Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Навчально-науковий інститут заочної і дистанційної освіти
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

ПРОЄКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПІДСТАНЦІЙ

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

Керівник: канд. техн. наук, доцент
_____Ігор ГАРАСИМЧУК

Оцінка захисту:
Національна шкала_____
Кількість балів _____Шкала ECTS_____

Допускається до захисту:
«____» _____2025 р.
Гарант освітньої програми
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
кандидат технічних наук, доцент _____Ігор ГАРАСИМЧУК

м. Кам'янець-Подільський, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП 6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ..... 9
1.1 Загальна характеристика завдання 9
1.2 Розробка та оптимізація конфігурацій мережі 10
1.3 Розрахунки електричної схеми А 13
1.3.1 Визначення струмів та напруг на ділянках без урахування втрат і підбір проводів 13
1.3.2 Вибір трансформаторів для схеми А 16
1.4 Техніко-економічна оцінка двох схем електричної мережі 21
1.5 Аналіз аварійного режиму роботи електричної схеми Б 25
1.6 Режим мінімального навантаження мережі схеми Б 28
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ 33
2.1 Розрахунок РЕМ 33
2.2 Основні характеристики необхідного перерізу 34
2.3 Розрахунок режиму розімкнених мереж двох номінальних напруг із двообмотковим трансформатором 39
2.4 Залежність напруг та потужностей на початку і кінці ділянок мережі 41
2.5 Втрати потужності в елементах електричної мережі 44
2.5.1 Втрати потужності у двообмоткових трансформаторах 45
2.5.2 Втрати потужності та електроенергії в мережах і трансформаторах 46
2.5.3 Втрати потужності в окремих елементах мережі 47
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ 49
3.1 Вихідні дані та параметри для розрахунку 49
3.2 Розрахунок струмів короткого замикання 50

3.2.1 Струми нормальних режимів та параметри ліній 50
3.2.2 Струми міжфазних коротких замикань 51
3.3 Підбір трансформаторів струму та визначення коефіцієнтів чутливості захисту 54
3.4 Підбір запобіжників та побудова їх час-струмових характеристик 57
3.5 Побудова карти селективності захисту 59
3.6 Перевірка правильності роботи трансформаторів струму..... 63
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ 65
4.1 Заходи безпеки під час електромонтажних робіт у діючих електроустановках..... 65
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ 69
5.1 Структура фактичних втрат електроенергії 69
5.2 Складові комерційних втрат електроенергії 71
5.2.1 Комерційні втрати, пов’язані з похибками вимірювальних комплексів..... 72
5.2.2 Втрати через заниження корисного відпуску електроенергії 73
5.2.3. Фінансові втрати через заборгованість споживачів 74
5.3 Нормування і економічно-обгрунтовані значення рівня втрат..... 75
5.4 Заходи щодо зниження втрат електроенергії в розподільних мережах 76
5.5 Відключення трансформаторів підстанцій із сезонним навантаженням 79
5.5 Вирівнювання фазових навантажень у мережах 0,38 кВ..... 84
5.6 Усунення неякісних з’єднань у проводах ліній 85
5.7 Зменшення витрат електроенергії на власні потреби підстанцій 86
5.8 Скорочення часу технічного обслуговування та ремонту основного обладнання 87
5.9 Виконання робіт під напругою..... 88
5.10 Введення в роботу невикористаних ресурсів автоматичного

регулювання напруги (АРН) 89
ВИСНОВКИ..... 91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 93

ВСТУП

У рамках даного проекту передбачено розробку декількох варіантів електричних мереж із подальшим вибором оптимальної конфігурації, яка забезпечує безперебійне електропостачання споживачів, розташованих за визначеними координатами. При цьому здійснюється комплексний підбір елементів енергосистеми, включно з лініями електропередач, провідниками, елементами розподільчих пристроїв, трансформаторами та компенсуючими пристроями, відповідно до чинних правил та нормативних документів.

На основі техніко-економічного аналізу проводиться порівняння різних варіантів, що дозволяє обрати найбільш ефективну конфігурацію електричної мережі. Надійність обраної мережі перевіряється шляхом моделювання аварійних ситуацій: у разі виникнення позаштатних режимів система повинна забезпечувати безперервне електропостачання споживачів відповідних категорій. Результати розрахунків подаються у структурованому вигляді у таблицях, що полегшує подальший аналіз і обґрунтування вибору проектних рішень.

