейного захисту та автоматики, керованих і налаштованих із персонального комп'ютера для забезпечення безаварійності та надійності роботи системи електрозабезпечення споживачів.

Практична значимість. Система з використанням інтелектуальних пристроїв захисту та автоматичного керування електроенергетичних об'єктів дасть можливість оптимально забезпечити надійність роботи та безаварійність систем електропостачання, а також значно підвищити якість електричної енергії споживачів. Тому впровадження таких інноваційних рішень та вирішення проблеми із забезпеченням безаварійності роботи системи енергопостачання є досить актуальним та важливим.

Ключові слова: інтелектуальний пристрій; мікропроцесорний термінал; релейний захист; автоматика; система електропостачання.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Незважаючи на складний час в нашій країні, зокрема пошкодженням енергетичної інфраструктури, яке спричинене російською військовою агресією, рівень технічного розвитку будь-якої держави визначається в основному станом її енергетики, потужністю електростанцій і виробництвом електричної енергії.

Враховуючи сьогоденні темпи розвитку інноваційних технологій, науково-технічний прогрес постійно супроводжується кількісними та якісними змінами в області електроенергетики, електротехніки та автоматизації впровадженням сучасних електротехнічних та електромеханічних пристроїв, вдосконаленням технологічних процесів і підвищенням енергозбереження та енергоефективності комунально-побутових приміщень та виробничих об'єктів.

Безпечна і безаварійна експлуатація систем електропостачання ставить перед фахівцями електроенергетичної галузі різносторонні та складні задачі, в тому числі з охорони праці.

Здорові і безпечні умови праці електротехнічного персоналу й працівників, що обслуговують та експлуатують електроенергетичні об'єкти, можуть бути забезпечені виконанням науково обґрунтованих правил і норм, як при проектуванні та монтажі, так і при їх експлуатації [7, с. 10].

Для цього впроваджуються різні автоматичні пристрої, в тому числі і мікропроцесорні термінали релейного захисту та автоматики, які захищають електричні станції і підстанції, лінії електропередач від надскладних пошкоджень викликаних ненормальними режимами роботи системи електропостачання.

Мікропроцесорний релейний захист є основним пристроєм електричної автоматики, без якого неможлива нормальна і надійна робота сучасних електроенергетичних систем. Він здійснює безперервний контроль за станом і режимом роботи всіх елементів енергосистеми і реагує на виникнення пошкоджень і ненормальних режимів.

Тому використання мікропроцесорних терміналів різного функціонального призначення в системі енергопостачання є невід'ємною частиною прийняття раціональних інженерно-технічних рішень, які дозволяють забезпечити безаварійність такої системи та підвищити її надійність та ефективність.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженнями мікропроцесорних пристроїв захисту та автоматики (МП РЗА) займалися Кузнецов С.М., Яндутьський О.С., Демиденко І.С., Гашкова А.В., Гречишников В.А., Кутін В.М., Кутіна М.В., Люхін М.О., Данилов О.А., Гребченко М.В. та інші [2, с. 8; 4, с. 5]. Значний внесок у розвиток МП систем РЗА внесли: ІЕД НАН України (м. Київ) – Стогній Б.С., Кириленко О.В., Сопель М.Ф. [2, с. 8]. В останні роки щодо розробки, підвищення ефективності функціонування та впровадження МП РЗА ведуться відомими компаніями, зокрема ТОВ «Науково-виробниче підприємство «РЕЛСІС», РЗА СИСТЕМ3, SCHNEIDER ELECTRIC Україна, ВО «Київприлад», АВВ Україна – General Energy Ukraine), ТОВ НВП «Хартрон Інкор», SIEMENS та інші [2, с. 7-8; 3, с. 65].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Для забезпечення надійної та безаварійної роботи систем енергопостачання до сьогоднішнього дня в розподільних пристроях використовуються електромагнітні та електромеханічні пристрої виробництва минулого століття, які морально та фізично застаріли. Тому впровадження та використання мікропроцесорних елементів релейного захисту та автоматики в тому числі різних виробників з різними параметрами, характеристиками та узгодженням їхньої роботи в окремих КСО, КРПЗ (КРУН) чи релейних відсіках є важливим завданням для дослідження.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи являється детальний аналіз функціональних можливостей та режимів роботи мікропроцесорного терміналу релейного захисту та автоматики, а також дослідження в лабораторних умовах при малих струмах навантаження, як засіб підвищення надійності та ефективності функціонування трансформаторів, кабельних та повітряних ліній електропередач напругою 6-35 кВ.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи дослідження – аналіз та обґрунтування можливостей використання інтелектуального пристрою релейного захисту та автоматизації, спрямованих на забезпечення надійної та безаварійної роботи системи електропостачання. Об'єкт дослідження – інтелектуальний пристрій релейного захисту та автоматики та система з програмним керуванням. Предмет дослідження – процес налаштування та визначення параметрів роботи мікропроцесорного терміналу.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Надійність та довговічність роботи будь-якого пристрою, в тому числі мікропроцесорного, забезпечується не тільки його якістю, але й правильним дотриманням режимів та умов експлуатації [6, с. 2].

