

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**Підвищення надійності електропостачання підстанцій 110-150 кВ
шляхом використання мікропроцесорного захисту**

Виконав:

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

_____ **Віталій ФАРІОН**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Віктор ДУБІК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«_____» _____ 2024 р.

Гарант освітньої програми

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

кандидат технічних наук, доцент _____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

м. Кам'янець-Подільський, 2024р.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОПИС ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Обґрунтування заміни електромеханічних на мікропроцесорні захисти	10
1.2. Опис релейного захисту та автоматики.....	14
Висновки за розділом	17
РОЗДІЛ 2. ВІДОМОСТІ ПРО ЗАХИСТ ВСТАВОК.....	18
2.1. Опис основного та резервного захисту трансформатора.....	18
2.1.1. Види пошкоджень в трансформаторі.....	20
2.1.2. Максимальний струмовий захист.....	22
2.1.3. Максимальний струмовий захист з пуском по напрузі.....	27
2.1.4. Струмовий захист зворотної послідовності	30
2.1.5. Струмовий захист нульової послідовності.....	31
2.1.6. Диференціальний захист.....	33
2.2. Розрахунок уставок для ТС.....	43
2.3. Опис програмного середовища Easyrgy Studio т мікропроцесорних захистів Micom P633, Micom P139	51
2.3.1. Програмне середовище Easyrgy Studio.....	51
2.3.2 Опис мікропроцесорного терміналу Micom P139	56
2.3.3. Опис мікропроцесорного терміналу Micom P633	59
Висновок за розділом.....	63
РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМИ виконавчих схем для реле MICOM	64
3.1. Аналіз виконавчих схем для реле MICOM P633	64

3.2. Побудова логіки роботи для терміналу MICOM P139.....	68
3.3. Цифрові підстанції (ЦПС).....	71
Висновок за розділом.....	75
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

ВСТУП

Сучасний етап розвитку енергетики висуває на перший план питання автоматизації, що зумовлює необхідність заміни первинного обладнання на вторинне на електростанціях і підстанціях. Ця проблема є актуальною для всіх країн з розвиненою енергетичною інфраструктурою, зокрема й для України.

Актуальність роботи. Підстанції класу напруги 35-110-150 кВ є найпоширенішими об'єктами в енергосистемі. Забезпечення їхньої надійної та безперебійної роботи є пріоритетним завданням. Ефективним рішенням для досягнення цієї мети є заміна застарілого, як фізично, так і морально, обладнання на сучасні мікропроцесорні пристрої.

Переваги впровадження мікропроцесорних систем релейного захисту та автоматики (РЗА):

1. Самодіагностика та діагностика первинного обладнання

Забезпечують постійний моніторинг працездатності як самого пристрою захисту, так і стану основного енергетичного обладнання.

2. Автоматична реєстрація подій

Система автоматично фіксує режими роботи, аварійні процеси та події, що дозволяє оперативно аналізувати причини порушень у роботі енергооб'єкта.

3. Покращена точність

Спрощується процес розрахунку уставок, значно підвищується їх точність, а також точність вимірювань параметрів електроенергії.

4. Інтеграція в автоматизовані системи управління

Пристрої можуть бути об'єднані у єдину систему управління, що забезпечує:

- Дистанційне налаштування уставок.
- Віддалений контроль режиму роботи об'єкта.
- Моніторинг стану пристроїв РЗА.
- Передачу інформації про аварійні події на робоче місце оператора.

5. Нові функції та розширені можливості:

- Облік ресурсу вимикачів, що дозволяє планувати технічне

обслуговування.

- Зберігання та використання кількох наборів конфігурацій та уставок, що спрощує адаптацію до змін у роботі мережі.

- Відновлення форми кривої струму навіть при насиченні трансформаторів струму, що підвищує надійність роботи захисту.

Впровадження мікропроцесорних систем РЗА значно підвищує надійність, точність і гнучкість роботи енергосистем, одночасно спрощуючи процес управління та діагностики.

Мета роботи: Розробка та реалізація в програмному середовищі Easergy Studio алгоритмів функціонування мікропроцесорних засобів захисту трансформатора та контролю стану комірки вимикача, побудованих на пристроях Schneider Electric Micom P633 та Micom P139. Дослідження характеристик і ефективності роботи захистів в умовах реальної експлуатації на підстанції (ПС).

Проблеми впровадження мікропроцесорних систем релейного захисту (РЗА):

1. Складність налаштування:

Однією з основних проблем для інженерів є налаштування та адаптація мікропроцесорних захистів до конкретних умов роботи. Це включає правильне визначення параметрів захисту та уставок відповідно до характеристик енергетичної системи.