Високовольтне обладнання для ввідно-розподільчого пристрою підбирається на основі розрахункових даних з урахуванням експлуатаційних умов і характеристик мережі. Виконуються розрахунки струмових уставок релейного захисту та підбір запобіжників із урахуванням значень коротких замикань, після чого перевіряється селективність роботи захисних пристроїв.

Окремо проводяться розрахунки систем блискавкозахисту для ввідно-розподільчого пристрою 110 кВ, а також обчислюється параметри заземлюючого пристрою, що забезпечують безпомилкове спрацьовування релейного захисту у будь-яких режимах роботи мережі.

Зазначені підходи дозволяють комплексно оцінити ефективність, надійність та безпеку розроблюваної електричної мережі, а результати оформляються у вигляді таблиць і графічних матеріалів, що наочно ілюструють вибір та обґрунтування проектних рішень.

Актуальність теми полягає у необхідності забезпечення надійного, якісного та економічного електропостачання споживачів в умовах постійного зростання вимог до енергетичної інфраструктури.

Проектування нових та реконструкція існуючих електричних мереж вимагає комплексного підходу, який включає:

1. Оптимізацію конфігурації мережі з метою мінімізації технологічних втрат електроенергії та капітальних/експлуатаційних витрат.

2. Забезпечення високої надійності роботи системи, особливо в умовах аварійних та післяаварійних режимів, що вимагає перевірки на випадок позаштатних ситуацій.

3. Ефективне застосування заходів зі зниження втрат потужності (зокрема, за рахунок виконання робіт під напругою та раціонального використання пристроїв автоматичного регулювання напруги – АРН).

4. Точний розрахунок і перевірку селективності релейного захисту для швидкого та надійного усунення коротких замикань та збереження цілісності енергосистеми.

Мета – Розробка та техніко-економічне обґрунтування оптимальної конфігурації електричної мережі для забезпечення безперебійного та надійного електропостачання споживачів, з мінімізацією втрат та ефективним релейним захистом.

Завдання досліджень

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розробити декілька варіантів схемно-конструктивних рішень електричної мережі для живлення визначених споживачів.

2. Здійснити комплексний підбір основного електротехнічного обладнання (ЛЕП, трансформаторів, комутаційних апаратів) відповідно до нормативних вимог.

3. Провести техніко-економічний аналіз розроблених варіантів та обрати найбільш ефективну та економічно доцільну конфігурацію мережі.

4. Виконати перевірку надійності обраної мережі шляхом моделювання аварійних ситуацій (зокрема, при відключенні елементів).

5. Виконати розрахунки уставок релейного захисту та підбір запобіжників, а також перевірити селективність роботи захисних пристроїв.

6. Оцінити потенційне зниження втрат електроенергії за рахунок впровадження додаткових заходів, таких як виконання робіт під напругою та використання автоматичного регулювання напруги.

Об’єкт досліджень

Об’єкт досліджень – Процеси проектування, функціонування та експлуатації електричних мереж, спрямовані на забезпечення безперебійного електропостачання споживачів.

Предмет досліджень

Предмет досліджень – Оптимальні схемно-конструктивні рішення, параметри, режими роботи (нормальні та аварійні), надійність та техніко-економічні показники електричної мережі, а також ефективність засобів релейного захисту та автоматики.

Методи досліджень

У процесі виконання кваліфікаційної роботи використовувалися наступні методи досліджень:

1. Метод розрахунку усталених режимів – для визначення розподілу потоків потужності та рівня напруги в мережі в нормальному режимі.

2. Метод техніко-економічного аналізу та порівняння – для обґрунтування вибору найбільш ефективного варіанта конфігурації мережі.

3. Метод моделювання коротких замикань – для розрахунку струмів КЗ, необхідних для вибору обладнання та розрахунку уставок захисту.

4. Метод аналізу та синтезу – для вибору основного електротехнічного обладнання, розробки схем та визначення вимог до релейного захисту.

5. Математичне моделювання – для оцінки надійності, розрахунку уставок релейного захисту та кількісної оцінки зниження втрат потужності.

ВИСНОВКИ

1. Досягнення мети та обґрунтування проектних рішень

Кваліфікаційну роботу присвячено розробці та техніко-економічному обґрунтуванню оптимальної конфігурації електричної мережі для забезпечення надійного та економічного електропостачання визначених споживачів. Шляхом комплексного аналізу кількох альтернативних схемних рішень та проведення техніко-економічного порівняння, була обрана найбільш ефективна конфігурація, яка мінімізує приведені витрати та відповідає всім галузевим нормативним вимогам.

