Заклад вищої освіти „Подільський державний університет”
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ПРОЕКТ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 35/10 КВ «КОПИЧЕНЦІ» АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ТЕРНОПІЛЬОБЛЕНЕРГО» З РОЗРОБКОЮ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ 10 КВ»

Виконав:
здобувач вищої освіти денної форми навчання освітнього ступеня «Бакалавр», освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

БАРАБАНОВ Андрій Олегович

Керівник канд.техн.наук, професор
МИХАЙЛОВА Людмила Миколаївна

Оцінка захисту:
Національна шкала _____
Кількість балів_____Шкала ECTS _____
«___» _____ 2026 р.

Допускається до захисту:
«___» _____ 2026 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
канд. техн. наук, доцент **Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2026

ЗМІСТ

Стор.

Вступ 7

1 ОПИС ГОЛОВНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ ПС 35/10 кВ ТА НАЯВНОГО ОБЛАДНАННЯ 8

1.1 Головна схема електричних з'єднань 8

1.2 Обладнання та основне устаткування підстанції 9

1.2.1 Силові трансформатори на підстанції 11

1.2.2 Розподільчі пристрої 12

1.2.3 Вимикачі та роз'єднувачі 14

1.2.4 Застосування релейного захисту та автоматики підстанції 19

1.2.5 Захист від перенапруг та блискавок 20

1.3 Розрахунок струмів короткого замикання 22

Висновки до розділу 1 28

2 АНАЛІЗ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ ПС 35/10 кВ 29

2.1 Вимоги до релейного захисту електроустановок 29

2.1.1 Основні вимоги до пристроїв релейного захисту 31

2.1.2 Основні принципи побудови захисних пристроїв 32

2.2 Принцип дії максимального струмового захисту 33

2.3 Струмова відсічка на лініях з одностороннім живленням 37

Висновки до розділу 2 40

3 СИСТЕМА РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ПІДСТАНЦІЇ 35/10 кВ 41

3.1 Вибір релейного захисту повітряних ліній 10 кВ 41

3.2 Релейний захист вводу 10 кВ 42

3.3 Релейний захист силового трансформатора 43

3.4 Релейний захист вводу 35 кВ 44

3.5 Релейний захист трансформатора напруги 45

Стор.

3.6 Вибір основного мікропроцесорного пристрою РЗА підстанції 46
3.7 Розрахунок релейного захисту повітряної лінії 10 кВ 48
3.8 Вибір уставок для пристрою SIPROTEC Compact 7SJ804 53
3.9 Розрахунок уставок МСЗ та СВ повітряних ліній 55
3.10 Розрахунок уставок для силових трансформаторів 56
3.11 Розрахунок уставок захистів ШЗВ та вводів 10 та 35 кВ 56
Висновки до розділу 3 57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ 59
4.1 Аналіз небезпечних факторів під час експлуатації вимірювальних трансформаторів струму 59
4.2 Аналіз шкідливих факторів під час експлуатації вимірювальних трансформаторів струму 60
Висновки до розділу 4 61
ВИСНОВКИ 62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 64
ДОДАТКИ 66

ВСТУП

Надійна робота електричних підстанцій є важливою умовою стабільного функціонування енергосистеми. Велику роль у цьому відіграють релейний захист і автоматика (РЗА), які забезпечують швидке виявлення аварій, їх локалізацію та усунення, а також відновлення нормального режиму роботи мережі. У зв’язку зі зростанням вимог до якості електропостачання та ускладненням електричних мереж, питання модернізації систем РЗА стає особливо актуальним. Це особливо стосується підстанцій напругою 35/10 кВ, які розподіляють електроенергію між споживачами.

Багато підстанцій в Україні досі використовують застарілі електромеханічні та аналогові пристрої захисту. Хоча вони є достатньо надійними, такі системи мають ряд недоліків: повільну роботу, обмежені можливості, складність налаштування та відсутність сучасних функцій, таких як дистанційний контроль і передача даних. Це може призводити до збільшення часу ліквідації аварій, пошкодження обладнання та перебоїв в електропостачанні.

Сучасні мікропроцесорні пристрої РЗА значно ефективніші. Вони працюють швидше, мають більше функцій, дозволяють гнучко налаштовувати параметри, здійснюють самодіагностику та можуть передавати дані в автоматизовані системи управління.

Метою цієї роботи є аналіз існуючих систем релейного захисту та розробка пропозицій щодо їх модернізації для підстанції 35/10 кВ. У роботі буде розглянуто основні принципи побудови РЗА, їх переваги та недоліки, а також запропоновано рішення для підвищення надійності та ефективності роботи захисту.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розглянуто підстанцію напругою 35/10 кВ «Копичинці» АТ «Тернопільобленерго», яка працює як транзитний вузол електропостачання та отримує живлення від трьох вводів напругою 35 кВ. Перший ввід забезпечує живлення самої підстанції та виконаний проводом марки АС-70. Другий ввід призначений для електропостачання промислових споживачів, а третій — для живлення споживачів житлово-комунального сектору.

До складу підстанції входять: відкритий розподільчий пристрій 35 кВ; комплектний розподільчий пристрій 10 кВ; два силові трансформатори типу ТМН-1600/35; комутаційне обладнання; пристрої керування та допоміжні системи.

Відкритий розподільчий пристрій 35 кВ виконаний у вигляді окремих блоків із встановленим електротехнічним обладнанням, що розміщене на залізобетонних основах. Проєктом передбачено зручні під'їзні шляхи для виконання монтажних та ремонтних робіт. Збірні шини 35 кВ виконані проводом марки АС-70 та закріплені на порталах за допомогою підвісних ізоляторів.

