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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕРЕЖ (SMART GRID) ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ 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»
_____ **Василь ВЛАСОВ**

Керівник: канд. техн. наук, доцент
_____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

Оцінка захисту:
Національна шкала_____
Кількість балів _____Шкала ECTS_____

Допускається до захисту:
«____» _____2026 р.
Гарант освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» кандидат технічних наук, доцент

_____**Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2026

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ 5
ВСТУП 6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ 9
1.1 Загальна характеристика розподільних мереж 10 кВ в Україні 9
1.2 Класифікація та аналіз втрат електроенергії в мережах 10 кВ 10
1.3 Концепція Smart Grid та її основні компоненти 12
1.4 Огляд сучасних технологій Smart Grid для зниження втрат 13
1.5 Порівняльний аналіз вітчизняних та зарубіжних рішень Smart Grid 15
1.6 Висновки до розділу 1 16
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ 18
2.1 Вибір та обґрунтування складу елементів Smart Grid 18
2.2 Підрахунок електричних навантажень мережі 10 кВ 24
2.3 Вибір джерела живлення та розрахунок електричних мереж 10 кВ 27
2.4 Розроблення технічних рішень та схем Smart Grid 30
2.5 Організація монтажу, налагодження та технічної експлуатації 32
2.6 Висновки до розділу 2 34
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ 36
3.1 Розрахунок струмів короткого замикання у мережі 10 кВ 36
3.2 Розрахунок та вибір уставок захисту реклоузерів 38
3.3 Розрахунок показників надійності SAIDI та SAIFI 40
3.4 Розрахунок скорочення недовідпуску електроенергії (ENS) 43
3.5 Розрахунок зниження комерційних втрат від АСКОЕ 44
3.6 Техніко-економічне обґрунтування доцільності проекту 46
3.7 Висновки до розділу 3 48

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 50
4.1 Аналіз умов праці персоналу при обслуговуванні мереж 10 кВ зі Smart Grid . 50
4.2 Електробезпека при роботах в електроустановках 10 кВ 52
4.3 Виробнича санітарія та гігієна праці на диспетчерському пункті 55
4.4 Пожежна безпека розподільного пункту 10 кВ 56
4.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях 58
4.6 Висновки до розділу 4 60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 62
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 65

ВСТУП

Електроенергетика є фундаментальною галуззю будь-якої держави, від надійності та ефективності функціонування якої, залежать усі без винятку сфери людської діяльності. В умовах значного зношення основних фондів вітчизняних енергетичних систем, зростання вартості паливно-енергетичних ресурсів та необхідності інтеграції до Об'єднаної енергосистеми Європи питання зниження втрат електроенергії у розподільних мережах набуває першочергового значення.

Розподільні мережі напругою 10 кВ є основною ланкою передавання електричної енергії від підстанцій 35/10 кВ або 110/10 кВ безпосередньо до трансформаторних підстанцій споживачів. Саме на цьому рівні зосереджена переважна частка технічних втрат електроенергії — за різними оцінками від 5 до 14% від загального обсягу переданої енергії. Водночас значну частку складають комерційні втрати, пов'язані з недосконалістю систем обліку та несанкціонованим споживанням.

Концепція інтелектуальних електричних мереж (Smart Grid) пропонує комплексний підхід до модернізації розподільної інфраструктури шляхом впровадження двостороннього цифрового зв'язку між елементами мережі, автоматизації процесів управління та моніторингу, інтеграції інтелектуальних засобів обліку та розподіленої генерації. Такий підхід дозволяє не лише знизити технічні та комерційні втрати, але й підвищити надійність електропостачання, покращити якість електричної енергії та створити умови для участі споживачів в управлінні режимами роботи мережі.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи визначається такими чинниками:

– критичний знос розподільних мереж України, де більше 60% обладнання вичерпало нормативний ресурс;

– надмірні технічні втрати електроенергії в мережах 10 кВ, що у 2–3 рази перевищують показники країн ЄС;

– необхідність модернізації систем обліку та переходу на автоматизовані методи збору даних;

– курс України на інтеграцію до ENTSO-E та виконання вимог Третього енергетичного пакету ЄС;

– розвиток відновлюваної енергетики та потреба в гнучкому управлінні розподіленою генерацією.