Такі 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. 26-27].

Такий пристрій мікропроцесорного захисту та автоматики, як РЗЛ-05М, призначений для виконання функцій релейного захисту, автоматики та сигналізації приєднань трансформаторів, кабельних та повітряних ліній електропередач напругою до 6-35 кВ [6, 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.

Варто відзначити, що дані пристрої за міцністю ізоляції задовольняють вимоги МЕК 255-5 та ДСТУ 3020 – 95.

Слід зауважити, що даний пристрій забезпечує наступні експлуатаційні можливості, які відрізняються від інших типів подібних елементів [6, с. 6-7; 8]: максимальний струмовий захист (МСЗ, 5 ступенів), прискорення МСЗ; спрямований з контролем потужності/не спрямований струмовий захист від замикань на землю (ЗНЗ, 3 ступені); автоматичне повторне вмикання (АПВ, одно/двократне); вимикання від зовнішнього АЧР та вмикання по ЧАПВ; резервування відмови вимикача з контролем струму (УРОВ); захист від неповнофазного режиму – обриву фаз (ЗОФ); логічний захист шин (ЛЗШ); дуговий захист подачею сигналу від зовнішніх датчиків на дискретний вхід (ДГЗ); дуговий захист комірки КРП від вбудованих волоконно-оптичних датчиків (ДГЗ-ВОД); можливість приєднання зовнішніх захистів (ВНЗ); завдання внутрішньої конфігурації (введення/виведення захисту та автоматики, вибір захисних характеристик тощо) через меню, або з ПК; введення та зберігання уставок захисту та автоматики; захист паролем усіх налаштувань та уставок; перемикач двох програм уставок; сигналізацію спрацьовування захисту та автоматики за допомогою призначених реле та світлодіодів, а також по каналу АСУ; керування вимикачем, контроль та індикацію його положення, контроль справності кіл керування; вимірювання та індикацію фазних струмів та струму нульової послідовності; реєстрацію подій та аварійних параметрів, запис осцилограм аварійних подій з прив'язкою до дати та часу; інформативний морозостійкий мінідисплей та світлодіодна сигналізація поточного стану пристрою, спрацювання захисту та автоматики; отримання дискретних сигналів управління та блокувань, видачу команд управління, аварійної та попереджувальної сигналізації; виконання функцій телесигналізації, телевимірювання та телеуправління вимикачем, передачу параметрів аварії, введення та зміна уставок по лінії зв'язку; постійний автоконтроль справності (самодіагностики); блокування всіх виходів у разі несправності пристрою для виключення помилкових спрацьовувань; гальванічна розв'язка всіх входів та виходів, включаючи живлення, підвищена потужність імпульсу при спрацьовуванні дискретних входів 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 колах КРП [9, с. 200].

Очевидним є те, що даний пристрій є багатофункціональним та має широкий спектр функціональних можливостей налаштування та керування ним.

Пристрої постійно перебуває в режимі контролю чотирьох струмів і напруги нульової послідовності 3U0. При відсутності трансформатора струму у фазі В пристрій вмикається за двофазною схемою, яка показана на рис. 1 [6, с. 92].

