

С.М. БОЙКО, І.О. ГУБІН, О.В. ОМЕЛЬЧЕНКО  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ  
Вінницький національний технічний університет

## ЛАБОРАТОРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЛЕКТИВНОСТІ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

У статті запропоновано лабораторний стенд для дослідження селективності релейного захисту. Лабораторний стенд багатофункціональний. На лабораторному стенді є можливість проводити дослідження селективності релейного захисту на базі аналогових реле, комп'ютеризованих систем з різними типами програмного забезпечення та алгоритмами захисту та проведення аналізу селективності релейного захисту на базі комбінованих аналогових реле та комп'ютеризованих систем. Лабораторний стенд рекомендується для використання при підготовці спеціалістів електроенергетичних спеціальностей та для проведення наукових досліджень.

Ключові слова: системи електропостачання, лабораторний комплекс, комп'ютеризовані системи, селективність релейного захисту, аналогові реле, вимірювальні трансформатори, імітування короткого замикання.

S.M. BOYKO, I.O. HUBIN, O.V. OMELCHENKO  
Kremenchuk National University named after Michael Ostrogradskiy,  
S.Y. VYSHNEVSKY  
Vinnytsia National Technical University

### LABORATORY COMPLEX FOR THE RESEARCH SELECTIVITY OF RELAY PROTECTION

*Abstract – The article suggests the laboratory complex for the study selectivity of relay protection. Laboratory booth is a multifunctional complex. There is a possibility on the laboratory booth to carry out the research selectivity of relay protection based on the analogue relay, computerized systems with different types of software and algorithms of protection and to carry on analysis selectivity of relay protection based on combined analogue switches and computerized systems. Proposed laboratory booth is recommended for preparation of specialists of the electric power specialties and for carrying out scientific research.*

*Keywords: systems of electricity supply, laboratory complex, computerized systems, selectivity of relay protection, analogue switches, instrument transformers, short circuit simulation.*

### Вступ

Останніми роками в енергосистемі України широко впроваджуються сучасні пристрої релейного захисту, виконані на базі мікропроцесорної техніки. Завдяки цьому з'являється можливість розробляти та застосовувати нові алгоритми захисту різних складових енергосистеми. Завдання їх розробки стає все більш актуальним у зв'язку з розвитком енергетики і, як наслідок, посиленням вимог до надійності і швидкодії релейного захисту [1].

В свою чергу системний підхід для вирішення цього питання неможливий без глибокого теоретичного та практичного опрацювання технічних рішень, та підготовки кваліфікованих фахівців.

При цьому розуміння процесів, володіння методами їх реалізації, орієнтування у різноманітті технічних засобів, ставить перед викладачами задачу розробки відповідного лабораторного обладнання, яке повинно бути інструментом для підвищення ефективності опанування студентами теоретичних положень та набуття практичних навичок.

Актуальність роботи. У зв'язку з досить високими темпами технічної реалізації систем релейного захисту та впровадження їх у виробництво, є необхідність розробки лабораторного обладнання, яке дозволить вивчити та дослідити селективні можливості різних систем, а також бути використаним для підготовки фахівців відповідного рівня [2].

Мета роботи. Метою роботи є аналіз функціональних можливостей лабораторного комплексу для дослідження характеристик селективності релейного захисту систем електропостачання.

### Матеріал і результати досліджень

Тривалий період експлуатації устаткування призводить до морального й фізичного старіння систем релейного захисту та автоматики. Оскільки ремонт цього устаткування часто ускладнений, внаслідок зняття з виробництва багатьох елементів, то одним з шляхів підвищення надійності, розширення функціональних можливостей та поліпшення загальних характеристик, систем релейного захисту є модернізація устаткування, що передбачає часткову або повну заміну аналогового обладнання на сучасні мікропроцесорні термінали.

Існуючі у наш час пристрої релейного захисту виконані, в основному, на аналогових електромеханічних та напівпровідникових статичних реле, а також на базі аналогових інтегральних мікросхем. Принципи виявлення uszkodжень і алгоритми функціонування релейного захисту на базі цих елементів мають незначні відмінності. Пристрої цього типу функціонально являють собою кінцеві автомати із твердою логікою.

