

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Віктор ХІЛОВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Енергоефективні технології в системах електрозабезпечення
гірничих та металургійних підприємств»
за спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

**на тему: «Модернізація системи релейного захисту закритого
розподільчого пристрою 6 кВ з метою підвищення надійності
електропостачання»**

Керівник роботи

Юрій ПАПАЙКА

Консультант від бази практики

Віталій ПЛЕСКАЧ

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач

Олександр ЛУК'ЯНЕНКО

--	--	--	--

Голова ЕК

Олексій ВЕРЕЩУК

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>автоматизації виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>автоматизації, електро- та робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</u> <u>Енергоефективні технології в системах</u>
ОПП	<u>електрозабезпечення гірничих та металургійних підприємств</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Віктор ХІЛОВ

08.12.2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Лук'яненко Олександра Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи: «Модернізація системи релейного захисту закритого розподільчого пристрою 6 кВ з метою підвищення надійності електропостачання»

керівник роботи Папаїка Юрій Анатолійович, професор, доктор технічних наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 10.09.2025 р. №239/10.09.2025

2. Термін подання роботи 08.01.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, методика з розрахунків струмів короткого замикання та розрахунку уставок релейних захистів, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи, літературні джерела, технологічні інструкції, однолінійні схеми електропостачання підприємства, відомості про джерела оперативного струму, результати власних експериментів та досліджень тощо.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). Постановка задач з підвищення надійності електропостачання шляхом впровадження новітніх систем захисту та мережевої автоматики. 2. Реалізація запропонованого підходу (2.1. Розрахунки нормальних та аварійних електричних режимів на шинах 6 кВ закритого розподільчого пристрою. 2.2. Розрахунок та вибір уставок релейного захисту на терміналах. 2.3. Дослідження режимних параметрів системи на математичній моделі. 3. Економічне обґрунтування запропонованої системи захисту. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

4. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Однолінійна принципова схема закритого розподільчого пристрою 6 кВ. Схема розподілу терміналів захисту. Карти вибору уставок захистів. Результати розрахунків аварійних електричних режимів за найбільшої та найменшої потужності енергосистеми.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз типових систем релейного захисту на стороні 6 кВ знижувальних трансформаторних підстанцій. Постановка задач дослідження.	проф. Папаїка Ю.А.	<u>08.12.2025</u>	<u>10.12.2025</u>
Реалізація запропонованої системи релейного захисту	проф. Папаїка Ю.А.	<u>08.12.2025</u>	<u>10.12.2025</u>
Економічне обґрунтування запропонованої системи захисту	проф. Папаїка Ю.А.	<u>08.12.2025</u>	<u>10.12.2025</u>

6. Дата видачі завдання 08.12.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області. Постановка задач з підвищення надійності електропостачання підприємства шляхом розробки системи захисту	08.12.2025 – 13.12.2025
2	Розділ 2. Реалізація запропонованої системи захисту	15.12.2025 – 27.01.2026
3	Розділ 3. Економічне обґрунтування запропонованої системи захисту	29.12.2025 – 03.01.2026
4	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	05.01.2026 – 10.01.2026
5	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	12.01.2026 – 17.01.2026
6	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	19.01.2026 – 24.01.2026
7	Рецензування завершеної роботи. Захист	26.01.2026 – 30.01.2026

Здобувач

(Олександр ЛУК'ЯНЕНКО)

Керівник роботи

(Юрій ПАПАЇКА)

АНОТАЦІЯ

Лук'яненко О.С. Модернізація системи релейного захисту закритого розподільчого пристрою 6 кВ з метою підвищення надійності електропостачання. (66 сторінок машинописного тексту, 23 рисунки, 6 таблиць, 12 використаних джерел). – Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». ОПП «Енергоефективні технології в системах електрозабезпечення гірничих та металургійних підприємств» - ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Об'єктом дослідження в даній роботі є засоби релейного захисту на підстанціях гірничо-видобувного підприємства «ПІВНІЧНИЙ ГЗК».

Предметом дослідження в даній роботі є система релейного захисту високовольтного електрообладнання потужних промислових споживачів на підстанції рудничозбагачувальної фабрики №1 «ПІВНІЧНОГО ГЗК».

Мета дослідження – підвищення рівня надійності роботи електрообладнання закритого розподільчого пристрою 6 кВ.

В першому розділі роботи було проаналізовано діючий захист електрообладнання на пристроях електромеханічних реле, його слабкі та сильні сторони, альтернативу даним реле, в якості яких було досліджено мікропроцесорні пристрої захисту. Також було розглянуто види коротких замикань та характерні пошкодження електрообладнання.

Описано чому необхідно впровадження пристроїв мікропроцесорного захисту на підстанціях РЗФ-1. Враховано основні вимоги, що висуваються до мікропроцесорних пристроїв, умови по технічному обслуговуванню та особливості використання в ЗРП-6 кВ на РЗФ-1.

У другому розділі роботи виконано розрахунки струмів КЗ в мережі, проведено розрахунки максимальних навантажень споживачів, за розрахунковими параметрами обрано високовольтні вимикачі, трансформатори струму та кабельні лінії приєднань ЗРП-6 кВ. Було розраховано також живлення споживачів власних потреб ЗРП-6 кВ на стороні 0,4 кВ, та обрано відповідні ТВП. Далі було проведено розрахунок захисту та вибір уставок з часом спрацювання для ввідного

та секційного вимикача, потужних синхронних та асинхронних двигунів, а також для трансформаторів 6/0,4 кВ.

У третьому розділі виконано економічні розрахунки з порівнянням техніко-економічних параметрів мікропроцесорних та електромеханічних реле з метою економічного обґрунтування впровадження сучасних цифрових терміналів та підвищення надійності роботи електрообладнання.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати досліджень магістерської роботи доповідалися, обговорювалися та одержали позитивні відгуки на міжнародній і 2-х всеукраїнських конференціях, у тому числі

1. Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції Автоматизація та біомедичні і комп'ютерні технології. Дніпро, 26 березня 2025 р.

ВИМИКАЧ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, ЦИФРОВИЙ ТЕРМІНАЛ,
СИНХРОННИЙ ДВИГУН, ТРАНСФОРМАТОР СТРУМУ, РЕЛЕЙНИЙ
ЗАХИСТ, НАПРУГА, УСТАВКИ ЗАХИСТУ.

Зміст

ВСТУП	4
1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ З ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ШЛЯХОМ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ	6
2. РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ.....	41
2.1 Розрахунки нормальних та аварійних електричних режимів на шинах 6 кВ закритого розподільчого пристрою.....	41
2.2 Розрахунок та вибір уставок релейного захисту на терміналах	49
2.3 Дослідження режимних параметрів системи на математичній моделі	58
3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ.....	60
4. ВИСНОВКИ	64
5. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	66

ВСТУП

Сучасна електроенергетична система, до складу якої входять електричні мережі гірничо-видобувних та металургійних підприємств відноситься до складних динамічних систем. Складність її визначається кількістю електроустановок (трансформаторів, ліній, двигунів, електровозів), різних схем первинних (головних) та вторинних (вимірювальних, контрольних, та ін.) електричних приєднань та багатьма особливостями технологічного процесу в електроенергетичній системі.