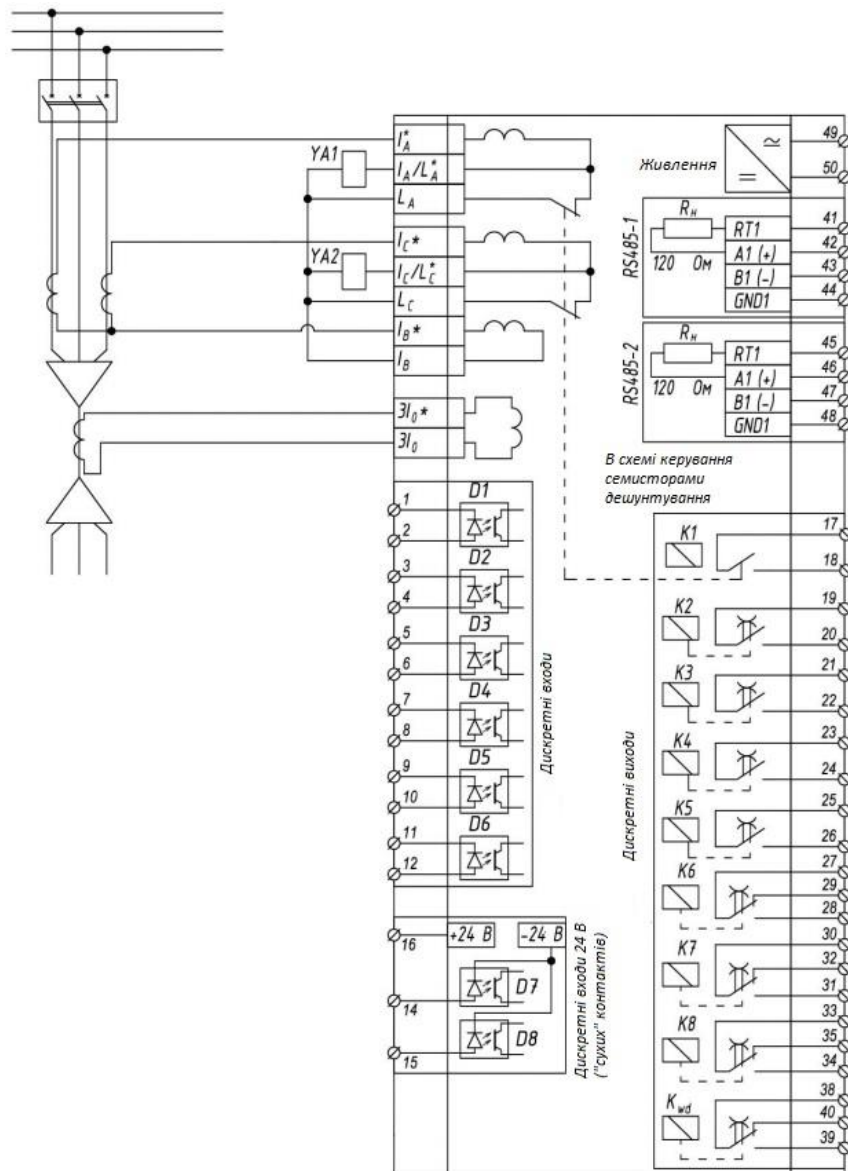


Рис. 1. Схема підключення зовнішніх кіл до пристрою P3L-05.M3 з двома інтерфейсами RS-485

Пристрій одночасно вимірює миттєві значення електричних величин за допомогою багатоканального АЦП. Зняті значення АЦП обробляються за програмою цифрової фільтрації відносно першої гармоніки промислової частоти [1, с. 18; 1, с. 61].

Для порівняння з уставками обчислюється діюче значення кожного струму і визначається максимальне значення із фазних струмів.

Одночасно розраховуються симетричні складові струмів та напруг. Значення модулів векторів обчислюються кожні 5 мс і порівнюються з уставками, введеними в пристрій під час налаштування його на конкретне застосування.

Всі уставки пристрою зберігаються в енергонезалежній пам'яті, що дозволяє багаторазово робити необхідні зміни.

Перегляд вимірювань поточних значень фазних струмів і напруги 3U0, обчислених значень прямої та зворотної послідовності струмів, значення параметрів пристрою, стан дискретних входів, перегляд та зміна значень уставок здійснюється за допомогою кнопок керування та OLED-дисплея, розташованих на лицьовій панелі приладу. Дврядковий 20-тизначний OLED-дисплей забезпечує зчитування інформації за будь-якої освітленості.