2. Необхідність глибоких знань алгоритмів роботи:

Для успішного впровадження інженери повинні розуміти алгоритми роботи мікропроцесорних пристроїв, які є більш складними порівняно з традиційними електромеханічними захистами.

3. Розробка та перевірка алгоритмів:

Процес впровадження потребує розробки ефективних алгоритмів захисту, що враховують специфіку енергосистеми, тип обладнання, а також можливі аварійні режими.

4. Рівень кваліфікації персоналу:

Високий рівень кваліфікації та спеціалізоване навчання необхідні для інженерів,

які займаються введенням у дію мікропроцесорних захистів. Це включає знання у сфері цифрової техніки, програмування, а також роботи із сучасними програмно-апаратними комплексами.

5. Необхідність точного тестування:

Налагодження потребує ретельного тестування всіх функцій мікропроцесорних захистів, що займає значний час і вимагає спеціалізованого обладнання.

Об’єкт дослідження: процеси перетворення електричної енергії на підстанціях з використанням високонадійних та ефективних мікропроцесорних терміналів релейного захисту та автоматики

Методи дослідження Розробка та аналіз виконувались із застосуванням математичного апарату булевої алгебри, що дозволило формалізувати процеси управління та захисту в мікропроцесорних системах.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати дослідження можуть бути використані:

- для практичної реалізації під час налаштування мікропроцесорних систем релейного захисту на підстанціях;
- для аналізу і вдосконалення виконавчих схем у процесі реалізації майбутніх проєктів з реконструкції систем релейного захисту.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дисертації були оприлюдненні на четвертій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ефективне використання енергії: стан і перспективи». (19 листопада 2024). – Кам’янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024.

Публікації. За результатами наукових досліджень було опубліковано тези: Віталій ФАРІОН. ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА НА БАЗІ РЕЛЕ СЕРІЇ МІСОМ Р63Х / Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективне використання енергії: стан і перспективи». (19 листопада 2024). – Кам’янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз підходів до побудови ЦПС та сформовано вимоги до проектування ЦПС. Ці вимоги викладені в СОУ НЕК 20.261:2018 . Згідно даного документу можна виділити кілька вимог до цифрового обладнання:

1. Всі цифрові пристрої на підстанції, у т.ч. і МП РЗА, вимірювання, реєстратори аварійних процесів повинні підтримувати протокол обміну IEC-61850.

2. Всі цифрові пристрої на підстанції, у т.ч. і МП РЗА, вимірювання, реєстратори аварійних процесів повинні мати 2 ethernet-порти з підтримкою протоколу IEC-61850. 56

3. Всі цифрові пристрої на підстанції, у т.ч. і МП РЗА, вимірювання, реєстратори аварійних процесів повинні забезпечувати синхронізацію за протоколом синхронізації часу IEEE 1588v2 (PTP) - не гірше 1 мкс.

4. Всі цифрові пристрої керування на підстанції, у т.ч. і МП РЗА, реєстратори аварійних процесів повинні підтримувати резервування за стандартам PRP або HSR. Що передбачає нульовий час на відновлення.

5. Всі цифрові комутатори на підстанції повинні підтримувати протокол IEC-61850, синхронізацію за протоколом синхронізації часу IEEE 1588v2 (PTP), резервування за стандартами PRP або HSR.

Всі зазначені вище вимоги підтримують сучасні МП РЗА закордонного виробництва - ABB, Siemens, Alstom, Schneider Electric, SEL, реєстратори аварійних процесів також закордонного виробництва - GE, SEL, ABB, Siemens, мережеві комутатори GE, SEL

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач вищої освіти _____ Віталій ФАРІОН

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем. – Львів: Львівська політехніка, 2015. – 504 с.
2. Сокол Є. І. Релейний захист електроенергетичних систем. – Харків : ФОП Бровін О. В., 2020. – 306 с.
3. 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. – Ч. 1. – 250 с.
4. Беркович М. А., Молчанов В. В. Основи техніки релейного захисту – Суми: Енергоатомвид, 2014. – 376 с.
5. Трансформатори. Монтаж, обслуговування та ремонт / М. В. Принц, В. М. Цимбалістий: Оріяна-Нова, 2007. – 184 с. – (Професійнотехнічна освіта України). — ISBN 978-966-2128-03-1
6. Мікропроцесорні захисти: Мікропроцесорні захисти від компанії ABB URL: <http://www.abb.ua/product/us/9AAF401100.aspx?country=UA>.
(Дата звернення 20.05.2024).
7. Аналіз режимів роботи вторинних кіл трансформаторів струму за їх розкорочення [Текст] / А. В. Журахівський, Б. М. Кінаш, А. Я. Яцейко, Р. Я. Ференсович // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2012. – № 736 : Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 43–49.
8. Журахівський А. В. Аналіз режиму роботи трансформатора струму з розімкненим вторинним колом методами аналітичних розрахунків [Текст] / А. В. Журахівський, Ю. А. Кенс, Р. Я. Ференсович // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 6 (123). – С. 89–94.
9. Кенс Ю. А. Спрощений аналіз усталеного режиму роботи однокаскадного трансформатора струму за розкорочення його вторинної обмотки [Текст] / Ю. А. Кенс, Р. Я. Ференсович, Н. Б. Дьяченко // Вісник НУ “Львівська політехніка”. – 2015. – № 834 : Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 26–32.

