

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ПРОЄКТ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 110/10 КВ З РОЗРОБКОЮ СИСТЕМИ ЗАЗЕМЛЕННЯ І ЗАХИСТУ ВІД АТМОСФЕРНИХ ПЕРЕНАПРУГ»

Виконав:

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

МАТУШ Андрій Олександрович

Керівник канд.техн.наук, доцент

ДУМАНСЬКИЙ Олександр Васильович

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

					177.24 КР-387с.26.03.27.1.1.1.27.ПЗ	Аркуш
						1
Змін.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Безпечне функціонування трансформаторних підстанцій	9
1.2 Цифрова підстанція як засіб підвищення надійності електропостачання	11
Висновки до розділу 1	14
2 ПРОЄКТ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПІДСТАНЦІЇ 110/10 кВ	15
2.1 Електричне навантаження споживачів підстанції 110/10 кВ	15
2.2.Розробка конфігурації схеми	17
2.3 Розрахунок електричної мережі в режимі максимальних навантажень	18
2.3.1 Визначення довжин ліній	18
2.3.2. Розрахунок потоків потужності	18
2.3.3 Вибір номінального класу напруги	20
2.3.4 Вибір марки проводів	20
2.3.5 Вибір силових трансформаторів	22
2.3.6 Визначення втрат потужності	25
2.3.7. Розрахунок падіння напруги в мережі	30
2.3.8 Розрахунок втрат електричної енергії	31
2.4 Розрахунок режиму мінімальних навантажень	32
2.5 Розрахунок післяаварійного режиму	35
2.6 Перевірка силового трансформатора за потужністю	37
2.7 Визначення струмів короткого замикання	39
2.8 Вибір високовольтних електричних апаратів	42
Висновок до розділу 2	44

3. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	46
3.1 Вихідні дані для розрахунку параметрів захисту	46
3.2 Розрахунок опору силового трансформатора	47
3.3 Визначення струмів короткого замикання	48
3.4 Розрахунок повздовжнього диференційного струмового захисту	50
3.5 Розрахунок уставок реле ДЗТ-11	51
Висновки до розділу 3	52
4. ЗАХИСТ ВІД АТМОСФЕРНИХ ПЕРЕНАПРУГ	54
4.1 Вихідні дані для розрахунку блискавковідводів	54
4.2 Визначення висоти блискавковідводів	55
4.3 Розрахунок зони захисту подвійного блискавковідводу однакової висоти	56
4.4 Розрахунок внутрішньої зони захисту блискавковідводів різної висоти	59
Висновки до розділу 4	60
5. ЗАЗЕМЛЮЮЧІ ПРИСТРОЇ	62
5.1 Вихідні дані для розрахунку заземлюючих пристроїв	62
5.2 Розрахунок заземлювального пристрою ВРП	64
Висновки до розділу 5	66
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
ДОДАТКИ	71

ВСТУП

У даній кваліфікаційній роботі розглядаються питання проектування електричної мережі, призначеної для надійного та безперебійного забезпечення споживачів електричною енергією. Основною метою роботи є розробка оптимальної схеми електропостачання з урахуванням сучасних вимог нормативно-технічної документації, а також виконання необхідних розрахунків і графічних матеріалів.

У процесі проектування здійснюється вибір основних елементів електричної мережі, зокрема повітряних ліній електропередачі та силових трансформаторів підстанцій. При цьому визначаються необхідна кількість і марки проводів, конструктивне виконання ліній, а також параметри трансформаторного обладнання відповідно до режимів роботи мережі.

Одним із важливих етапів є розрахунок режимів роботи електричної мережі та визначення втрат електричної енергії. Для оцінки надійності електропостачання виконується аналіз роботи мережі в післяаварійних режимах, що дозволяє перевірити її працездатність у разі виходу з ладу окремих елементів.

Після завершення розрахунків електричної мережі виконується проектування підстанції. На основі визначених електричних параметрів здійснюється вибір комутаційного обладнання, зокрема високовольтних вимикачів та роз'єднувачів. Також проводяться розрахунки гнучких і жорстких шин напругою 110 кВ та 10 кВ з метою забезпечення їх надійної роботи в нормальних і аварійних режимах.

Контроль та підтримання необхідного рівня якості електричної енергії забезпечуються за допомогою вимірювальних трансформаторів струму і напруги, які використовуються для живлення приладів контролю та обліку.

					177.24 КР-387с.26.03.27.1.1.1.27.ПЗ	Аркуш
						7
Змін.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Для захисту силових трансформаторів потужністю понад 6,3 МВА передбачено застосування повздовжнього диференційного захисту. З огляду на моральне та технічне старіння реле типу РНТ, у роботі використовується реле типу ДЗТ, яке характеризується підвищеною стійкістю до струмів небалансу та наявністю магнітного гальмування, що підвищує надійність функціонування захисту.

Захист підстанції від прямих ударів блискавки реалізується шляхом встановлення блискавковідводів на двох порталах. При проектуванні забезпечується нормативна надійність блискавкозахисту на рівні 0,999, а також виконується побудова зон захисту для перевірки ефективності прийнятих технічних рішень.