Світлодіодні індикатори на лицьовій панелі пристрою забезпечують сигналізацію поточного стану пристрою, спрацьовування захистів та функцій автоматики.

Взаємозв'язок вихідних аналогових сигналів та сигналів дискретних входів з вихідними реле, та сигналізацією пристрою задається програмно.

Для зручності роботи з пристроєм при його налагодженні та перевірці використовується програмне забезпечення «Монітор-2».

При пуску будь-якого ступеня захисту вмикаються реле та світлодіод запрограмовані на пуск відповідного ступеня захисту. Далі запускаються таймери витримки часу спрацьовування, заданої для кожного ступеня. У випадку зниження вхідних струмів нижче порогу, відбувається скидання витримки часу. Для залежних характеристик витримка часу керується поточним струмом. Після закінчення заданої витримки часу введених захистів вмикається запрограмований на цю функцію світлодіод (наприклад, СДІ-2, СДІ-3, СДІ-4). Якщо захист призначено з дією на вимкнення, відбувається вимкнення вимикача за допомогою реле К1 «Вимк».

У момент спрацьовування контактів реле К1 «Вимк» відбувається фіксація всіх вимірних на момент аварії струмів та напруг, дати і часу пуску та спрацьовування захисту, спрацьовування вихідного реле К1 «Вимк».

Розмикання контактів реле К1 «Вимк» відбувається після витримки часу «К1 $T_{\text{імн}}$ » (задається в розділі меню «Уставки» – «Автоматика»), за умови відсутності струму в колах вимірювання «ІА», «ІВ», «ІС». За наявності струму вище 0,35 А після спрацьовування захисту, реле К1 залишається замкнутим до моменту його зниження нижче 0,35 А та закінченні витримки часу «К1 $T_{\text{зворот}}$ ».

Передбачено контроль за часом перемикання вимикача, а також можливість обмеження тривалості спрацьовування вихідних реле К1 «Вимк» і К2 «Вімк».

Пристрій забезпечує збереження параметрів налаштування й конфігурації захисту та автоматики (уставок) протягом усього терміну експлуатації.

Вбудований струмовий блок живлення пристрою забезпечує спрацьовання функцій релейний захисту при відсутності напруги оперативного живлення, що дозволяє використовувати пристрій на об'єктах із змінним оперативним струмом.

Максимальний струмовий захист (МСЗ) від міжфазних замикань виконано п'ятиступінчатим по трьох або дворелейній схемах. МСЗ виконується з контролем трьох фазних струмів.

Введення в роботу ступенів МСЗ здійснюється уставкою «МСЗ-п режим» для першого, другого, четвертого і п'ятого ступенів відповідно.

Уставками «МСЗ-п струм» задаються значення струмів спрацьовування ступенів МСЗ-1, МСЗ-2, МСЗ-3, МСЗ-4, МСЗ-5 відповідно [6, с. 23; 8].

Перший, другий, четвертий і п'ятий ступені виконано з незалежною часошумовою характеристикою (ЧСХ). Витримка часу на спрацьовування задається уставками «МСЗ-п час» для МСЗ-1, МСЗ-2, МСЗ-3, МСЗ-4, МСЗ-5 відповідно.

Максимальний струмовий захист спрацьовує при перевищенні будь-яким із фазних струмів відповідної уставки з витримкою часу.

При невеликих значеннях перевантаження рекомендовано використовувати ступінь МСЗ-4 з тією ж уставкою за струмом та уставкою за часом 90-99 с. Ступені МСЗ-1, МСЗ-2, МСЗ-3, МСЗ-4 діють на вимкнення.

Варто сказати, що для ступеня МСЗ-3 можливий вибір однієї з шести часошумових характеристик уставкою «МСЗ-3 хар-ка».

Час витримки незалежної характеристики визначається значенням уставки $T_{\text{уст}}$ [6, с. 24; 8].

Наведемо нормально інверсну характеристику (МЕК 225-4) [6, с. 116; 8] (рис. 2).

Сильно інверсна характеристика (МЕК 225-4) [6, с. 117; 8] виглядає так (рис. 3).

Надзвичайно інверсна характеристика (МЕК 225-4) [6, с. 118; 8] наведена на рис. 4.

