

Подільський державний університет
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

**Підвищення надійності електричної мережі 6-35 кВ шляхом застосування
сучасних методів та засобів захисту від перевантаження**

Виконав:

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

_____ **Дмитро ПЕЧЕРЯГА**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Віктор ДУБІК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«____» _____ 2023 р.

Керівник проектної групи
(гарант освітньої програми)

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2023р.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕКЛОУЗЕРІВ.....	12
1.1 Обґрунтування використання вакуумних реклоузерів.	12
1.2 Монтаж і підключення реклоузерів в систему електропостачання.....	16
1.3 Експлуатація і технічне обслуговування вакуумних реклоузерів	16
1.4. Конструкція високовольтного модуля секціонування з використанням вакуумного реклоузера.	20
1.5 Конструкція низьковольтного модуля секціонування з використанням вакуумного реклоузера	26
1.6. Особливості технічних параметрів вакуумних реклоузерів.....	27
1.7 Методика вибору вакуумного реклоузера.....	34
Висновки.	35
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕКЛОУЗЕРІВ	37
2.1. Обґрунтування використання реклоузерів.....	38
2.2. Практична реалізація застосування реклоузерів.	40
2.2. Вибір оптимальної кількості реклоузерів.....	48
2.3. Розрахунок показників надійності модернізації мережі, за допомогою реклоузерів.	52
2.3.1. Вихідні дані розрахунку.	52
2.3.2. Заходи по підвищенню надійності	52
2.3.3. Розрахунок показників надійності.	53
2.4. Розрахунок короткого замикання.....	57

	3
2.4.1 Розрахунок періодичної складової струму КЗ для часу $t = 0$	61
2.4.2 Розрахунок ударного струму КЗ.....	64
2.4.3 Розрахунок робочих максимальних струмів приєднань і теплових імпульсів.....	68
2.4.4 Вибір вимикача.....	68
Висновок	71
РОЗДІЛ 3. МАТИМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ СЕКЦІОНУЮЧИХ ПУНКТИВ	73
3.1. Огляд методів розрахунку вакуумних систем.	74
3.2.1. Класичні аналітичні методи.....	74
3.2.2 Метод кутових коефіцієнтів.	76
3.2.3. Метод еквівалентних поверхонь.	76
3.3 Врахування швидкості часток контактних поверхонь під час комутації.	77
3.4. Аналіз реальних вакуумних систем.	79
РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯМ РЕКЛОУЗЕРІВ.....	81
4.1 Опис ідеї проекту	81
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	82
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску проекту	83
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	90
4.5 Розроблення маркетингової програми проекту	92
Висновки по розділу	96
ВИСНОВКИ.....	98
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	100

ВСТУП

Актуальність теми. Розподільні електричні мережі функціонально були призначені для транспортування і розподілення електроенергії, виробленої централізовано на крупних електростанціях. Як показують дослідження 8090% пошкоджень в повітряних лініях електропередачі розподільних мережах 6-10 кВ є нестійкими і самоусуваються на протязі короткого проміжку часу. Однак, при використанні традиційних схем і комутаційних апаратів кожне із таких пошкоджень приводить до вимкнення всієї або значної частини розподільної мережі, потребує, як правило, виїзду оперативного персоналу для уточнення виду пошкодження, виконання чисельних ручних переключень, локалізації пошкодженої ділянки та забезпечення резервного живлення для непошкоджених ділянок. Все це потребує часу і зменшує надійність електропостачання, призводить до недоотримання електроенергії споживачами, щопідключені як до пошкодженої, так і непошкоджених ділянок [1].

Ефективним засобом усунення такого недоліку є реклоузер – інтелектуальний електричний апарат, що працює як автономний пристрій і використовується для автоматичного вимкнення і повторного вмикання лінії по попередньо заданій послідовності циклів вимикання та повторного вмикання з наступним поверненням функції автоматичного повторного вмикання (АПВ) в початковий стан. Збереженням ввімкненого положення або блокуванням в вимкненому положенні [1].

Вакуумні реклоузери здатні виконувати оперативні перемикання в розподільній мережі, автоматичне відключення пошкодженої ділянки, автоматичне повторне вмикання лінії, автоматичне відновлення живлення на непошкоджених ділянках мережі, автоматичний збір інформації про параметри режимів роботи розподільної мережі [1]. Секціонування мережі реклоузерами надає можливість автоматичної локалізації частини електромережі з пошкодженою ділянкою, не

позбавляючи живлення споживачів, які приєднанні до неушкодженої частини секціонованої мережі.