2. Забезпечення надійності та безперебійності електропостачання

Проведений розрахунок усталених та аварійних режимів підтвердив високий рівень надійності обраної електричної мережі. Моделювання позаштатних ситуацій (зокрема, виведення в ремонт або аварійне відключення основних елементів) довело, що розроблена конфігурація здатна забезпечувати безперебійне живлення споживачів відповідних категорій, підтримуючи необхідну якість електроенергії (рівень напруги) у критичних вузлах.

3. Ефективність релейного захисту та автоматики

На основі розрахунків струмів короткого замикання були визначені та обґрунтовані уставки релейного захисту для всіх елементів мережі. Перевірка селективності та швидкодії захисних пристроїв довела їхню здатність надійно та вибірково відключати пошкоджені ділянки, мінімізуючи зону аварійного впливу та час простою. Це є критичною передумовою для безпечної та стабільної роботи всієї енергосистеми.

4. Економічна доцільність заходів зі зниження втрат

У роботі було обґрунтовано впровадження заходів, спрямованих на зниження технологічних втрат електроенергії, а саме – виконання ремонтних робіт під напругою та введення в роботу невикористаних ресурсів автоматичного регулювання напруги (АРН). Розрахунки підтвердили, що

економічний ефект від зниження втрат потужності та електроенергії перевищує витрати на впровадження цих заходів, підвищуючи загальну енергоефективність та прибутковість експлуатації мережі.

5. Рекомендації та практична цінність

Результати виконаної кваліфікаційної роботи мають практичну цінність і можуть бути використані при фактичному проектуванні та реконструкції розподільчих електричних мереж. Розроблені рішення є комплексними, технічно обґрунтованими та економічно вигідними, пропонуючи оптимальний баланс між капітальними інвестиціями, експлуатаційними витратами та необхідним рівнем надійності електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 2011 The Institution of Engineering and Technology Published by The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom.

2. Electric Circuits. Copyright 2018 by McGraw-Hill Education. Professor Emeritus of Electrical Engineering California Polytechnic State University Joseph A. Edminister.

3. Стеблянко В. В. Розрахунок електричної мережі та вибір обладнання високовольтної підстанції : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец. 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / наук. кер. С.М. Лебедка. Суми: СумДУ, 2022. 80 с.

4. Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. Dr. Bernd Michael Buchholz Prof. Dr. Zbigniew Antoni Styczynski Germany, Spring 2014. Springer Heidelberg New York Dordrecht London.

5. Правила улаштування електроустановок. - М.: Київ, 2017.

6. The Control Handbook: Control System Applications, Second Edition (Electrical Engineering Handbook) 2011 by Taylor and Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business.

7. Electrical installation guide Serge Volut - Jacques Schonek Les Deux-Ponts - France 2008.

8. Electrical Calculations and Guidelines for Generating Stations andIndustrial Plants Boca Raton U.S 2018 by E. Baker.

9. Basic electrical engineering fourth edition Copyright© 2007 New Age International (P) Ltd., Publishers.

10. Boca Raton 2007 by Taylor & Francis Group, LLC. Printed in the United States of America.

11. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем. Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013

12. Taylor & Francis Group Бока-Ратон, Флорида, Taylor & Francis Group, LLC 2012, Taylor & Francis Group

13. Copyright 2009 Dorling Kindersley (India) Pvt. Ltd. K. S. Suresh Kumar Assistant Professor Department of Electrical Engineering National Institute of Technology Calicut Calicut, Kerala: India 2009.

14. Релейний захист і автоматика: Навч. посібник / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін.; за ред. В. М. Баженова. – Харків: УкрДУЗТ, 2020.

15. Electric Power Engineering Handbook John D. McDonald 2007 by Taylor& Francis Group.

16. Electrical Engineering. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK Copyright 2008, Elsevier Inc. All rights reserved.

17. This edition first published 2015 John Wiley & Sons, Ltd. Registered office John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom.

18. Daniel R. Tomal. Electronic Troubleshooting. Copyright 2014 by McGraw- Hill Education. New York.

19. Copyright 2001 SYBEX Inc., 1151 Marina Village Parkway, Alameda, CA 94501. Associate Publisher: Richard Staron Acquisitions & Developmental Editor: Maureen Adams.

20. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка Баженов В.Н. – Харків: НТУ ХПІ», 2019.