Пуск ступеня із залежною часошумовою характеристикою відбувається при струмах, що перевищують $1,1 I_{\text{уст}}$. Витримка часу на початковій ділянці залежних часошумових характеристик не перевищує 87,5 с. Якщо розрахункова часова витримка перевищує зазначену, то вихідне реле спрацьовує із часом 87,5 с.

Одним із важливих аспектів дослідження є побудова кругових діаграм з врахуванням фаз, за допо-

$$t = \frac{0,14T_{\text{уст}}}{(I/I_{\text{уст}})^{0,02} - 1}$$

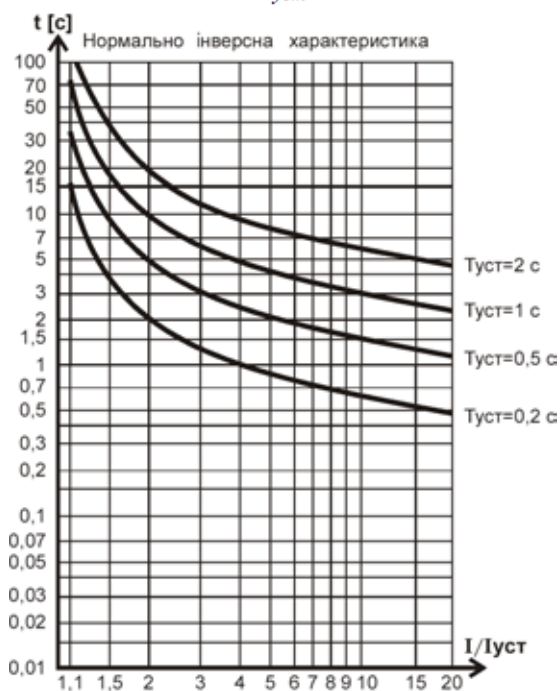


Рис. 2. Нормально інверсна характеристика

$$t = \frac{13,5T_{уст}}{(I/I_{уст}) - 1}$$

$$t = \frac{80T_{уст}}{(I/I_{уст})^2 - 1}$$

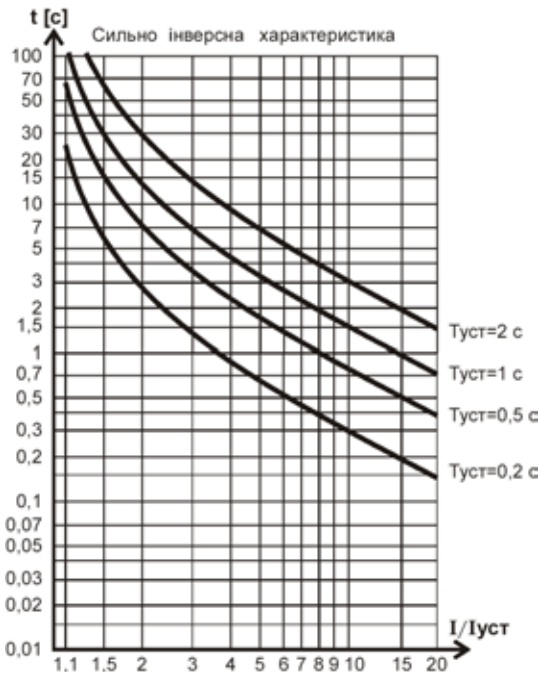


Рис. 3. Сильно инверсная характеристика

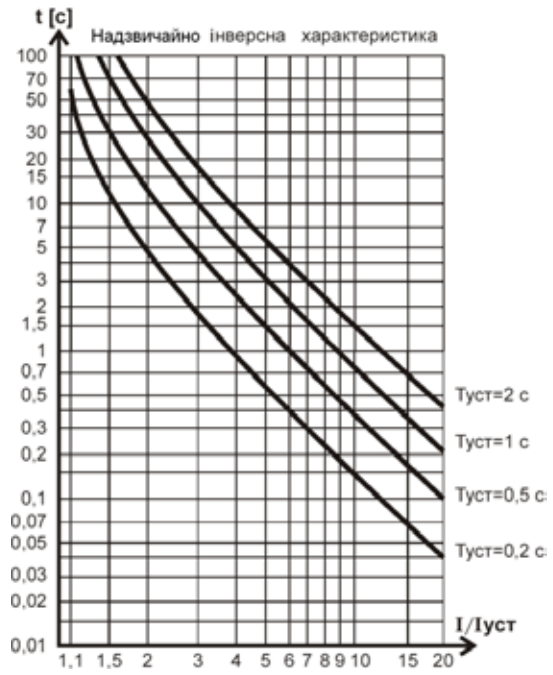


Рис. 4. Надвизчайно инверсная характеристика

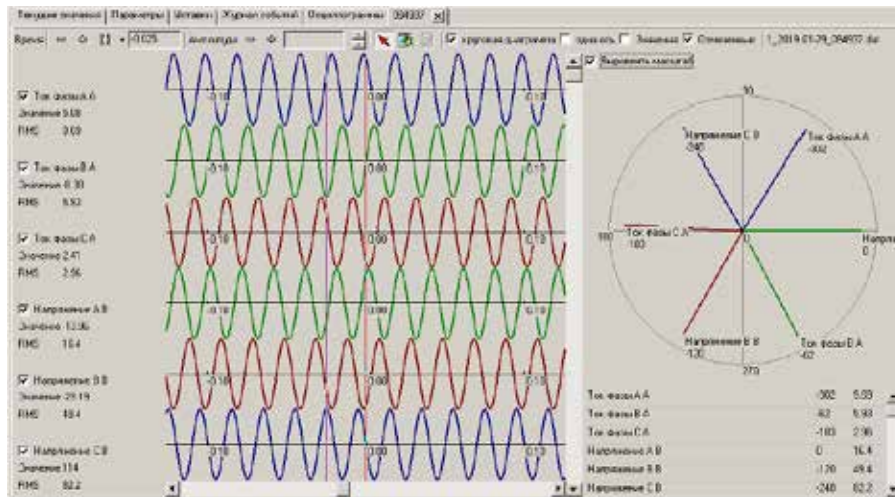


Рис. 5. Дослідження кругової діаграми