Метою роботи є розроблення технічних рішень щодо впровадження елементів інтелектуальних мереж (Smart Grid) у розподільні мережі напругою 10 кВ з метою зниження технічних і комерційних втрат електроенергії та підвищення ефективності управління режимами роботи мережі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– провести аналіз стану розподільних мереж 10 кВ та визначити основні причини підвищених втрат електроенергії;

– систематизувати та класифікувати технічні втрати в мережах 10 кВ за їх природою та місцем виникнення;

– виконати огляд та порівняльний аналіз сучасних технологій Smart Grid, які забезпечують зниження втрат;

– обрати та обґрунтувати склад елементів Smart Grid для впровадження в конкретну мережу 10 кВ;

– розробити технічні рішення з впровадження АСКОЕ та системи моніторингу параметрів мережі;

– виконати необхідні розрахунки та оцінити очікуваний ефект від впровадження запропонованих рішень;

– розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Об'єктом дослідження є процеси передавання та розподілу електричної енергії в розподільних мережах напругою 10 кВ.

Предметом дослідження є методи та засоби впровадження елементів інтелектуальних мереж Smart Grid для зниження технічних і комерційних втрат електроенергії.

Методи дослідження: системний аналіз та синтез при оцінці структури втрат; математичне моделювання режимів роботи мережі; порівняльний аналіз технічних характеристик обладнання; розрахунково-аналітичні методи для визначення рівнів втрат та ефективності запропонованих заходів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні конкретних технічних рішень щодо впровадження елементів Smart Grid, застосування яких дозволить знизити технічні втрати електроенергії та комерційні втрати в розподільних мережах 10 кВ, а також скоротити час виявлення та ліквідації пошкоджень у мережі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, пов’язане з розробленням та обґрунтуванням технічних рішень щодо впровадження елементів Smart Grid у розподільну мережу 10 кВ Віньковецького відділення АТ «Хмельницькобленерго». Основною метою роботи було зниження технічних і комерційних втрат електроенергії, а також підвищення надійності електропостачання споживачів.

- У процесі виконання роботи проаналізовано сучасний стан розподільних мереж 10 кВ в Україні та встановлено, що значна частина обладнання має високий ступінь фізичного зносу, а рівень втрат електроенергії перевищує середньоєвропейські показники. Проведений аналіз структури втрат показав, що основна їх частина припадає на навантажувальні втрати у повітряних лініях, втрати холостого ходу трансформаторів та комерційні втрати через недосконалі системи обліку. Також виконано порівняльний аналіз сучасних рішень Smart Grid та визначено, що для умов України найбільш доцільним є впровадження систем автоматизованого обліку електроенергії та автоматизації мереж, адаптованих до вітчизняної нормативної бази.

- Сформовано технічно та економічно обґрунтований склад елементів Smart Grid для розподільної мережі 10 кВ Віньковецького відділення. За результатами порівняльного аналізу обрано реклоузери NOJA Power OSM15 та систему АСКОЕ на базі AMI-лічильників із GSM/GPRS-зв’язком. Визначено, що використання зазначених пристроїв забезпечує автоматичне відключення коротких замикань, дистанційне керування, телеметрію та інтеграцію обладнання в єдину SCADA-систему диспетчерського управління.

Виконано підрахунок електричних навантажень для основних категорій споживачів мережі та визначено розрахункові потужності, коефіцієнти навантаження і максимальні струми фідерів. Результати розрахунків показали, що існуючі проводи та силові трансформатори мають достатню пропускну здатність і не потребують заміни. Разом із тим встановлено, що відхилення напруги у кінцевих точках фідерів перевищують допустимі норми. Після секціонування ліній шляхом встановлення реклоузерів відхилення напруги зменшуються до нормативних значень, що підтверджує ефективність запропонованих технічних рішень.

- Розроблено схему розміщення чотирьох реклоузерів на фідерах Л-14 та Л-33, а також структурну схему побудови АСКОЕ. Передбачено інтеграцію всіх елементів у SCADA-систему через протокол IEC 60870-5-104 із використанням GSM/GPRS-зв'язку та VPN-захисту. Крім того, визначено порядок монтажу, пусконалагоджувальних робіт та технічного обслуговування обладнання.

- Виконані розрахунки струмів короткого замикання дали можливість правильно вибрати уставки максимального струмового захисту та налаштувати автоматичне повторне ввімкнення реклоузерів. Запропоновані налаштування забезпечують необхідну чутливість і селективність захисту та дозволяють ліквідовувати більшість нестійких пошкоджень без участі оперативного персоналу.

- Також у роботі визначено ефект від впровадження АСКОЕ. Використання сучасних AMI-лічильників класу точності 0,5S дозволяє значно знизити комерційні втрати електроенергії завдяки автоматизованому збору даних, дистанційному контролю та підвищенню точності обліку. Розрахунки показали, що загальне скорочення комерційних втрат становить близько 80 %, а зменшення недовідпуску електроенергії по двох фідерах перевищує 52 тис. кВт·год на рік.