10. Жураховский А. В. Исследование установившихся режимов работы одноступенчатого трансформатора тока при размыкании под нагрузкой его вторичной обмотки [Текст] / А. В. Жураховский, Ю. А. Кенс, Р. Я. Ференсович // Энергетика и ТЭК. – Минск, 2017. – № 1 (166). – С. 23–26.

11. Захист від наднапруг розімкненого вторинного кола трансформатора струму [Текст] / А. В. Журахівський, Ю. А. Кенс, Р. Я. Ференсович, Н. Б. Дьяченко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 5 (134). – С. 74–79.

12. Ференсович Р. Я. Дослідження режимів роботи трансформаторів струму [Текст] / Р. Я. Ференсович // Енергетика та системи керування : Матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених EPECS-2011. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С. 90–91.

13. Яцейко А. Я. Аналіз аварійних режимів роботи вимірювальних трансформаторів струму [Електронний ресурс] / А. Я. Яцейко, Р. Я. Ференсович // Енергетика та системи керування : Матеріали IV Міжнародної конференції молодих вчених EPECS-2013. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 32–35. – Назва з екрану.

14. Ferensovych R. The Operation of Current Transformer with Open Secondary Circuit [Електронний ресурс] / R. Ferensovych // V Міжнародний молодіжний науковий форум “Litteris et Artibus” / Матеріали. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 196–198. – Назва з екрану.

15. Ferensovych R. The Operation Mode of Single-Stage Current Transformer with Open Secondary Circuit [Електронний ресурс] / R. Ferensovych // VI Міжнародний молодіжний науковий форум “Litteris et Artibus” / Матеріали. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 175–176. – Назва з екрану.

16. Ференсович Р. Я. Аналіз перехідних процесів каскадних трансформаторів струму [Текст] / Р. Я. Ференсович // 70-та студентська науково-технічна конференція : Збірник тез доповідей. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – С. 125–127.

17. Ференсович Р. Я. Аварійні процеси у вимірювальних трансформаторах струму [Текст] / Р. Я. Ференсович // 71-ша студентська науково-технічна конференція : Збірник тез доповідей. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – С. 123–124.

18. Ференсович Р. Я. Режими роботи та захист трансформаторів струму за розкорочення їх вторинних кіл [Текст] / Р. Я. Ференсович // 72-а студентська науково-технічна конференція : Збірник тез доповідей. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – С. 126–128.

19. Ференсович Р. Я. Режими роботи та аварійні процеси вимірювальних трансформаторів струму [Текст] / Р. Я. Ференсович // Збірник тез докладів Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузі «Енергетика». – Маріуполь : ПДТУ. – 2013. – С. 20.

20. Ференсович Р. Я. Аварійні розмикання вторинних обмоток трансформаторів струму [Електронний ресурс] / Р. Я. Ференсович, О. І. Жила // Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт з галузі «Енергетика» : збірник тез / ПДТУ. – Маріуполь, 2014. – С. 20. – Режим доступу : <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/6221> (дата звернення 12.11.14). – Назва з екрану.

21. Пат. 71385 Україна, МПК Н02Н 7/04(2006.01). Пристрій захисту трансформатора струму від перенапруг / А. В. Журахівський, Ю. А. Кенс, А. Я. Яцейко, Р. Я. Ференсович ; власник НУ «Львівська політехніка». – № u201200114 ; заявл. 04.01.2012 ; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.

22. Пат. 89566 Україна, МПК Н02Н 7/04(2006.01). Пристрій захисту трансформатора струму від пошкоджень перенапругами / А. В. Журахівський, Ю. А. Кенс, А. Я. Яцейко, Р. Я. Ференсович ; власник НУ «Львівська політехніка». – № u201313704 ; заявл. 25.11.2013 ; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8.

23. Пат. 111065 Україна, МПК Н02Н 7/04(2006.01). Пристрій захисту від перенапруг трансформатора струму та його вторинних кіл / А. В. Журахівський, Ю. А. Кенс, А. Я. Яцейко, Р. Я. Ференсович ; власник НУ «Львівська політехніка». – № u201605446 ; заявл. 19.05.2016 ; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20.