могою якої можна детально проаналізувати значення напруг та струмів, а також визначити кут зсуву векторів електричних величин при певних режимах роботи енергетичної системи.

Для більш детальної реалізації таких пристроїв застосовують схему організації мережі з інтерфейсом RS-485, яка зображена на рис. 6 [6, с. 41].

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Дана система дозволяє реалізувати методику аналізу та дослідження мікропроцесорного терміналу релейного та автоматизації енергосистем як в лабораторних умовах, так і на окремих виробничих потужностях. Елементи інтелектуального характеру сьогодні широко використовуються для захисту ліній

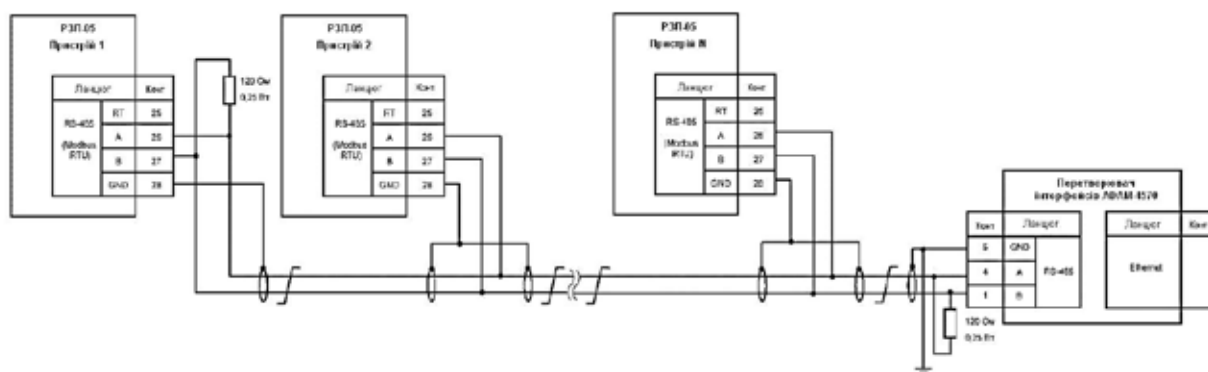


Рис. 6. Приклад схеми організації мережі з інтерфейсом RS-485

електропередач, трансформаторів, логічного захисту збірних шин, дугового захисту в комірках розподільних пристроїв, сигналізації на підстанції тощо.