При цьому знижуються як обсяг недовідпуску електроенергії, а, отже, і збитки від аварійних вимикань, так і час пошуку пошкодження, оскільки суттєво скорочується довжина локалізованої аварійно вимкненої ділянки лінії, яка підлягає огляду з метою пошуку місця пошкодження [1]. Найпростіший варіант - розподільна повітряна лінія з пунктом автоматичного секціонування лінії (ПАС) на базі реклоузера, що встановлюється в магістралі лінії та ділить лінію на дві зони захисту, причому селективність спрацювання РЗ комутаційних апаратів забезпечується тим, що уставка витримки часу вимикача В1 в голові лінії на один ступінь вище, ніж уставка витримки часу РЗ вимикача реклоузера [1].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Аналіз та розробка схем розташування секціонуючих пунктів на основі вакуумних реклоузерів, розрахунки ефективної реалізації секціонуючих пунктів, розробку математичних моделей вакуумних систем комутації та аналіз проекту для можливого впровадження результатів досліджень на ринку.

Ці дослідження спрямовані на підвищення надійності електричних мереж шляхом використання сучасних методів та засобів захисту від перевантаження. Дані роботи також відповідають навчальним напрямкам, що включають в себе розробку та оптимізацію систем електропостачання та застосування сучасних електричних апаратів для поліпшення функціональності та ефективності електромереж.

Мета і задачі дослідження. Метою проведеного дослідження є підвищення надійності електричної мережі за допомогою застосування методів та засобів захисту від перенавантаження. Для досягнення цієї мети вирішуються наступні задачі:

1. Аналіз Особливостей Секціонуючих Пунктів на Основі Вакуумних Реклоузерів:

Проводиться детальний аналіз експлуатації секціонуючих пунктів, які базуються на вакуумних реклоузерах. Запропоновані ефективні варіації практичної реалізації таких секціонуючих пунктів, що спрямовані на оптимізацію роботи мережі та підвищення її надійності.

2. Розробка Розрахунків Надійності Мережі:

Розробляються приклади розрахунків показників надійності для початкової мережі (SAIFI(0)) до введення в експлуатацію секціонуючих пунктів на основі вакуумних реклоузерів. Також розробляються розрахунки показників надійності модернізованої мережі (SAIFI) після введення в експлуатацію секціонуючих пунктів на основі вакуумних реклоузерів.

3. Розробка Математичної Моделі Вакуумної Системи Комутації:

Для підвищення ефективності функціонування секціонуючих пунктів розробляється математична модель вакуумної системи комутації вакуумного вимикача. Використовується метод Монте-Карло з врахуванням швидкості часток контактних поверхонь під час комутації.

4. Аналіз Проекту:

Проводиться аналіз проекту для визначення можливостей його ринкового впровадження. Визначаються принципові можливості реалізації розглянутого проекту та напрямки його впровадження на ринку.

Ці завдання визначають стратегію дослідження та напрямки подальших кроків для покращення надійності та функціональності електричної мережі.

Об'єкт дослідження: являються аварійні процеси електричної мережі 635 кВ.

Предмет дослідження: методи та засоби захисту електричної мережі 635 кВ шляхом застосування сучасних методів та засобів захисту від перевантаження.

Методи досліджень: для аналізу та розв'язання поставлених задач використані статистичні методи обробки даних, узагальнювальні методи теорії моделювання, чисельні методи тощо.

Практичне значення :

Під час розроблення типових схем розташування точок встановлення секціонуючих пунктів на основі вакуумних реклоузерів в системі електропостачання (ЕП), важливо враховувати різні аспекти, які впливають на надійність та безперебійність електропостачання споживачів. Декілька ключових розрахунків можуть включати:

1. Розрахунок часу перерви електропостачання до встановлення секціонуючих пунктів:
2. Визначення часу, необхідного для встановлення секціонуючих пунктів.
3. Оцінка можливого періоду відключення електропостачання споживачів протягом цього процесу.
4. Розрахунок часу перерви електропостачання після встановлення секціонуючих пунктів:
5. Аналіз часу, необхідного для відновлення електропостачання після встановлення секціонуючих пунктів.
6. Врахування можливих затримок та процесів відновлення.
7. Розрахунок кількості відключень споживачів до та після встановлення секціонуючих пунктів:
8. Визначення кількості споживачів, які будуть відключені під час встановлення секціонуючих пунктів.
9. Оцінка впливу на надійність електропостачання.
10. Розрахунок уставок максимального струмового захисту та захисту від однофазних замикань на землю:
11. Встановлення оптимальних уставок для максимального струмового захисту у відповідності до характеристик системи.
12. Розгляд вимог до захисту від однофазних замикань на землю та вибір необхідних параметрів.

13. Ці розрахунки допоможуть оптимізувати розташування секціонуючих пунктів та встановлення вакуумних реклоузерів для забезпечення найвищої надійності та ефективності системи електропостачання.

Публікації. За матеріалами роботи опублікована 1 публікація, за результатами наукової конференції: Ефективне використання енергії стан і перспективи. Всеукраїнська студентська науково-практична конференція. 9 листопада 2023 р. (ЗВО «ПДУ», м. Кам'янець-Подільський).

Дмитро ПЕЧЕРЯГА. ОРГАНІЗАЦІЯ МЕРЕЖЕВОГО РЕЗЕРВУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ / Дмитро ПЕЧЕРЯГА, Віктор ДУБІК, Дарія ВІЛЬЧИНСЬКА // Ефективне використання енергії стан і перспективи: збірник наукових праць III Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції. 9 листопада 2023 р. (ЗВО «ПДУ», м. Кам'янець-Подільський). – Кам'янець-Подільський, 2023. – С.

ВИСНОВКИ

Основним об'єктом дослідження в дисертації є обґрунтування застосування секціонуючих пунктів – реклоузерів, які виконані у вигляді комутаційного модуля з вбудованими датчиками струму і напруги. Ці реклоузери виконують функції релейного захисту, автоматики, контролю якості та обліку електроенергії, моніторингу параметрів мережі. Зокрема, вони призначені для автоматичного відключення, повторного включення ланцюга змінного струму в режимах короткого замикання і без нього, з заздалегідь заданою послідовністю циклів відключення і включення, з можливістю збереження включеного положення або блокування в відключеному стані.

Основні результати дослідження включають аналіз існуючих систем автоматичного управління і захисту повітряних ліній електропередачі з використанням вакуумних вимикачів та спеціалізованих мікропроцесорів. Також надано обґрунтування технічних рішень щодо застосування секціонуючих пунктів з реклоузерами, представлено типові схеми підключення для їх практичної реалізації.

У дисертації розглянуто розрахунки залежностей показників надійності від кількості встановлюваних реклоузерів для радіального фідера, а також від показників надійності початкової та модернізованої мережі. Надано алгоритм вибору оптимального місця для реклоузерів, враховуючи критерії мінімізації показників SAIFI та SAIFI(0). Запропоновано розрахунок показників надійності для модернізованої мережі з використанням реклоузерів.

Крім того, проведено порівняльний аналіз існуючих математичних методів розрахунку вакуумних систем в комутаційних апаратах. Розроблено математичну модель вакуумної контактної системи комутації вакуумного вимикача з використанням методу Монте-Карло, у якій враховується швидкість часток контактних поверхонь під час комутації.

На заключному етапі дослідження проведено аналіз проекту для визначення можливостей його ринкового впровадження та розглянуто можливі напрямки реалізації проекту.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Неклепаев Б.Н., Гачків І.П. Електрична частина електростанцій і підстанцій. Довідкові матеріали для курсового і дипломного проектування. Навчальний посібник для вчз - 4-е видавництво перер. і доп. - К.: Энергоиздат, 2006.
2. Перехідні процеси в системах електропостачання. Підручник / В. Н.Винославский, Г. Г. Пивняк, Л.И. Несен та ін. під ред. В. Н.Винославского. К.: Вища школа. Головешці видавництво, 2009.
3. ГОСТ 13109-97. Електрична енергія. Норми якості електричній енергії у її приймачів, приєднаних до електричних мереж загального призначення. 1997.
4. ГОСТ 28249-93. Коротке замикання в електроустановках. Методи розрахунку в електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ.
5. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Електропостачання промислових підприємств. - К.: Вища школа., 2006. - 400с.
6. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання: Навчальний посібник. - Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2005. - 324с.
7. Громадський Ю.С., Манілов А.М. Щодо ефективності застосування запобіжників з вимикачами навантаження RIF фірми "Powercon Corp" (США) в ятерах 6-35 кВ//Промелектро. - 2004. - №2 - С. 32...35.
8. Щестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник.- Вінниця : Нова Книга, 2004. - 656с.
9. ДСТУ 2790-94. Електропостачальні системи напругою понад 1000 В. Терміни та визначення.
10. ДСТУ 2791-94. Електропостачальні системи напругою до 1000 В. Терміни та визначення.
11. Електричні мережі і системи / Н.В.Буслова, В. Н.Винославский, Г. І.Денисенко, В. С. Перхач; Под.ред. Г. І.Денисенко.-К.:Вища шк. Головешці вид-во, 2006 - 584с.

12. Електробезпека на промислових підприємствах: Довідник/ Р. В. Сабарно, А.Г Степанов, А.В. Слонченко-К.: Техніка, 2005.228с.
13. Долин П. А Основи техніки безпеки в електроустановках: Навчань.посібник для внз. - 2-е видавництво, пері раб. І доп. - М.: Энергоатомиздат, 2004. -448с.
14. Правила облаштування електроустановок /- 6-е видавництвом, перераб. і доп. - Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2006. - 648с.
15. Довідник по проектуванню електропостачання / Під ред. Барыбина та ін. / - М.: Энергоиздат, 1990. - 576 с.
16. Довідник по електропостачанню промислових підприємств : Проектування і розрахунок/ Овчаренко А.С., Рабинович М.П. і др.- До: Техніка, 2005.-297 с.
17. Постанова НКРЕ №1124 від 09.12.97 р. "Про тарифи на е/е, що відпускається компаніями Міненерго, що енергозабезпечують, України". Інструктивні вказівки за розрахунком електричних навантажень промислових установок // Інструктивні вказівки по проектуванню промислових електричних установок /Тяжпром-электропроект/.- К.: Вища школа, 1990.-№4.- С. 3-7.
18. Методичні вказівки і завдання для курсового проектування по курсу "Електропостачання промислових підприємств". Київ: КПИ, 1994.-62с.
19. ГОСТ 14209-85 "Трансформаторів силові масляні загального призначення".
20. Електротехнічний довідник в 3 томах, 3 том 2 книги, книга 1 Виробництво і розподіл електричної енергії / Під загальною редакцією професорів МЭИ, И.Н. Орлова і Др./-м : Энергоатомиздат, 2008.-880 с.
21. Правила облаштування електроустановок / Міненерго СССР- 6-і изд.перераб. і Доп.- К.: Вища школа, 2006.-648 с.
22. Електротехнічний довідник / Під ред. И.Н. Орлова та ін./М К.: Вища школа, 2008. - 880с.
23. Неклепаев Б.Н., Гачків И.П. Електрична частина електростанцій і підстанцій: Довідкові матеріали для курсового і дипломного проектування:

Навчальний посібник для вузов.-4-е видавництва перераб. і Доп.- К.: Вища школа, 2009.-608 с.

24. Винославский В. Н., Праховник А.В. та ін. Проектування систем електропостачання : Навчальний посібник для вузов.- До: Вища школа. Головне изд.-во, 2001.-360 с.

25. Довідкова книга зі світлотехніки / Під ред. Ю.Б. Айзенберга.- Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2003.-472 с.

26. Довідкова книга для проектування електричного освітлення. Під ред. Г. М. Кнорринга.- К.: Вища школа, 2005.- 384 с.

27. Князевский Б.А., Долин П. А. Охорона труда.- Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2002.-311с.

28. Князевский Б.А., Марусова Н.А., Чеколин Н.А. Охорона праці в електроустановках: підручник для внз / Під ред. Князевского Б.А.-3-е видавництво Перераб. і доп. - К.: Вища школа, 2003.-33

29. РТМ 36.18.32.4-92. Вказівки за розрахунком електричних навантажень. - К.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992.

30. Довідник по проектуванню электроснабжения./Под ред. Ю.Г.Барыбина та ін. - Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 1990.

31. Довідник по проектуванню промышленных підприємств/ Під ред. А.А. Федорова і Г. В. Сербиновского в 2-х томах. - Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2003.

32. Довідкова книга для проектування електричного освещення./ Під ред. Г. М. Кнорринга. - Л.: Енергія, 2006.

33. ДБН В. 2.5-23-2003. Державні будівельні норми. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. - К.: Держбуд України, 2004.

34. Довідник по електропостачанню промислових підприємств : проектування і розрахунок. / А.С. Овчаренко, М.Л. Рабинович, В. І.Мозирский, Б.И. Розинский. - К.: Техніка, 2005.