На стороні 10 кВ використовується комплектний розподільчий пристрій КРПН-10 кВ. Як комутаційне обладнання застосовані вакуумні вимикачі ВВ/TEL-10 та роз'єднувачі Роз'єднувач ONIII-20/8-2. На стороні 35 кВ встановлено роз'єднувачі Роз'єднувач ONIII-30/8-2 та вимикачі типу OVB-VBF-36.

Для захисту кіл вимірювальних трансформаторів напруги, які забезпечують передачу сигналів до пристроїв релейного захисту та вимірювальних приладів, були використані запобіжники типу ПКН-10.

У ході виконання проєкту були проведені розрахунки струмів короткого замикання на шинах підстанції, результати яких узагальнені у відповідних таблицях. Отримані значення були використані для вибору комутаційного обладнання та визначення параметрів релейного захисту.

Як основний мікропроцесорний пристрій релейного захисту та автоматики для підстанції було обрано Siemens SIPROTEC Compact 7SJ804. Використання даного термінала є технічно обґрунтованим рішенням, оскільки він поєднує широкий набір функцій захисту, автоматики та керування, забезпечує високу надійність роботи та підтримує сучасні цифрові протоколи обміну даними.

Під час виконання роботи були розраховані уставки для пристрою SIPROTEC Compact 7SJ804. Вибір уставок здійснювався на основі аналізу електричної схеми підстанції, режимів роботи мережі та розрахунків струмів короткого замикання з урахуванням координації роботи суміжних захистів.

Уставки були підібрані таким чином, щоб забезпечити: селективність; швидкодію; чутливість; надійність роботи системи РЗА.

Принцип селективності реалізовано таким чином, що при виникненні короткого замикання спрацьовує захист, розташований найближче до місця пошкодження, а резервний захист діє лише у випадку відмови основного. Це досягається шляхом правильного вибору струмових уставок та часових витримок.

Таким чином, у результаті виконання дипломного проєкту було розроблено та обґрунтовано систему релейного захисту підстанції 35/10 кВ, яка відповідає сучасним вимогам щодо надійності, безпеки та ефективності функціонування електроенергетичних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕД

1. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – Харків : Форт, 2017. – 760 с.
2. Кодекс систем розподілу : затверджений Постановою НКРЕКП № 310 від 14.03.2018 р. – Київ, 2018.
3. Методичні рекомендації з підготовки дипломних проектів освітнього ступеня «Бакалавр» / Т.Д.Гуцол, Л.М.Михайлова, І.Д.Гарасимчук, О.В.Ткач та ін. (За загальною редакцією Михайлової Л.М., Гарасимчука І.Д.) – ПДАТУ, 2019. – 38 с.
4. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98).
5. Правила охорони електричних мереж : затверджені Постановою Кабінету Міністрів України № 209 від 04.03.1997 р.
6. Кириленко О.В., Блінов І.В., Пархуць Л.Т. Електроенергетичні системи та мережі : навчальний посібник. – Київ : Інститут електродинаміки НАН України, 2021. – 450 с.
7. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи : підручник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. – 540 с.
8. Сегеда М.С. Проєктування електричних мереж : навчальний посібник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. – 312 с.
9. Коцур М.І., Коцур І.М. Електрична частина станцій та підстанцій : навчальний посібник. – Львів : Львівська політехніка, 2018. – 296 с.
10. Кузьмінський В.В. Релейний захист і автоматика електроенергетичних систем : навчальний посібник. – Київ : НУБіП України, 2021. – 390 с.
11. Денисюк С.П., Дерев’янко В.М. Автоматизація та керування в електроенергетичних системах : навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 340 с.

12. Гай О.В. Електропостачання та електроспоживання промислових підприємств : навчальний посібник. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2021. – 280 с.

13. Говоров П.П., Євдокимов В.В. Надійність електроенергетичних систем : навчальний посібник. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2020. – 318 с.Кузнецов В.Г., Бойко О.М. Електричні системи та мережі : підручник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 420 с.

14. Говоров П.П., Денисюк С.П. Електричні станції та підстанції : навчальний посібник. – Київ : НТУУ «КПІ», 2019. – 356 с.

15. Праховник А.В., Денисюк С.П. Електропостачання промислових підприємств : підручник. – Київ : Кондор, 2018. – 480 с.

16. Болюх В.Ф., Бурлака В.В. Релейний захист та автоматика електроенергетичних систем : навчальний посібник. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – 368 с.

17. Релейний захист та автоматика електричних систем : навчальний посібник / за ред. С.П. Денисюка. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 412 с.

18. Захист повітряних ліній 6–35 кВ. Методичні вказівки до виконання розрахунків релейного захисту. – Суми : СНАУ, 2023.

19. Довідник з проєктування електричних мереж 6–35 кВ / за ред. В.О. Лєдньова. – Київ : Техніка, 2019. – 512 с.

20. Довідник з релейного захисту та автоматики електроенергетичних систем / за ред. В.Г. Кузнецова. – Київ : Основа, 2020. – 640 с.

21. Проєктування електричної частини станцій та підстанцій : навчальний посібник / О.В. Кириленко, В.В. Павловський. – Київ : ІЕД НАН України, 2019. – 385 с.

22. Лут М.Т., Радько І.П., Ковтун П.М., Окушко О.В. Охорона праці (електробезпека) : навчальний посібник. – Київ, 2017. – 355 с.

23. Жигулін О.А. Безпека праці в енергоустановках : навчальний посібник. – Ніжин, 2020. – 174 с.

24. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки : навчальний посібник. – Дніпро : НГУ, 2013. – 232 с.