ВИСНОВКИ

Отже, враховуючи аналіз та обґрунтування параметрів функціональних можливостей реле типу РЗЛ, слід зауважити, що інтелектуальний пристрій має ряд важ-

ливих функцій керування в системі релейного захисту та автоматики, адже на сьогоднішній день, складно уявити надійну роботу об'єктів електроенергетики без мікропроцесорних елементів телемеханіки та телеуправління. Такі пристрої застосовуються в комірках релейних відсіків та системах автоматизованого керування енергетичними об'єктами.

REFERENCES

- [1] Hryshchuk, Yu.S. (2007). *Mikroprotsesorni prystroi [Microprocessor devices]*. Kharkiv: NTU «KhPI» [in Ukrainian].
- [2] Yandulskyi, O.S. & Dmytrenko, O.O. (2016). *Releinyi zakhyst. Tsyfrovii prystroi releinoho zakhystu, avtomatyky ta upravlinnia elektroenerhetychnykh system [Relay protection. Digital devices of relay protection, automation and control of power systems]*. Kyiv: NTUU «KPI». [in Ukrainian].
- [3] Bunko, V.Ia. & Darmoris, P.M. (2019). Doslidzhennia ta analiz roboty mikroprotsesornoho prystroiu v umovakh zminy potuzhnosti spozhyvacha [Research and analysis of the operation of the microprocessor device under the conditions of changing the power of the consumer]. *Enerhetyka i avtomatyka – Energy and automation*, № 1. 64-72. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2019_1_9 [in Ukrainian].
- [4] Kutin, V.M., Kutina, M.V., & Pliukhin, M.O. (2017). *Zasoby diahnostuvannia releinoho zakhystu ta avtomatyky elektroenerhetychnykh system [Diagnostic tools for relay protection and automation of electric power systems]*. Vinnitsa: VNTU [in Ukrainian].
- [5] Bunko, V.Ia. (2015). Analiz metodiv ta zasobiv pidvyshchennia nadiinosti elementiv releinoho zakhystu. [Analysis of methods and means of increasing the reliability of relay protection elements]. *Tekhnolohycheskyi audyt u rezervy proyzvodstva – Technological audit and production reserves*. № 3(1). 26-30. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatr_2015_3%281%29_7 [in Ukrainian].
- [6] 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].
- [7] 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 «KOMPRYNТ» [in Ukrainian].
- [8] Sait kompanii NVP «RELSIS» [NVP «RELSIS»]. *reلسis.ua*. Retrieved from: <https://reلسis.ua/ua> [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Гришук Ю.С. (2007). Мікропроцесорні пристрої : навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ». 280 с.
- [2] Яндутьський О.С., Дмитренко О.О. (2016). Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем : навч. посіб. / під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндутьського. Київ : НТУУ «КПІ». 102 с.
- [3] Бунько В.Я. (2019). Дослідження та аналіз роботи мікропроцесорного пристрою в умовах зміни потужності споживача. *Енергетика і автоматика*. № 1. С. 64-72. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2019_1_9.
- [4] Кутін В.М. (2017). Засоби діагностування релейного захисту та автоматики електроенергетичних систем : навч. посіб. / В.М. Кутін, М.В. Кутіна, М.О. Люхін. Вінниця : ВНТУ. 120 с.

- [5] Бунько В.Я. (2015). Аналіз методів та засобів підвищення надійності елементів релейного захисту. Технологический аудит и резервы производства. № 3(1). С. 26-30. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2015_3%281%29__7.
- [6] Пристрій захисту та контролю для підстанцій та приєднань 6-35 кВ РЗЛ-05.М. URL: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05m>.
- [7] Гребченко М.В. (2019). Релейний захист і автоматика розподільних електричних мереж : навч. посіб. / М.В. Гребченко, А.П. Нікіфоров, В.Я. Бунько. Київ : ЦП «КОМПРИНТ». 314 с.
- [8] Сайт компанії НВП «РЕЛСІС». URL: <https://reلسis.ua/ua>.

© В. Я. Бунько, П. М. Дарморіс

Дата надходження статті до редакції: 23.03.2023

Дата затвердження статті до друку: 10.04.2023