Система заземлення підстанції проектується у вигляді заземлювальної сітки, яка одночасно виконує функції робочого, захисного та грозозахисного заземлення. Розрахунок заземлювального пристрою передбачає визначення його опору та перевірку відповідності вимогам електробезпеки.

Результати виконаної роботи дозволяють оцінити технічні та експлуатаційні характеристики спроектованої електричної мережі та підстанції, а також забезпечити необхідний рівень надійності, безпеки та ефективності електропостачання споживачів.

					177.24 КР-387с.26.03.27.1.1.1.27.ПЗ	Аркуш
						8
Змін.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи спроектовано комбіновану електричну мережу з кільцевими та радіальними ділянками, яка забезпечує живлення споживачів I та III категорій. Клас напруги мережі визначено за формулою Ілларіонова та прийнято 110 кВ. Лінії електропередачі обрано з урахуванням робочих струмів, а також застосовано двоколове виконання для найбільш навантажених ділянок.

Силові трансформатори підбрано відповідно до категорій надійності споживачів та розрахункових навантажень. Виконано розрахунок втрат потужності та відхилень напруги для нормальних, мінімальних і післяаварійних режимів. Загальні втрати в мережі становлять близько 1%, що відповідає допустимим значенням.

Для підстанції виконано розрахунок струмів короткого замикання, вибір електрообладнання, ошиновки, вимірювальних трансформаторів струму та напруги. Усі елементи перевірено за умовами термічної та електродинамічної стійкості.

У розділі релейного захисту обрано диференційний захист на базі реле ДЗТ-11. Виконано розрахунок уставок і перевірку чутливості, яка відповідає нормативним вимогам. Захист забезпечує надійну роботу трансформатора при внутрішніх пошкодженнях.

Грозозахист підстанції реалізовано за допомогою двох стрижневих блискавковідводів, для яких визначено висоту та зону захисту, що повністю покриває обладнання ВРП 110 кВ.

Заземлювальний пристрій виконано спільним для всіх видів заземлення. Розрахований опір не перевищує допустимого значення, що забезпечує безпечні умови експлуатації підстанції та ефективне відведення струмів короткого замикання і грозових перенапруг.

					177.24 КР-387с.26.03.27.1.1.1.27.ПЗ	Аркуш
						67
Змін.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цифрова підстанція – цифрове майбутнє. [Digital substation is the digital future. [Internet].. <https://1-engineer.ua>
2. Бовикін В.М., Мокєєв А.В. Приклад використання МЕК 61850 під час створення ССПИ підстанцій // Технічні та програмні засоби систем автоматизації. Телекомунікаційні системи енергетики. - 2015. - № 7. - С. 49-55.
3. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене — Х.: Вид-во «Форт», 2017.— 736 с.
4. 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.
5. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 35-750 кВ (НТП ПС), п.3. [STO 56947007-29.240.10.248-2017 Norms of technological design of AC substations with high voltage of 35-750 kV (NTP PS)]
6. Лундалін А.А., Пузіна Є.Ю., Худоногов І.А., Кашковський В.В. Аналіз надійності електропостачання транспортних систем в залежності від стану пристроїв релейного захисту та автоматики // Сучасні технології. Системний аналіз. Моделювання. - 2019. - № 3. - С. 127-135.
7. ДСТУ EN 62305-4:2012. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи в спорудах.
8. СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-68:2012. Проектування підстанцій змінного струму напругою 6–750 кВ.
9. Кацман М.М. Електричні машини. – Київ : Вища школа, 2018. – 512 с.

					177.24 КР-387с.26.03.27.1.1.1.27.ПЗ	Аркуш
Змін.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		68

10. Болюх В.Ф., Бурлака В.В. Електрична частина станцій та підстанцій. – Харків : НТУ «ХП», 2019. – 284 с.
11. Кузнецов В.Г. Електричні системи та мережі. – Київ : Каравела, 2020. – 472 с.
12. Гук Ю.Б. Проектування електричної частини станцій і підстанцій. – Львів : Новий Світ-2000, 2018. – 416 с.
13. Козирський В.В., Ткаченко В.В. Релейний захист та автоматика електроенергетичних систем. – Київ : Аграрна освіта, 2017. – 376 с.
14. Бессонов Л.А. Теоретичні основи електротехніки. – Київ : Вища школа, 2019. – 701 с.
15. Кудрін Б.І. Електропостачання промислових підприємств. – Київ : Вища школа, 2018. – 447 с.
16. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 540 с.
17. Шидловський А.К. Енергетичні системи та мережі. – Київ : УкрІНТЕІ, 2018. – 564 с.
18. Карасьов О.І., Желєзнов М.М., Білошицький А.В., Шитов Є.А. Пріоритети науково-технологічного розвитку залізничної галузі у контексті цифровізації: зарубіжний досвід // Світ транспорту. – 2019. – Т 17. – № 6. – С. 20–36.