Основним недоліком систем релейного захисту на базі аналогових пристроїв є велика кількість елементів, що спричиняє необхідність застосування окремих шаф, ускладнює проведення профілактичних перевірок працездатності устаткування, що супроводжується ростом кількості обслуговуючого персоналу й зниженням надійності. Дане положення збільшується при реалізації нових функцій, наявних у мікропроцесорних пристроях. Крім того, для пристроїв захисту й автоматики на електромеханічній і напівпровідниковій базі характерні:

- зміна параметрів уставок під впливом зовнішніх факторів;
- значний час відключення міжфазних коротких замикань;
- неможливість створення багаторазових пристроїв автоматичного повторного включення;
- труднощі у виконанні пристроїв, «які запам'ятовують» надструми короткого замикання й струми замикання на землю та, отже, неможливість використання цього захисту у якості пристроїв для діагностики uszkodження на лініях, що секціоновані і лініях з відгалуженнями до підстанцій;
- відсутність ефективного захисту від однофазних замикань на землю;
- складність дистанційного керування через відсутність можливості зв'язку із цифровими системами управління.

Перераховані недоліки аналогових пристроїв систем релейного захисту, спонукають до модернізації устаткування, швидкий розвиток та здешевлення цифрової техніки сприяють росту кількості електричних станцій, підстанцій та інших енергооб'єктів, які оснащені мікропроцесорними пристроями релейного захисту й автоматики, лічильниками електроенергії й іншим устаткуванням, як вітчизняного, так і закордонного виробництва.

Таким чином, подальший розвиток аналогових пристроїв релейного захисту може здійснюватися тільки екстенсивним шляхом, тобто нарощуванням додаткових апаратних засобів. У зв'язку з цим, головним напрямком модернізації техніки релейного захисту й автоматики варто визнавати заміну систем релейного захисту аналогового типу на цифровий, на базі мікропроцесорної техніки.

Цифрові захисти забезпечують виконання як основних функцій, реалізованих аналоговими релейними захистами, так і додаткових. Їх встановлюють не просто для заміни аналогових пристроїв релейного захисту, а з метою використання для організації нижнього рівня систем управління електроенергетики, що дозволяє автоматизувати збір, обробку й зберігання інформації із пристроїв захисту.

Застосовувані мікропроцесорні пристрої релейного захисту й автоматики мають широкий діапазон уставок і можливостей зміни характеристик спрацювання за часом, напрямком й фазовим зрушенням вимірюваних величин. Вони легко узгодяться з устаткуванням на електромеханічні реле, але в порівнянні з останнім, мають ряд переваг. Тому на етапі розробки лабораторного комплексу було враховано ряд критеріїв, яким має відповідати лабораторно-дослідницький комплекс [3]:

- універсальність, тобто охоплювати широкий спектр електротехнічного обладнання яке використовується на виробництві і яке можна вивчити та дослідити;
- можливості модульного доповнення (за необхідності, розширення функціональних можливостей).

Функціональна схема лабораторного комплексу представлена на рис. 1. До його складу входять наступні елементи: трансформатори струму ТС1-3 ; датчик струму ДС; датчик напруги ДН; пристрої, що імітують коротке замикання ПП-3; узгоджуючий пристрій ПП; аналогові реле струмового відсічення та максимального струмового захисту різних типів СЗ1-п; пристрій релейного захисту ПЗ; цифрово-аналоговий перетворювач ЦАП; аналогово-цифровий перетворювач АЦП; комп'ютер ЕОМ; робочий пристрій РП1-3; навантаження Н1-3; А1-3, аналогове вимірювальне обладнання В1-3.

Лабораторний стенд є багатофункціональним і працює у трьох режимах. У першому режимі роботи, на лабораторному стенді можливо проводити дослідження селективності релейного захисту на базі аналогових реле та обробляти результати за допомогою комп'ютеризованої системи. У другому режимі роботи, на стенді, що розглядається, є можливість проводити дослідження селективності релейного захисту на базі комп'ютеризованих систем з різними типами програмного забезпечення та алгоритмами захисту та обробляти результати за допомогою комп'ютеризованої системи. У третьому режимі роботи, є можливість проводити дослідження та аналіз селективності релейного захисту на базі комбінованих аналогових реле та комп'ютеризованих систем та обробляти результати за допомогою комп'ютера [4, 5].

Таким чином після підключення лабораторного стенду до мережі відбувається запуск ЕОМ та програмного забезпечення, живлення АЦП, ЦАП та підключення навантаження відповідного типу та необхідного номіналу.