- Техніко-економічне обґрунтування підтвердило ефективність запропонованого проєкту. Загальні капітальні витрати на впровадження реклоузерів та АСКОЕ є економічно виправданими завдяки значному річному економічному ефекту, отриманому внаслідок скорочення комерційних втрат, зменшення недовідпуску електроенергії та зниження витрат на виїзди оперативних бригад. Простий строк окупності проєкту становить близько 18 місяців, що

свідчить про високу доцільність впровадження Smart Grid у розподільних мережах 10 кВ.

- Розглянуто питання охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та кіберзахисту систем SCADA й АСКОЕ. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, розраховано параметри захисного заземлення, освітлення та забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту. Також запропоновано комплекс заходів кібербезпеки відповідно до чинного законодавства України.

- Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованих технічних рішень для модернізації розподільних мереж 10 кВ АТ «Хмельницькобленерго» та інших операторів систем розподілу України. Результати розрахунків підтверджують, що впровадження реклоузерів OSM15 та системи АСКОЕ забезпечує зниження показника SAIDI приблизно у 5,5 раза, скорочення недовідпуску електроенергії, зменшення комерційних втрат до 80 % та окупність проєкту близько 18 місяців. Це підтверджує технічну та економічну доцільність впровадження елементів Smart Grid у розподільних мережах 10 кВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Лебедь С. В. Дослідження і зниження технічних втрат електроенергії в розподільних електричних мережах. Вінниця: ВНТУ, 2010. 200 с.
2. Стогній Б. С., Кириленко О. В., Праховник А. В. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення. Технічна електродинаміка.
3. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015.
4. Державна інспекція енергетичного нагляду України. На Хмельниччині впроваджують пілотний проєкт переходу мереж на напругу 20 кВ
5. АТ «Хмельницькобленерго». Технічні рекомендації до ЛУЗОД/АСКОЕ.
6. NOJA Power Recloser Switchgear Engineers. Реклоузер серії OSM.
7. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). 7-е видання. Харків: Форт, 2014.
8. Бурбело М. Й., Бірюков О. О., Мельничук Л. М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків. Вінниця: ВНТУ, 2011.
9. Sicame Україна. Проєкти ЛЕП 0,4–35 кВ — типові рішення та креслення.
10. Лазуренко О. П., Черкашина В. В. Електричні системи і мережі: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. 268 с.
11. Міністерство енергетики України. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. Затверджена розпорядженням КМУ від 18.08.2017 № 605-р. Київ, 2017.

12. Оробчук Б. Я., Сисак І. М., Бабюк С. М. Автоматизована система релейного захисту від замикань на землю. Вісник ТНТУ. 2012. Т. 66. № 2.

13. IEC 61968-9:2013. Application Integration at Electric Utilities – System Interfaces for Distribution Management – Part 9: Interfaces for Meter Reading and Control. Geneva: IEC, 2013.

14. IEC 62053-22:2020. Electricity metering equipment – Particular requirements – Part 22: Static meters for AC active energy (classes 0,1S, 0,2S and 0,5S). Geneva: IEC, 2020

15. Бурбело М. Й., Лобода Ю. В. Розрахунок місць оптимального розміщення реклоузерів в розгалужених розподільних мережах. Матеріали МНТК ВНТУ-2022.

16. Council of European Energy Regulators (CEER). Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity and Gas Supply. Brussels: CEER, 2021.

17. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок. Затверджені наказом Державного комітету по нагляду за охороною праці від 27.12.1994 № 86. Київ, 1998.

18. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджені наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.1998 № 4. Київ, 1998.

19. ДСТУ EN 50110-1:2014. Експлуатація електроустановок. Частина 1: Загальні вимоги. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015.

20. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. Затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10.12.1998 № 7. Київ, 1999.

21. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Затверджено наказом Мінрегіону від 27.10.2016 № 284. Київ, 2017

22. 16. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. Відомості Верховної Ради України. 2013. № 34–35. Ст. 458.

23. IEC 62351-1:2023. Power Systems Management and Associated Information Exchange – Data and Communication Security – Part 1: Communication Network and System Introduction to Security Issues. Geneva: IEC, 2023.

24. Про основні засади забезпечення кібербезпеки України: Закон України від 05.10.2017 № 2163-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2017

25. European Commission. Smart Grids: from Innovation to Deployment. COM(2011) 202 final

26. Бабюк С. М., Пліс Я. В. Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання.