

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

**ОБГРУНТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЇВ
РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ В ЛІНІЯХ
ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 110/10(6) КВ ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО
ТОВАРИСТВА «РІВНЕОБЛЕНЕРГО»**

Виконав:

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

_____ **Павло СЕМЕНЮК**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Юрій ПАНЦИР**

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**

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	12
1.1. Аналіз електричної частини трансформаторної підстанції 110 кВ.....	12
1.2. Аналіз технічного стану комутаційного обладнання ПС 110/35/10 кВ ...	13
1.3. Обґрунтування заміни оливних вимикачів на вакуумні чи елегазові	13
1.4. Переваги вакуумних вимикачів.....	14
1.5. Переваги елегазових вимикачів.....	14
1.6. Аналіз електропостачання міста Дубно.....	14
1.7. Аналіз потужності режимів і ефективності функціонування ПС 110	15
1.8. Аналіз мікропроцесорних пристроїв релейного захисту. Їх особливості, переваги і недоліки.....	18
1.9. Аналіз причин низької функціональної надійності мікропроцесорних пристроїв релейного захисту.....	20
1.9.1. Надійність елементів пам'яті МПП РЗ	20
1.9.2. Робота центрального процесору пристрою	21
1.9.3. Джерело живлення МПП РЗ.....	21
1.9.4. Вихідні електромагнітні реле пристроїв РЗ	22
1.9.5. Мікропроцесорний захист, який використовується для захисту трансформаторів і автотрансформаторів.....	22
1.10. Мікропроцесорний захист	22
1.11. Висновки до 1 розділу	25

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ПРИБОРІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА ВИМОГ ДО ЦИФРОВИХ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	26
2.1 Проблеми оцінювання надійності релейного захисту.....	26
2.2 Порівняльний аналіз надійності схем релейного захисту.....	30
2.3. Релейний захист нового покоління. Вимоги до цифрових первинних перетворювачів сигналів.....	33
2.3.1. Оцінювання частотного діапазону вхідних сигналів кіл релейного захисту.....	35
2.3.2. Дослідження частотних спектрів електромагнітних трансформаторів струму	36
2.4. Висновки до 2 розділу	39
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	41
3.1 Вибір вимикачів	41
3.1.1. Вибір вимикачів на РП 110 кВ	42
3.1.2. Вибір вимикачів на РП 35 кВ	44
3.2 Вибір роз'єднувачів	45
3.2.1. Вибір роз'єднувачів на РП 110 кВ.....	45
3.2.2. Вибір роз'єднувачів на РП 35 кВ.....	46
3.3 Вибір вимірювальних трансформаторів струму і трансформаторів напруги	46
3.3.1. Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги на РП 110 кВ.....	49
3.3.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги на РП 35 кВ.....	50
3.4 Вибір струмоведучих частин	52

3.4.1. Вибір струмоведучих частин на РП 110 кВ	52
3.4.2. Вибір струмоведучих частин на РП 35 кВ	54
3.5. Вибір конструкції розподільного пристрою	55
3.6. Вибір трансформатора власних потреб	55
3.7. Вибір запобіжників та автоматичних вимикачів	56
3.8 Вибір обмежувачів перенапруги 10 кВ.....	58
3.9 Висновки до розділу	59
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ НА	
ДІЛЬНИЦЯХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ	
ТА РЕЖИМІВ НАВАНТАЖЕНЬ	61
4.1 Початкові дані для розрахунку струмів короткого замикання.....	62
4.2 Розрахунок струмів короткого замикання в точці К-1	63
4.3 Розрахунок струмів короткого замикання в точці К-2	69
4.4 Розрахунок струмів короткого замикання в точці К-3	73
4.5 Регулювання напруги трансформаторною підстанцією 110/35/10 кВ.....	78
4.6 Розрахунок штучного заземлення ПС 110/35/10 кВ.....	79
4.7 Розрахунок блискавкозахисту ПС 110/35/10 кВ.....	82
4.8 Висновки до 4 розділу	84
РОЗДІЛ 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	85
5.1 Вибір і розрахунок мікропроцесорного релейного захисту	
трансформатора	85
5.2 Конфігурація мікропроцесорного терміналу типу БЭ2704 V041.....	86
5.3 Розрахунок диференційного захисту трансформатора	88
5.4 Розрахунок максимального струмового захисту з блокуванням по	
напрузі.....	93

5.5	Вибір уставок пристрою резервування відмови вимикача	98
5.6	Розрахунок захисту від перевантаження	98
5.7	Розрахунок блокування пристрою регулювання під напругою	99
5.8	Розрахунок захисту від перегрівання.....	100
5.9	Газовий захист.....	100
5.10	Газовий захист перемикача пристрою регулювання під напругою	101
5.11	Висновки до розділу	101
РОЗДІЛ 6. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ		102
6.1	Методика оцінки економічної ефективності інженерних рішень.....	102
6.1.1.	Розрахунок загальних витрат.....	102
6.1.2.	Зіставлення грошових потоків.....	104
6.1.3.	Оцінювання ефективності внаслідок порівняння варіантів витрат ...	104
6.2	Ступінь деталізації розрахунків економічної ефективності	107
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ		109
7.1	Аналіз небезпечних факторів на трансформаторній підстанції та розробка заходів щодо їх зниження.....	109
7.2	Заходи пожежної безпеки на трансформаторній підстанції	110
7.3	Організаційні заходи захисту персоналу підстанції.....	111
7.4	Організація цивільного захисту на об'єктах електроенергетики	112
7.5	Роль місцевого управління у створенні безпекового середовища життєдіяльності людей	113
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ		115
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		117

ВСТУП

Актуальність теми. Під надійністю електропостачання необхідно розуміти безперервне забезпечення споживачів електроенергією заданої якості відповідно до договірних зобов'язань. У сучасних ринкових умовах надійність електропостачання нерозривно пов'язана з економічними показниками й енергетичною безпекою промислових підприємств.

Завдання забезпечення надійності систем електропостачання містить у собі цілий комплекс технічних, економічних і організаційних заходів, спрямованих на зниження збитку від порушення нормального режиму роботи споживачів електроенергії.

Особливо серйозно проблема надійності проявляється, коли обладнання з показниками надійності, які розрізняються між собою, встановлюється на одних і тих же об'єктах, наприклад, в ході модернізації. Тому для реалізації шляхів підвищення надійності необхідний системний підхід, який дозволяє підвищити надійність підстанції за рахунок розвитку і впровадження новітніх інформаційних технологій та заміни апаратів комутації й управління.

В нинішніх умовах для підвищення надійності функціонування електроенергетичної системи проводиться масштабна комплексна модернізація трансформаторних підстанцій з встановленням новітнього електрообладнання. Підстанції оснащуються сучасними мікропроцесорними комплексами релейного захисту і автоматики та автоматизованими системами керування.

Згідно зі статистичними даними функціонування енергосистем (23 ... 28)% важких аварій є наслідком неправильних дій релейного захисту та протиаварійної автоматики. В (50 ... 70)% випадків вони призводять до розвитку аварійних ситуацій в тяжкі системні аварії. Крім того, приблизно (30 ... 40)% неправильних дій пов'язані з несправністю самих пристроїв та схем релейного захисту: помилки в апаратній частині, логічній частині або в алгоритмах спрацювання мікропроцесорних пристроїв релейного захисту.

Розвиток в нашій країні релейного захисту і автоматики

електроенергетичних систем і зміна апаратної бази від електромеханічних реле до мікросхем і мікропроцесорів, з одного боку, привело до значного підвищення її технічної досконалості, а з іншого боку - до значного зниження надійності. Велику увагу фахівці приділяють аспектам надійності спрацювання захистів. Основна частина неправильних дій систем релейного захисту - це помилкові й зайві спрацювання, як показують статистичні дані, накопичені протягом ряду років. Саме ці види неправильних дій захисту супроводжуються найбільшими збитками від ненадійності апаратури захисту .

Недостатнє вивчення даних про роботу різних типів захистів не дозволяє вирішити пряме завдання надійності, тобто по показниках надійності окремих елементів релейного захисту визначати показники надійності всієї системи в цілому.

Таким чином, можна зробити висновок, що кількісне оцінювання надійності релейного захисту в електроенергетичних системах, її підсистемах, починаючи з трансформаторних підстанцій, представляє собою актуальну задачу. Особливо актуальною ця задача є для схем релейного захисту, в яких використовуються мікропроцесорні пристрої релейного захисту, які, згідно зі статистичними даними, мають нижчу експлуатаційну надійність за схеми з електромеханічними реле.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської роботи є модернізація схемо–технічного рішення та комплексу обладнання понижувальної трансформаторної підстанції 110 кВ, а також розробка заходів з підвищення надійності системи електропостачання цієї підстанції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз сучасних технічних рішень підвищення надійності систем електропостачання шляхом заміни комутаційного, вимірювального обладнання, пристроїв релейного захисту новітніми з використанням мікропроцесорних технологій;

- аналіз характеристик сучасного високовольного комутаційного обладнання трансформаторної підстанції (вимикачі, роз'єднувачі) для заміни

морально застарілого й з фізичним зносом;

- аналіз характеристик мікропроцесорного блоку релейного захисту для можливості встановлення в блок релейного захисту;
- розрахунок струмів короткого замикання на шинах високої і середньої напруги підстанції для вибору комутаційного обладнання;
- реконструкція функціональних елементів трансформаторної підстанції на стороні високої та середньої напруги.

Об’єкт дослідження - процес підвищення надійності трансформаторної підстанції 110 кВ шляхом модернізації схемо–технічного рішення й високовольтного комутуючого обладнання.

Предмет дослідження - характеристики новітнього обладнання на базі мікропроцесорних пристроїв релейного захисту й вакуумних та елегазових вимикачів для модернізації підстанції 110 кВ.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Отримало подальший розвиток застосування методів забезпечення надійності трансформаторних підстанцій шляхом їх реконструкції із застосуванням новітнього комутуючого обладнання й мікропроцесорних пристроїв релейного захисту.
- Запропонована для подальшого дослідження модель коефіцієнта передачі електромагнітного трансформатора струму як елемента кола релейного захисту із встановленням динамічного діапазону лінійного перетворення первинного струму без спотворень й робочого частотного діапазону первинного перетворювача струму.

Практичне значення отриманих результатів.

Впровадження результатів досліджень методів реконструкції трансформаторних підстанцій дозволить підвищити надійність функціонування електромережі.

Публікації: Павло СЕМЕНЮК / Аналіз мікропроцесорних пристроїв релейного захисту // III Всеукраїнська студентська науково-практична конференція «Ефективне використання енергії: стан і перспективи» (09 листопада 2023 року) / Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець – Подільський. 2023.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 7-и розділів, висновків, переліку посилань (23 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 120 стор., 15 табл., 22 рис.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В магістерській роботі досліджена надійність пристроїв релейного захисту систем електропостачання 110/10 (6) кВ на основі модернізації трансформаторної підстанції 110/35/10 кВ для забезпечення ефективності постачання електроенергії споживачам.

Отримані такі результати:

1. Проведений аналіз району електропостачання ПС 330/110/35 кВ «Дубно» з понижувальною підстанцією 110/35/10 кВ «Радіозавод», а також аналіз електроустаткування та стану комутаційного обладнання підстанції.
2. Досліджена модель надійності пристроїв релейного захисту як результат визначення ймовірностей відмов їх схем в певні моменти часу, а також на інтервалі часу.
3. Проаналізовані статистичні дані функціонування пристроїв релейного захисту в різних робочих ситуаціях для встановлення моделі їх надійності у вигляді узагальненого нормалізованого показника відмов.
4. Досліджена модель коефіцієнта передачі електромагнітного трансформатора струму як елемента кола релейного захисту і встановлено необхідний динамічний діапазон лінійного перетворення первинного струму без спотворень й робочий частотний діапазон перетворювача.
5. Досліджено статистику спрацювань пристроїв релейного захисту різних поколінь виконання і встановлені причини нижчої на даний час надійності мікропроцесорних пристроїв від електромагнітних.
6. Проведено вибір сучасного комутаційного обладнання: вимикачів, роз'єднувачів для підвищення надійності району електропостачання трансформаторної підстанції.
7. Здійснено заміну короткозамикачів на стороні 110 кВ на елегазові вимикачі, заміну оливних вимикачів на стороні 35 кВ на вакуумні.
8. Здійснено вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги, струмовідних частин, трансформаторів власних потреб, обмежувачів перенапруги та іншого комутаційного обладнання ПС 110/35/10 кВ.

9. Проведений розрахунок струмів коротких замикань на шинах 110, 35 і 10 кВ трансформаторної підстанції з визначенням окремих їх параметрів, необхідних для вибору і перевірки електричних апаратів та провідників підстанції, а також для вибору уставок релейного захисту і визначення їх чутливості.

10. Для захисту високовольтного трансформатора здійснено вибір комплектування шафи захисту трансформатора на базі мікропроцесорного терміналу і електромеханічних реле.

11. Проведений розрахунок диференційного захисту трансформатора, максимального струмового захисту з блокуванням по напрузі, коефіцієнта чутливості захисту. Здійснений вибір уставок пристрою резервування відмови вимикача.

12. Проведені розрахунки: захисту трансформатора від перевантаження, блокування пристрою регулювання під напругою, захисту від перегрівання обмоток і магнітопроводу трансформатора.

Досліджена надійність пристроїв релейного захисту трансформаторної підстанції 110/35/10 кВ та запропоновані заходи щодо її модернізації підвищать ефективність функціонування систем електропостачання 110/10 (6) кВ, а також сприятимуть безпеці персоналу й недопущенню екологічного забруднення довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок : [арх. 15 березня 2020] / Міненерговугілля України. — Київ : [б. в.], 2017. — 617 с.
2. ДСТУ 3569-97 Енергозбереження нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Основні положення (ГОСТ 30514-97). Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25862. — Назва з екрана.
3. Волох П.В., Цоколенко М.П., Ревенко Л.В., Грічаненко В.А. та ін. Довідникова книга з електроенергетики : Навчальний посібник – К.: Аграрна освіта, 2014. – 506 с.
4. ДНАОП 0.00-1-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. – К.: Укрархбудінформ, 2001. – 117 с.
5. Проектування електропостачання та електрообладнання машин і установок геотехнічних виробництв: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Уклад.: І. С. Рябенко, О. В. Мейта. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.
6. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
7. Бурбело, М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с.
8. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. - Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. - 984с.
9. Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38 – 150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних втрат електроенергії. (ГНД 34. 09. 104 – 2003). – К. : Міністерство палива та енергетики України, 2004. – 115 с.

10. Бурбело М. Й. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах : монографія / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 110 с.
11. Сиворакша В.Ю., Марков В.Л., Петров Б.Є. та інш. Теплові розрахунки геліосистем. – Дніпропетровськ: Вид-во ДГУ, 2003. – 132 с.
12. Б.Х Драганов, В.В.Іщенко, О.В.Шеліманова. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем. К.:Аграрна освіта. 2009.-230 с
13. Енергозбереження. Посібник для загальноосвітньої школи, Львів: Праховник А.В., Мельникова О.В., Конеченков А.Є., Іншеков Є.М., Дешко В.І. / Політра Друку, 2003, - 92 с.
14. Електромагнітна сумісність у системах електропостачання: Підручник / І. В. Жежеленко, А. К. Шидловський, Г. Г. Півняк, Ю. Л. Саєнко.- Д, Нац. гірнич. ун-т, 2009.-319 с.
15. Новітні енергетичні технології та їх вплив на функціонування систем енергопостачання: аналіт. доп. / О. М. Суходоля. – Київ : НІСД, 2022. – 36 с.
16. Забезпечення стійкості енергосистем та їх об'єднань: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2018. – 320 с.
17. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://kubg.edu.ua/images/stories/podii/2017/06_21_posylannia/dstu_8302.pdf. – Назва з екрана.
18. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки Структура і правила оформлення ДСТУ 3008-2015. Режим доступу: https://science.kname.edu.ua/images/dok/derzhstandart_3008_2015.pdf. – Назва з екрана.
19. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці:Підручник.-Л.:Афіша,2002.-320 с.
20. Електробезпека: Підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – 295 с.
21. Основи безпечної експлуатації електроустановок: Підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 149 с.

22. Методичні рекомендації щодо виконання та оформлення кваліфікаційної роботи магістра / Т.Д.Гуцол, Л.М.Михайлова, І.Д.Гарасимчук, В.М.Дубік, О.В.Ткач, П.В.Потапський. (За загальною редакцією Михайлової Л. М.) – ПДАТУ, 2019. – 30 с.

23. Система дистанційного навчання Moodle 2.7. – «ЗВО «ПДУ»». Режим доступу: <http://pdatu.net.ua/>. – Назва з екрана.