Значення струму та напруги фіксуються відповідно датчиками струму за допомогою вимірювальних трансформаторів струму та напруги, які подають відповідний струм (тобто струм згідно їх коефіцієнту трансформації) на СЗ та паралельно на узгоджуючий пристрій в схемі з ЕОМ.

В схемі з ЕОМ сигнал з ПП надходить до аналогово-цифрового перетворювача АЦП, який і надає цифровий сигнал на ЕОМ, де відповідне програмне забезпечення дає змогу регулювати уставки струму, швидкість спрацювання та інше управління захистом.

При перевищенні допустимого струму на одному із ступенів, при імітації короткого замикання за допомогою імітуючих пристроїв ПП, спрацює захист відповідно до встановлених уставок струму та відповідного ступеня селективності, що попередньо розраховуються.

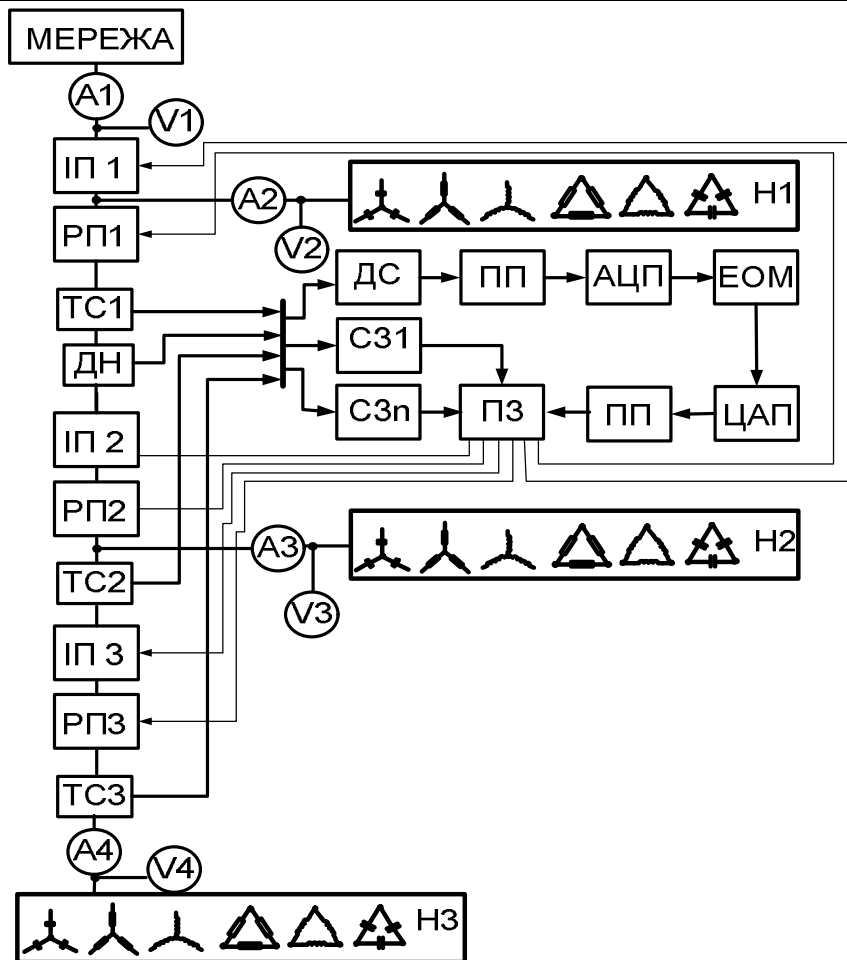


Рис. 1. Структурна схема стенду по дослідженню селективності релейного захисту

Після знеструмлення робочого пристрою, котушки пускача, розмикаються його контакти (РП1-РП3), які відключають відповідне навантаження від мережі.

Таким чином за допомогою лабораторного стенду для дослідження селективності релейного захисту, завдяки імітації короткого замикання, за допомогою імітуючих пристроїв, в зоні дії відповідних ступенів релейного захисту, є можливість досліджувати максимальний струмовий захист та струмове відсічення, що виконане на базі аналогових пристроїв і комп'ютеризованої системи релейного захисту, завдяки якій відбувається управління лабораторним стендом, та фіксування результатів досліджень, є можливість підключення навантаження різного типу та номіналу, що дає можливість імітувати реальні та можливі режими роботи релейного захисту та, за допомогою аналогових приладів та електронної системи збору даних, досліджувати вплив різних режимів налаштування та роботи релейного захисту при різних типах навантаження та на різних ступенях спрацювання [6–8].

Також на стенді є можливість налагоджування уставок реле, шляхом попереднього розрахунку, за допомогою відповідної методики та вивчати різні системи релейного захисту та їх елементи.

Лабораторний стенд дозволяє проводити наступні напрями досліджень [9–12]:

- дослідження енергетичних характеристик та перехідних процесів системи електроживлення при роботі на різне по характеру навантаження;
- дослідження селективності релейного захисту систем електропостачання у різних режимах роботи;
- дослідження динамічних та статичних характеристик реальних режимів роботи, шляхом імітуванням короткого замикання на різних ділянках системи електропостачання.

В основу створення обладнання стенду поставлено наступні задачі:

- дослідження технічних характеристик аналогових та цифрових систем управління релейного захисту та автоматики;
- дослідження енергетичних характеристик системи при селективному спрацюванні релейного захисту у різних режимах роботи з різним типом навантаження, шляхом створення змінного навантаження;
- дослідження енергетичних характеристик системи при селективному спрацюванні релейного захисту у різних режимах роботи з різним типом навантаження, шляхом імітуванням короткого замикання на різних ділянках системи електропостачання.

Особливістю даного лабораторного комплексу є можливість побудови на його базі за поданою структурною схемою стендів для дослідження різних видів захисту силового обладнання [13].

**Висновки**

Лабораторний стенд для дослідження селективності релейного захисту, підвищує якість підготовки фахівців, тому що дозволяє наочно демонструвати та дослідити різні режими роботи та принципи селективності релейного захисту на базі різних типів реле. Розроблений лабораторний комплекс рекомендується для використання при підготовці спеціалістів електроенергетичних спеціальностей та для проведення наукових досліджень.

**Література**

1. Y. Liamets, A. Podchivaline, A. Chevelev, G. Nudelman, J. Zakonjsek, Informational tasks of relay protection, Sydney, Australia, CIGRE SC B5 Colloquium and Meeting. 2003. Report 213.
2. Лямец Ю.Я. Теория уставок / Ю.Я. Лямец, Е.Б. Ефимов, Г.С. Нудельман // Актуальные проблемы релейной защиты : сб. докл. науч. практ. конф. – М., 2001. – С. 106–111.
3. Кержаев Д.В. Исследование распознающей способности дифференциального принципа релейной защиты / Д.В. Кержаев, Д.В. Блинов // Сборник докладов первой международной конференции молодых специалистов ABS. – 2009. – С. 86–89.
4. Y. Liamets, D. Kerzhaev, S. Ivanov, A. Podshivalin, J. Zakonjsek, G. Nudelman, Electrical power system conditions hierarchy in methodology of relay protection education, Madrid, Spain, Colloquium SC B5 CIGRE Committee. 2007.
5. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. – М. : Издательство МЭИ, 2000. – 156 с.
6. Y. Liamets, A. Pavlov, S. Ivanov, G. Nudelman, Virtual relays: theory and application to distance protection, CIGRE SC B5 Colloquium. Australia, Sydney, 2003. Paper 308.
7. Ефимов Е.Б. Оптимальная фазовая селекция коротких замыканий в линиях электропередачи : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. / Е.Б. Ефимов. – Чебоксары : ЧувГУ, 2002.
8. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем : учеб. пособие для техникумов / Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов. – М. : Энергоатомиздат, 1998.
9. Озорнин С.О. Повышение селективности сигнализации однофазных замыканий на землю в сети с компенсированной нейтралью / С.О. Озорнин // Энергетика и промышленность России. – 2006. – № 6(70). – С. 54, 55.
10. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / Шабад М.А. – СПб : Издательство ПЭИПК, 2003. – 350 с.
11. Батулько Д.В. Исследование датчиков тока ТДЗЛВ-10 и трансформаторов тока ТЗЛМ на помехоустойчивость при воздействии внешнего магнитного поля / Д.В. Батулько // Энергетик. – 2006. – № 6.
12. Комплектные электротехнические устройства : справочник : в 3 т. Т. 1. Часть 2. Комплектные распределительные устройства. – М. : Информэлектро, 1999. – 168 с.
13. Бойко С.М. Лабораторний комплекс для дослідження диференційного захисту силового трансформатора / С.М. Бойко, Д.А. Михайлинин, С.Я. Вишневський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 4. – С. 135–138.

Рецензія/Peer review : 7.1.2016 р. Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Сінчук