Однією з особливостей режимів роботи електричної мережі промислових підприємств є велика швидкість розповсюдження електромагнітних збурень в електричних мережах, для ліквідації аварій в котрих повинні використовуватися тільки автоматичні пристрої.

Перехідні процеси в елементах електричних мереж часто супроводжуються відхиленнями параметрів електроенергії від допустимих значень параметрів нормальних режимів роботи.

Найпоширенішим ненормальним режимом є перевантаження обладнання, що викликане збільшенням струму вище номінального значення. Коли струм перевищує ці значення то виділяється додаткове тепло, температура струмоведучих частин збільшується і це зношує та руйнує ізоляцію електрообладнання.

Для попередження пошкодження електрообладнання при перевантаженні необхідно виконати заходи для розвантаження або відімкнення частини споживачів. Небезпечно для ізоляції підвищення напруги може виникнути при односторонньому відключенні або включенні лінії великої протяжності, що має велику ємкісну провідність. При зниженні частоти та напруги відбувається порушення нормальної роботи споживачів та стійкість енергосистеми.

Для забезпечення нормальної роботи електрообладнання необхідно як можна скоріше виявити та відділити місце пошкодження від непошкоджених ділянок, відновлюючи таким чином нормальну роботу споживачів. В цьому випадку необхідне впровадження ефективних автоматичних пристроїв, що виконують певні операції з захисту електричних елементів від небезпечних наслідків пошкоджень та ненормальних режимів. Ліквідацію аварійних режимів виконують пристрої релейного захисту (РЗ).

В процесі аварійних подій, що відбуваються після спрацювання релейного захисту, визначальним є швидке та точне оцінювання подій аварійного режиму та прийняття правильного рішення для відновлення схеми електричної мережі в після аварійному режимі.

Як було зазначено вище, метою цієї роботи є досягнення високого рівня надійності, що досягається за рахунок впровадження сучасних пристроїв мікропроцесорного захисту.

Публікації. За результатами виконаних у дисертаційній роботі досліджень опубліковано 6 статей у журналах, збірниках наукових праць і матеріалів науково-технічних конференцій:

1. Khilov, V. S., Dyfort, V. V., & Pavlyshyn, O. Y. (2025). Construction principles of roller-bit drilling rigs drive systems for Kryvyi Rih quarries. *Scientific Journal of Metinvest Polytechnic. Series: Technical sciences*. DOI: 10.32782/3041-2080/2025-4-18

1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ З ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ШЛЯХОМ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ

Особливості режимів роботи електричних мереж. Для електроенергетичних систем, що володіють властивостями безперервності та швидкоплинності перехідних процесів, оцінка подій роботи релейного захисту повинна виконуватися автоматично з застосуванням сучасних засобів мікропроцесорної техніки в складі Smart Grid.

Тут велике значення має наявність інформації про передісторію вимикачів, об'ємах та статистики релейного захисту. Особливе значення для прийняття рішень має аналіз роботи логічної частини РЗ, яка повинна забезпечувати спрацювання за вимогою та не спрацьовувати при зовнішніх пошкодженнях або при їх відсутності.

Тобто, для надійного оперативного відновлення схеми електричних мереж в процесі аварійного режиму та після нього необхідно володіти інформацією про конфігурацію схеми, увімкнених та відімкнених ланцюгах, об'ємах РЗА, колах з пошкодженнями що виникли, відмов основного та резервного захисту, надмірних та помилкових спрацювань релейного захисту, неправильних дій вимикачів та блокувань захисту та автоматики.

В цілому, функції та склад автоматичних пристроїв розподільчих електромереж в концепції Smart Grid суттєво збільшуються. Вдосконалюється автоматизація цілого ряду технологічних операцій, зростає об'єм обміном інформації про стан об'єктів керування, з'являється необхідність координації суміжних об'єктів електричної мережі.

Всі ці фактори визначають необхідність інтеграції всіх пристроїв релейного захисту та автоматизації в єдину автоматизовану систему управління технологічними процесами (АСУ ТП ПС) при широкому обміні інформацією про стан електричних частин електроенергетичної системи.

Можливість створення АСУ ТП ПС на базі концепції Smart Grid визначається прогресом нових технологій в релейному захисті, протиаварійній автоматизації, керуванні та контролі стану обладнання та інших пристроях з автоматичних функціонуванням.

Пошкодження та аномальні режими роботи електроенергетичних мереж на підприємстві. В електроенергетичних мережах можуть виникати як пошкодження, так і аномальні режими роботи.

Пошкодження є аварійними режимами, вони можуть призвести до появи значних струмів та глибокого зниження напруги на шинах підстанцій. Високі значення струму можуть викликати руйнування в місці пошкодження та небезпечне нагрівання проводів. Зниження

напруги порушує нормальну роботу споживачів електроенергії та стійкість паралельної роботи підстанцій енергосистеми.

Анормальні режими не є аварійними, вони лише призводять до відхилення напруги, струму та частоти від допустимих значень. При зниженні частоти та напруги створюється небезпека порушення нормальної роботи споживачів та стійкості енергосистеми, а при підвищенні напруги та струму призводить до пошкодження електрообладнання.

Для зменшення руйнувань в місці пошкодження та забезпечення нормальної роботи непошкодженої частини електрообладнання необхідно швидке відключення пошкодженої ділянки.

Небезпечних наслідків можна запобігти за рахунок своєчасного прийняття відповідних заходів по їх усуненню, а при необхідності – відключення електрообладнання.

На появу пошкоджень та анормальних режимів реагує релейний захист, котрий виявляє їх та діє при пошкодженнях на відключення, а при анормальних режимах – на сигнал або на відключення.

Таким чином, релейний захист є основним видом електричної автоматики, без якої неможлива робота енергосистем та електричних мереж.

Види коротких замикань. Основною причиною пошкоджень та виходу електрообладнання з ладу є короткі замикання. Причинами виникнення КЗ можуть бути порушення ізоляції електрообладнання внаслідок його зносу або перенапруг, помилкові дії оперативного персоналу, перекриття ізоляторів при їх сильному запиленні, порушення ізоляції потраплянням птахів та звірів в діюче електрообладнання.

Під час КЗ внаслідок збільшення струму виникає падіння значень напруги в елементах енергосистеми, що призводить до зниження напруги в усіх точках мережі.

Види коротких замикань:

- трифазні КЗ. При трифазному КЗ всі три фази замикаються між собою в одній точці. Трифазне КЗ – найбільш важкий вид пошкодження, що викликає появу найбільших струмів КЗ. Дане КЗ є розрахунковим при визначенні максимального значення струму КЗ;
- двофазні КЗ. Струми даного КЗ містять тільки складові прямої та зворотної послідовності;
- двофазні замикання на землю. Містять складові прямої, зворотної та нульової послідовності. Двофазне КЗ на землю є найбільш тяжкими після трифазного КЗ для споживачів електроенергії;
- однофазні замикання на землю. Зустрічаються найчастіше. В мережі з ізолюваною нейтраллю при номінальній напрузі 6 кВ

робота мережі вважається допустимою якщо струм у місці замикання на землю не перевищує 30 ампер. Струм замикання на землю в мережі з ізольованою нейтраллю містить складові прямої, зворотної та нульової послідовності, та має невелике значення, що визначається ємністю проводів мережі відносно землі.

Анормальні режими роботи електрообладнання. До анормальних режимів роботи електрообладнання відносять:

- перевантаження обладнання;
- підвищення напруги вище допустимого значення;
- відхилення від нормальних параметрів електричної мережі.

Аналіз діючої системи релейного захисту на підстанціях комбінату. Основним призначенням релейного захисту є виявлення місця короткого замикання і швидке автоматичне відключення ушкодженого електрообладнання або ділянки мережі від іншої неушкодженої частини електричної установки або мережі. Крім ушкоджень електрообладнання, можуть виникати різні порушення нормальних режимів роботи, такі як перевантаження, однофазні замикання на землю, міжфазні замикання та ін.

Іншим основним призначенням релейного захисту є виявлення порушення під час експлуатації та роботи устаткування і попередження обслуговуючого персоналу, а також відключення електрообладнання з певним проміжком часу.

В переважній більшості для захисту споживачів на підприємствах виконують встановлення основного та резервного захисту. Основний захист буде спрацьовувати при коротких замиканнях в зоні всього елемента з часом, нижчим ніж у інших захистах, а резервний захист спрацює в разі відмови основного або виводу його з роботи.

При експлуатації релейний захист з різних причин може не виконати свої основні функції. Наприклад, може бути відмова спрацювання в необхідній зоні захисту при пошкодженні або короткому замиканні електрообладнання. Також можливе надмірне спрацювання, тобто релейний захист відпрацює при зовнішніх коротких замиканнях в мережі, або помилкове – при відсутності будь-яких пошкоджень на приєднаннях.

Всі ці помилкові дії називають відмовою функції спрацювання. Тому х метою обмеження відмови функціонування захист повинен володіти відповідними властивостями. Основні з них це селективність, швидкодія, стійкість та надійність.

Елементи пристроїв релейного захисту. В залежності від елементної бази пристрої релейного захисту можна розділити на апаратні та програмні. Апаратні пристрої складаються з окремих взаємодіючих елементів. Вони виконуються на основі електромеханічних або напівпровідникових елементах.

В пристроях релейного захисту можна виділити вимірювальну, логічну, виконавчу та передавальну частини. Вони в свою чергу складаються з аналогових та дискретних елементів.

Режим нейтралі на підстанціях 6 кВ РЗФ-1. На підстанціях РЗФ-1 використовується режим з ізольованою нейтраллю. В цьому режимі нейтраль трансформатора ізольована від «землі» (рис.1.1 а). В цьому режимі нейтралі струм, що протікає через місце пошкодження між фазою та «землею» визначається ємкостями та активними опорами фаз відносно «землі». Ємкісні опори є набагато нижчими за активні опори [1].

В нормальному режимі роботи (рис.1.1 б) під дією напруг джерела живлення мережі протікають ємкісні струми I_{AE} , I_{BE} , I_{CE} випереджуючи відповідні напруги на кут $\pi/2$ та в сумі отримуємо $I_{AE} + I_{BE} + I_{CE} = 0$.

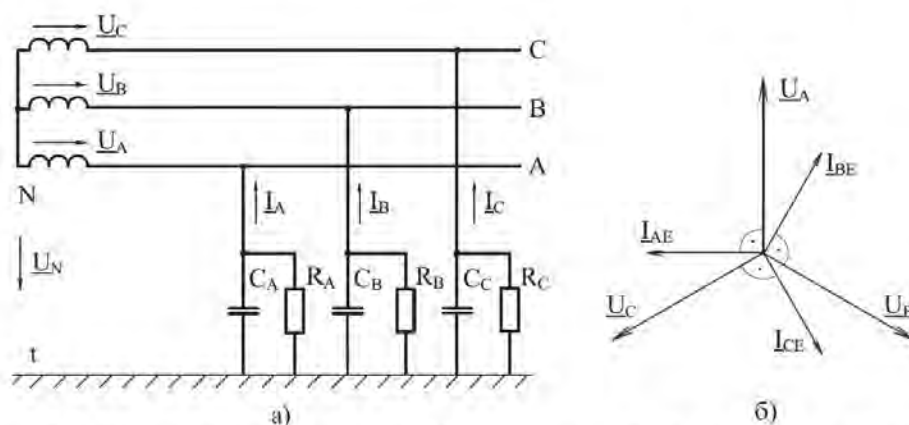


Рисунок 1.1. Нормальний режим роботи в мережі з ізольованою нейтраллю

При однофазному замиканні на землю, наприклад, фази А (рис.1.2) напруга на пошкодженій фазі відносно землі стає рівною нулю $U_{At} = 0$, напруги неушкоджених фаз U_{Bt} та U_{Ct} відносно землі зростають в $\sqrt{3}$ раз досягаючи лінійних значень, а напруга нейтралі зростає до фазного значення $U_N = U_A$.

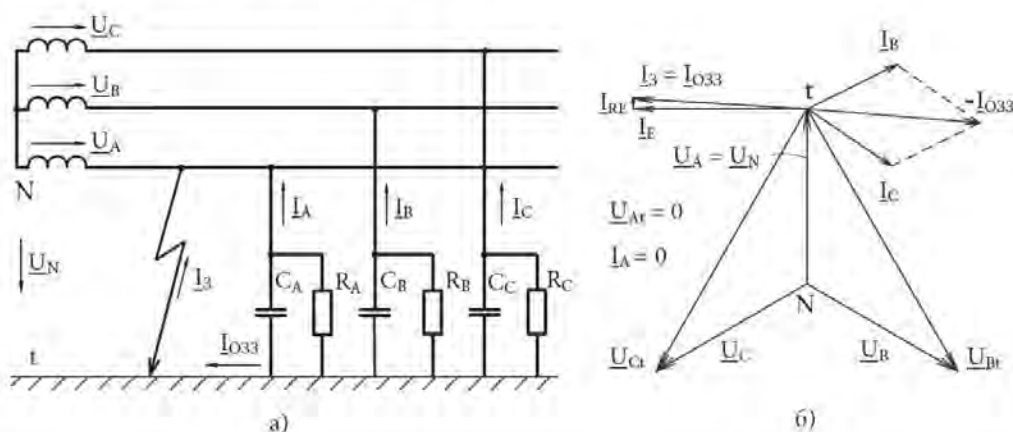


Рисунок 1.2. Режим однофазного замикання в мережі з ізольованою нейтраллю

При незначних значеннях струму пошкодження немає необхідності в негайному усуненні цієї несправності і це є особливою перевагою даного виду нейтралі електричної мережі – збереження та забезпечення безперервної роботи споживачів.

Найпоширенішим пошкодженням в мережі з ізолюваною нейтраллю є однофазне замикання на землю (60-65% пошкоджень). Рідше зустрічаються дво- та трифазні короткі замикання.

Використання традиційних реле на підстанції підприємства.

Більшість пристроїв релейного захисту на підстанціях комбінату виконані на аналогових електромеханічних і статичних реле. На долю цифрового мікропроцесорного захисту припадає менший відсоток використання (не більше 20%). Багаторічний досвід використання електромеханічних реле показав що під час їх експлуатації витрачається багато часу та трудовитрат на їх обслуговування та налаштування. Поряд з цим для електромеханічних реле захисту характерні й деякі інші суттєві недоліки, які перешкоджають або суттєво ускладнюють модернізацію енергетичних мереж. До таких недоліків відносять:

- великий час усунення міжфазних коротких замикань, особливо на головних ділянках, тобто поблизу джерел живлення, через високі значення рівнів селективності;
- відсутність ефективного релейного захисту від однофазних замикань на землю;
- труднощі у виконанні пристроїв для автоматичної заміни уставок спрацювання релейного захисту при раптовому змінненні режиму живлення електричної мережі.

З однієї сторони пристрої релейного захисту, виконані на електромеханічних основі зарекомендували себе як надійні пристрої захисту електрообладнання, але сьогодишнє функціонування електропостачання на виробництві диктує нові вимоги.

На підстанціях рудничозбагачувальної фабрики №1 в переважній кількості використовуються електромеханічні реле. За принципом дії можна виділити наступні з них:

- електромагнітні;
- магнітоелектричні;
- індукційні;
- електротеплові.

Використання електромагнітних реле на виробництві.

Широкого розповсюдження та впровадження набули саме реле, які працюють за електромагнітним принципом (рухомий якір притягується до електромагніту). Хід якоря може відрізнятися поворотним, поперечним та прямохідним рухом.

Одним з розповсюджених реле електромагнітного типу можна назвати реле струму серії РТ-40 та реле напруги РН-50.

На підстанціях комбінату використовують реле струму РТ - 40/20, що влаштовано в кола захисту ввідних вимикачів, а саме використовуються в колах максимального струмового захисту, тобто їх дія спрямована на відмикання приводу вимикача через додаткові проміжні реле.

Також використовуються реле мінімальної напруги РН – 54/160, які конструктивно виконані так само як і реле серії РТ – 40. Реле струму типу РТ-40 (рис.1.3) має наступні параметри:

- споживна потужність при мінімальній уставці – 0,2-8,0 В·А;
- коефіцієнт повернення – 0,80-0,85;
- власний час спрацювання реле при
- максимальний струм спрацювання – 40 А;

- 1 – рухомий контакт
- 2 – якір
- 3, 5 – обмотки
- 4 – електромагніт
- 6 – пружина

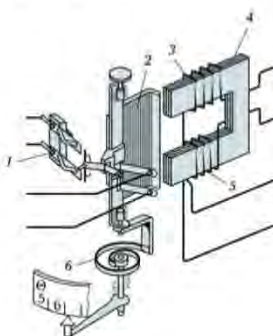
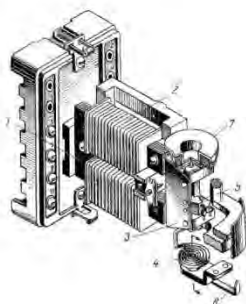


Рисунок 1.3. Струмове електромагнітне реле РТ-40



- 1- Стальне осердя
- 2- Котушка
- 3- Якір
- 4- Пружина
- 5- Рухомий контакт
- 6- Важіль
- 7- Гасник вібрації

Рисунок 1.4. Основні елементи реле типу РН-50

Реле напруги серії РН-50 (рис.1.4) схоже за конструкцією на реле струму РТ-40. Відмінність заключається лише в тому, що реле напруги не має механічного гасіння вібрації якоря. Вмикаючи обмотку реле на напругу мережі через ТН, отримуємо реле, що реагує на напругу цієї мережі.

Коли якір реле рухається, зміна повітряного зазору не викликає зміни магнітного потоку. В цьому є важлива відмінність реле напруг від струмових реле.

Це реле спрацьовує при підвищенні, зниженні або при повній відсутності напруги. Для зниження вібрацій рухомої системи обмотка реле може вмикатися в кола напруги через випрямляч.

Напруга спрацювання реле серії РН-50 не завжди дорівнює напрузі уставки. Це пов'язано з поганим калібруванням. При налаштуванні необхідно усувати цю проблему змінюючи зусилля натягу пружини.

Також на підстанціях комбінату широко застосовуються проміжні реле типу РП-23. Ці реле є допоміжними та використовуються для виконання логічних операцій, що не вимагають витримки часу, або при необхідності, відносно невеликої витримки.

Такі реле використовуються, коли необхідно одночасно замикати або розмикати декілька незалежних кіл або коли необхідно реле з потужними контактами для замикання або розмикання кіл з великим струмом.

Схеми включення проміжних реле показані на рис.1.5. За способом увімкнення розділяють на реле паралельного (рис.1.5, а) та послідовного (рис.1.5, б) з'єднання. Обмотки перших вмикаються на повну напругу джерела живлення, а других – на струм кола послідовно з котушкою електромагніту відключення YAT вимикача або іншого апарату чи реле.

Крім того, є реле з додатковими утримуючими котушками (рис.1.5, в), наприклад, реле паралельного увімкнення з утримуючою обмоткою, що вмикається послідовно в керуюче контактами реле коло.

Реле спрацює від короткочасного імпульсу, поданого в паралельно увімкнену обмотку KL1, та зостанеться в відпрацьованому стані доки не відімкнеться вимикач Q. Контакти KL.1 замкнуться коли обмотка KL1 отримає живлення, а потім утримуються в замкнутому положенні обмоткою KL2 до роз'єднання контактів SQ вимикача Q.

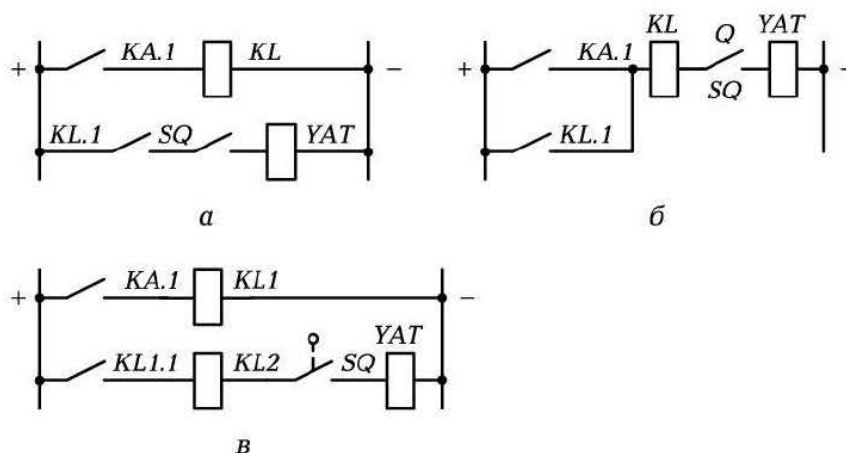


Рисунок 1.5. Схеми включення проміжних реле в кола захисту

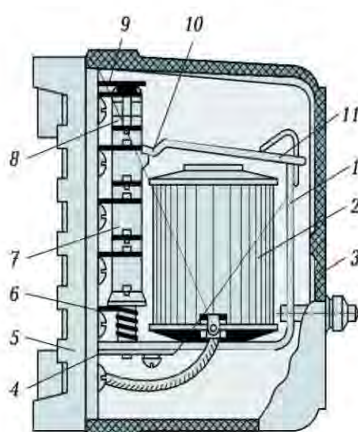
Елементи схеми:

- KA – контакти струмового реле;
- KL – обмотка проміжного реле;
- KL.1 – контакт проміжного реле;
- KL1, KL-2 – відповідно паралельна та послідовна обмотки проміжного реле з додатковою утримуючою котушкою;
- KL.1.1 – контакти в колі обмотки KL2;
- SQ – контакти вимикача;
- YAT – електромагніт відключення.

Найбільш розповсюджені проміжні реле, що працюють без уповільнення, вони мають клапанний тип з поворотним якорем, що притягується до магнітопроводу. Проміжні реле мають низький коефіцієнт повернення ($k_p = 0,1-0,4$). За умовами роботи відпускання реле виконується після відключення від джерела живлення.

Основним проміжним реле постійного струму, що використовується на підстанціях комбінату є реле типу РП-23, час спрацювання яких складає близько 60 мс, та реле РП-250 з уповільненням на спрацювання або повернення. Напруга спрацювання цих реле складає $0,7 U_{ном}$, а повернення – $0,03-0,05 U_{ном}$.

Проміжне реле типу РП-23 (рис.1.6) складається з електромагніту 1 з обмоткою 2, якорю 11 з хвостовиком 10, нерухомих контактів 8, рухомої контактної системи 7, зворотної пружини 6, упору 9, регулюючої пластини 4. Всі елементи закріплюються на цоколі 5 та закриваються кожухом 3. При подачі напруги на обмотку реле якір 11 притягується електромагнітом та хвостовиком 10 переміщує донизу рухому контактну систему 7, перемикаючи контакти реле.



- 1 – електромагніт
- 2 – обмотка
- 3 – кожух
- 4 – регулююча пластина
- 5 – цоколь
- 6 – зворотна пружина
- 7 – рухома контактна система
- 8 – нерухомі контакти
- 9 – упор
- 10 – хвостовик якоря
- 11 – якір

Рисунок 1.6. Основні елементи проміжного реле типу РП-23

Реле РП-23 виготовляють на різні напруги, наприклад, 24, 48, 110 та 220 В. Споживна потужність складає біля 6 Вт.

Також розповсюджені на підприємстві електромагнітні реле типу РУ-21(рис.1.7). Ці реле випускаються на широкий діапазон струмів та напруг. При паралельному підключенні вони контролюють правильність функціонування захисту, а при послідовному – справність в колах контролюючого елемента.



Рисунок 1.7. Вигляд реле РУ-21 та його контактів

Основною вимогою до вказівних реле є зберігання інформації про факт їх спрацювання після зняття сигналу. При появі струму в обмотці якоря реле притягується та звільняє прапорець, який падає під дією своєї ваги, займаючи вертикальне положення. Повернення прапорця у вихідне положення виконується кнопкою. Реле відпрацьовує протягом 50 мс.

Електромагнітні реле часу. Призначені для створення витримки часу в схемах захисту, тобто для уповільнення дії пристроїв релейного захисту при передачі сигналів до інших реле логічної частини.

Основна вимога до даних реле – точність. Витримка часу не повинна залежати від можливих коливань оперативної напруги. Реле почне спрацьовувати починаючи з напруги $0,8 U_{ном}$. Споживна потужність таких реле складає 20-30 Вт, або навіть більше.

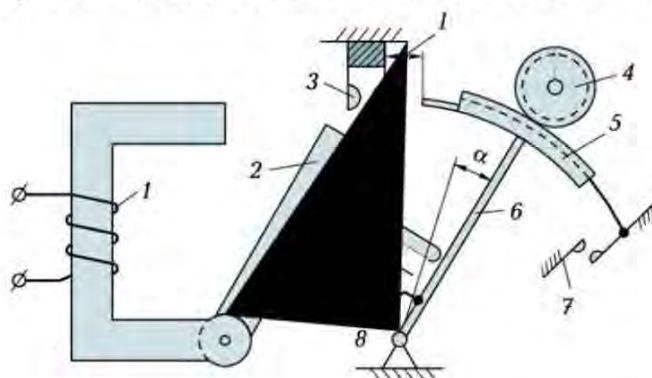


Рисунок 1.8. Принцип дії реле струму

При появі струму в обмотці 1 (рис.1.8) якорь 2 миттєво втягується, звільняючи важіль 6 із зубчастим сегментом 5. Під дією пружини 8 важіль 6 переходить до руху, який не являється вільним, так як

гальмується спеціальним пристроєм витримки часу 4. Через деякий час спрацювання важіль 6 перемістившись на деякий кут замикає контакти 3 реле. Таким чином воно спрацювує з витримкою часу.

Основним елементом часового механізму є анкерний пристрій. При зникненні струму в реле якір та важіль 6 повинні миттєво повернутися у вихідне положення під дією пружини 9. Це забезпечується за допомогою храпового механізму, що володіє вільним розщепленням при зворотному ході сегменту 5.

Регулювання витримки часу виконується зміною кута шляхом переміщення контактів 3 реле. Котушка реле не розрахована на тривале проходження струму. Тому реле виконують з додатковим резистором.

Основним недоліком даних реле є значне споживання потужності, а також можливість відмови, оскільки при КЗ напруга оперативного змінного струму може виявитися меншою за напругу спрацювання.

Індукційні реле. Робота індукційних реле заснована на взаємодії змінних магнітних полів нерухомих обмоток зі струмами, індукованими цими полями в рухомій системі реле (диску). Тому за індуктивним принципом можуть виготовлятися реле тільки змінного струму. За таким принципом створюються вимірювальні реле струму та реле направлення потужності.

Неодмінною умовою отримання обертового моменту на рухомій частині індукційної системи є наявність не менше двох магнітних потоків, зсунутих в просторі.

Таким чином, для отримання обертового моменту необхідний зсув по фазі між потоками на заданий кут.

Розглянемо одне з найпоширеніших реле індукційного типу – а саме РТ-80. Воно також має електромагнітний принцип – реле з обертовим якорем.

Дані реле використовують на виробництві вже більше 50 років, та за допомогою них будують захисти високовольтних ліній, силових трансформаторів та високовольтних двигунів при КЗ та при перевантаженні.

Реле РТ-80 складається з електромагніту 1 (рис.1.9) з короткозамкнутими витками 2, та рухомого диску 7. При появі струму в обмотці 20, що має відпайки, з'являється електромагнітна сила, що діє на диск 7, котрий обертається на вісі в підшипниках, встановлених на нерухомій рамці 11. Рамка 11 має вісь обертання 6, закріплену на корпусі реле. Пружина 5 притягує рамку до упору 4. На вісь диску насаджений черв'як 10, що обертається разом з віссю та диском. Черв'як 10 та зубчастий сегмент 9, керуючий роботою контактів 14 реле, нормально розчеплені. Для дії реле необхідно, щоб черв'як

зчепився з зубчастим сегментом та підняв його до замикання контактів реле.

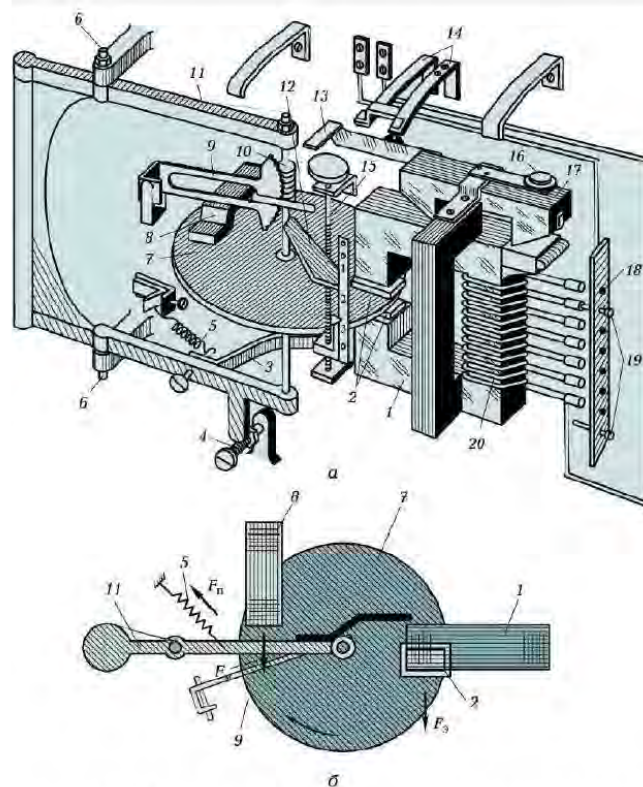


Рисунок 1.9. Основні частини струмових реле РТ-80

На рухому систему (рамку та диск) діє електромагнітна сила, що прагне перемістити рамку. Цій силі протидіє сила пружини 5, притискаючи рамку 11 до упору, та сила взаємодії магнітного потоку постійного магніту 8 та потоків електромагніту 1.

При оберті диску рамка 11 переміщується зчіплюючи черв'як 10 з зубчастим сегментом. Важіль сегменту підіймає коромисло 13, замикаючи при цьому контакти 14 реле. При підйомі коромисла зменшується повітряний зазор між якорем 17 та електромагнітом 1. Якір притягується до електромагніту забезпечуючи щільне замикання контактів.

Струм спрацювання регулюється зміною числа витків обмотки 20 реле за допомогою штепселя 19, переставляємого в гніздах планки 18. Час дії реле регулюється зміною початкового положення сегменту 9 гвинтом 15.

Для усунення вібрації якоря при спрацюванні елементу встановлений коротко замкнутий виток.

Недоліком реле РТ-80 є відносно велике споживання потужності. До переваг можна віднести його багатофункціональність, так як воно може використовуватися як вимірвальний орган з двома ступенями захисту (миттєвої та з витримкою часу), а також як логічний та виконавчий орган релейного захисту.

Ці реле мають непоганий коефіцієнт повернення, невеликі похибки за струмом та часом спрацювання.

Необхідність впровадження мікропроцесорних пристроїв релейного захисту на підстанціях комбінату. При дослідженні пристроїв на електромеханічній основі постало питання доцільності їх використання та перспектив подальшого впровадження та експлуатації мікропроцесорних пристроїв релейного захисту на підстанціях комбінату.

З кожним роком застарілі електромеханічні реле вичерпують свій ресурс. В цьому випадку постає питання – на що змінювати дані пристрої?

Електромеханічні реле в основному сприймають лише два параметри: величину напруги та струму в мережі. Тоді як мікропроцесорні пристрої захисту володіють функціями постійного моніторингу, самодіагностики та запам'ятовуванням багатьох даних (векторні діаграми, осцилограми що відображають величини струмів коротких замикань та перепадів напруги в мережі в аварійному режимі з можливістю відображення точного часу).

Перехід на мікропроцесорні реле також може бути виправданий своєю багатофункціональністю, компактністю та можливістю отримати в реальному часі інформацію про стан електрообладнання та необхідних параметрів мережі. Також збільшується доступність та широкий асортимент даних пристроїв захисту.

Більшість електромеханічних реле експлуатуються на підприємстві протягом майже 50 років, при тому що вони мають термін служби максимум 25 років.

Однією з основних чотирьох задач релейного захисту є надійність, але як пристрої, що пропрацювали на підстанціях у важких умовах з урахуванням агресивного середовища на виробництві можуть гарантувати хоча б необхідний відсоток надійності спрацювання (85-90%) ?

Враховуючі рівень зносу електромеханічних реле в них починають знижуватися характеристики правильного спрацювання, що відбувається внаслідок погіршення контактів реле, що відображається в наступному:

- погіршення властивостей пружин;
- механічне зношування;
- зварювання (залипання) контактів;
- зниження опору ізоляції;
- забруднення промисловим пилом та брудом;
- електричне наплавлення (ерозія).

Нажаль повністю усунути ці проблеми неможливо, але можна врахувати ці моменти та своєчасно замінити застаріле реле не чекаючи повної відмови під час експлуатації.

Для того, щоб повністю запобігти даним проблемам на підстанціях комбінату доцільно використовувати мікропроцесорні реле захисту.

Вони допоможуть вирішити наступні питання:

- 1) Отримання даних при відключенні електрообладнання. В функціоналі мікропроцесорних пристроїв захисту є можливість дізнатися причину, дату та час відключення, величини струмів короткого замикання та просадки напруги, відображення векторних діаграм.
- 2) Можливість швидкої зміни параметрів уставок. Під час експлуатації електромеханічних реле для того щоб налаштувати струм спрацювання, необхідно витратити час на пошук струмових кіл вторинного обладнання та приєднання до них пристроїв налаштування параметрів релейного захисту. На пристроях мікропроцесорного захисту дані налаштування займають не більше кількох хвилин. Це досягається шляхом введення необхідних уставок через натискання на спеціальні клавіші біля цифрового дисплею, або під'єднанням ноутбука через спеціальний роз'єм та налаштування через спеціальне програмне забезпечення.
- 3) Висока чутливість. Досягається завдяки використанню форм спрацювання побудованих на логічній схемі, яку неможливо реалізувати на електромеханічному реле.
- 4) Висока точність відтворення заданих характеристик. В даних пристроях мінімальна похибка вимірювань для забезпечення точності спрацювання по заданим уставкам. Апаратна похибка може досягати до 2%. Основним параметром вимірювальних органів захисту є коефіцієнт повернення. В даних пристроях може досягати цифри в 0,99. Досягнення такого значення на інших реле є дорогим та не практичним рішенням.
- 5) Відносно проста експлуатація. При виконанні технічного обслуговування фізично відсутні зайві складові елементи, які є в електромеханічних реле. Це суттєво зменшує час налаштування мікропроцесорних пристроїв.
- 6) Компактність. Досягається шляхом заміни великої кількості електромеханічних реле одним пристроєм мікропроцесорного захисту. Також є доцільним використання мікропроцесорних терміналів захисту, коли в комірках відсіку релейного захисту обмежений простір для встановлення, особливо коли для живлення споживачів напругою з номіналом 6 кВ використовують малогабаритні комірки, в яких не зручно виконувати монтаж вторинних кіл.
- 7) Зменшення рівнів селективності. На електромеханічних реле час

ступеню селективності буде дорівнювати приблизно 0,5 секунд та визначатися витримкою часу захисту та часом відключення вимикача. В той час як на мікропроцесорних терміналах разом з використанням сучасних вакуумних вимикачів час ступеня селективності буде меншим і дорівнюватиме приблизно 0,2 секунди, що дозволить більш гнучко налаштувати систему. Це буде мати перевагу, так як при використанні електромеханічних реле цю ступінь перевищити неможна. Як наслідок зменшується час на ліквідацію аварійної ситуації.

- 8) Визначення відстані до місця короткого замикання. Можливість використання на кабельних лініях 6 кВ розподільчих мереж. Мікропроцесорні реле захисту визначають відстань до місця пошкодження лінії (принцип рефлектометра) та порівнюють з загальною довжиною.
- 9) Самодіагностика. Періодично здійснюється контроль надійності роботи кіл та цифрових елементів. В разі виявлення невідповідності видається повідомлення. Це важливо, так як персонал що обслуговує дану електроустановку буде проінформований про можливу аварійну ситуацію.
- 10) Незначне споживання енергії та невелике навантаження на вимірювальні трансформатори напруги та струму (потужність становить не більше 0,5 В·А. Можна під'єднати до вимірювальних кіл більше пристроїв захисту.

Але не зважаючи на всі переваги мікропроцесорні термінали мають також і свої недоліки:

- 1) Відносно висока вартість пристроїв зарубіжних компаній. Сюди входять експлуатаційні витрати, купівля необхідного програмного забезпечення та навчання персоналу, що буде налагоджувати та експлуатувати дані пристрої. Обслуговуючий персонал зіткнеться зі складністю експлуатації мікропроцесорних пристроїв та необхідністю розуміння складних систем обробки інформації цифрових пристроїв захисту.
- 2) Суттєве зосередження функцій захисту на єдиному терміналі. Тобто, на цифровому пристрої зосереджені всі захисти споживача, і в разі несправності цього пристрою він фактично втрачає всі свої захисні функції, а це є неприпустимим для відповідальних споживачів електроенергії.
- 3) Електромагнітна сумісність. Мікропроцесорні реле більш вимогливі та чутливі, особливо до коливань частоти та напруги, що може вивести дані пристрої з ладу, навіть призвести до необхідності проведення ремонту.
- 4) Наявність справного заземлюючого контуру. Особливо це стосується мережі з ізольованою нейтраллю. Необхідно

ретельно підходити до проектування та плановим перевіркам за контурами заземлення на підстанціях.

5) Складність експлуатації мікропроцесорних пристроїв та необхідність розуміння складних систем обробки інформації.

З урахуванням вищезазначених вагомих переваг та певних недоліків, широкого розповсюдження, поступового здешевлення та різноманітного асортименту слід розглядати мікропроцесорні пристрої як необхідну заміну застарілим пристроям релейного захисту на електромеханічній основі.

В той же час необхідно використати комплексний підхід для вирішення питання переходу з електромеханічних на мікропроцесорні реле.

Треба усвідомлювати, що просто неможливо зробити різкий перехід з пристроїв однієї системи захисту на іншу.

Володіючи багаторічним досвідом використання та враховуючі всі переваги та недоліки електромеханічних реле буде слушним залишити на цих пристроях частину споживачів, як резервний вид захисту, де це буде раціонально та економічно вигідно.

Враховуючі переваги та недоліки мікропроцесорних терміналів з подальшим їх розвитком необхідно постійно слідкувати за ринком продажу даних пристроїв, вносити зміни в їх застосування з можливістю запобігання пошкоджень, збитків та виникненню аварійних ситуацій на підстанціях комбінату.

Дослідження роботи пристроїв мікропроцесорного захисту. Одним з основних способів підвищення надійності електропостачання на підстанціях комбінату є впровадження цифрових пристроїв релейного захисту.

В сучасному цифровому пристрої можуть бути поєднані різні функції:

- релейний захист від всіх можливих видів пошкоджень та ненормальних режимів роботи електроустановок;
- автоматичне увімкнення резервного джерела живлення;
- автоматичне відокремлення пошкодженої ділянки та інших автоматичних пристроїв керування в аварійному та після аварійному режимах;
- вимірювання та запис електричних величин;
- оперативне та програмоване керування комутаційними апаратами;
- визначення місця пошкодження на аварійно відключеній лінії та інше.

Дані цифрові пристрої називаються багатофункціональними. На відміну від традиційних пристроїв релейного захисту, виконаного за допомогою наборів окремих реле, здебільшого, з однією функцією

(реле струму, напруги, часу та ін.), при використанні цифрових пристроїв завдання релейного захисту вирішуються комплексно.

Окрім великих функціональних можливостей цифрові пристрої релейного захисту володіють такими властивостями, як безперервна автоматична самоперевірка, запам'ятовування подій, можливість дистанційного контролю та оперативної зміни налаштувань релейного захисту за допомогою ЕВМ та каналів зв'язку. Тобто, з'являється можливість переналаштування всього набору уставок релейного захисту при зміні первинної схеми електричної мережі.

Ці переваги цифрових пристроїв релейного захисту роблять їх найбільш перспективними для автоматизації розподільчих електричних мереж.

Отриманий раніше досвід використання цифрових пристроїв дозволяє зробити висновок про те, що затрати на встановлення та експлуатацію цих пристроїв компенсуються протягом декількох років тільки лише за рахунок зниження збитків у споживачів через недоотримання електроенергії і, відповідно, зменшення витрат на компенсацію цих збитків зі сторони постачальників електричної енергії. Використання цифрових пристроїв релейного захисту дає також додатковий економічний ефект завдяки суттєвому зниженню витрат на обслуговування, зменшенню зон та розмірів пошкодження електроустановок за рахунок швидкого усунення коротких замикань та здійснення профілактичних заходів захисту електрообладнання від небезпечних аварійних режимів.

Появу цифрових пристроїв релейного захисту не слід розглядати як сигнал до негайної та повної відмови від використання в електричних установках традиційних пристроїв електромеханічного та напівпровідникового виконання. При реконструкції електроустановок на основі техніко-економічних показників обирають варіант, що визначається терміном окупності.

Перехід на цифрові способи обробки інформації в пристроях релейного захисту значно покращив експлуатаційні якості РЗ. Сучасні цифрові пристрої, виготовлені різними фірмами, мають багато спільного, а їх характеристики дуже схожі.

Розглянемо схему, що пояснює принцип дії цифрового пристрою захисту [1]:

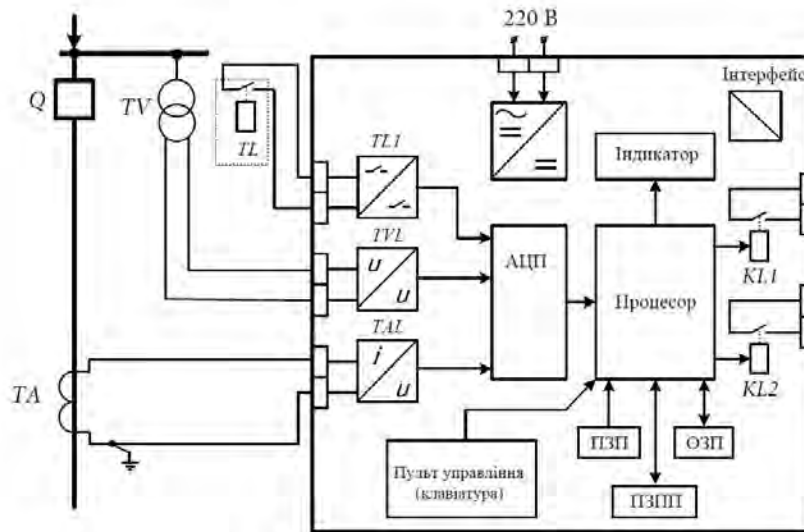


Рисунок 1.10. Структурна схема цифрового захисту

ТА – трансформатор струму;

TV – трансформатор напруги;

Q – вимикач;

KL – вихідне реле іншого пристрою;

TL1 – перетворювач бінарних сигналів;

TVL, TAL – вхідні перетворювачі аналогових сигналів (напруг та струмів);

АЦП – аналогово - цифровий перетворювач;

ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій;

ОЗП – оперативний запам'ятовувальний пристрій;

ППЗП – перепрограмовуваний запам'ятовувальний пристрій;

KL1, KL2 – вихідні реле.

Основним елементом цифрового захисту є процесор (рис.1.10), в якому реалізований алгоритм роботи конкретного захисту. Залежно від призначення пристрою та фірми виробника може бути застосований один процесор або декілька. Так, фірма ABB надає перевагу багато-процесорним системам, в яких кожен процесор виконує конкретні завдання алгоритму і ці процесори працюють паралельно. Це дозволяє забезпечити потрібну швидкість та точність. Інші фірми застосовують однопроцесорні системи, що вимагає для забезпечення потрібних характеристик застосування потужніших процесорів.

Враховуючи важкі умови експлуатації пристроїв релейного захисту (на багатьох підстанціях ці пристрої працюють у неопалювальних приміщеннях), застосовують спеціальні процесори так званого індустріального виконання, які можуть працювати за температури навколишнього середовища від -30°C до $+50^{\circ}\text{C}$, відносній вологості до 80%.

Процесор має зв'язок з об'єктом захисту через кола вводу –

виводу. Вхідною інформацією є, зазвичай, аналогові сигнали – струми, напруги, температура тощо та бінарні – положення комутаційних апаратів, стан вихідних реле інших пристроїв релейного захисту та автоматики тощо. Вихідними сигналами цифрових захистів, як і інших захистів, є традиційно бінарні сигнали. Ці сигнали поступають після спрацювання цифрового захисту в кола управління та в кола сигналізації керованих об'єктів електроенергетичної системи.

Перетворення аналогових сигналів. Контрольовані напруги та струми є неперервними в часі аналоговими сигналами і можуть приймати на фіксованому відрізку часу будь-які значення в межах, обумовленими режимом роботи електричної мережі. Цифрові пристрої захисту працюють не з аналоговими, а з дискретними (цифровими) сигналами, котрі можуть приймати на відміну від аналогових сигналів лише кінцеву множину значень для конкретних моментів часу.

Перетворення аналогових сигналів у дискретні називають дискретизацією або квантуванням. Пристрій, який здійснює це перетворення (рис. 1.10), називають аналого-цифровим перетворювачем (АЦП). Попередньо аналогові сигнали, які контролюються пристроями захисту, це струм від трансформатора струму ТА та напруга від трансформатора напруги TV, підводять до спеціальних вхідних перетворювачів (на схемі це TAL та TVL). Ці перетворювачі призначені для гальванічної розв'язки пристрою від зовнішніх кіл (трансформаторів струму та трансформаторів напруги), а також для отримання нормованої напруги на виході з подальшим її перетворенням АЦП в цифрові сигнали (рис. 1.10). На рис. 1.11 наведені принципові схеми вхідних перетворювачів струму та напруги (відповідно рис. 1.11, а) та рис. 1.11, б).

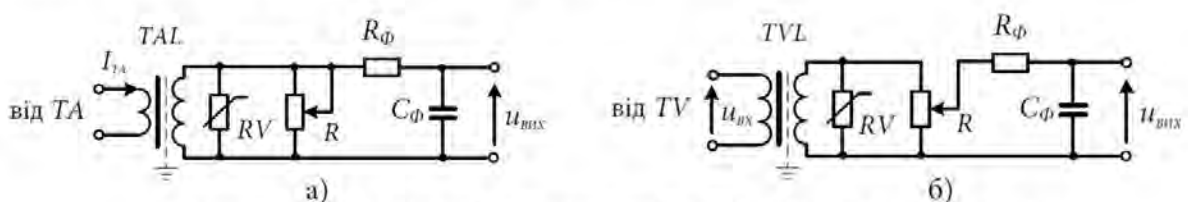


Рисунок 1.11. Вихідні перетворювачі на основі проміжних трансформаторів струму а) та напруги б)

Сигнали від трансформаторів струму ТА та напруги TV подають на первинні обмотки проміжних трансформаторів TAL та TVL. На вторинних обмотках цих трансформаторів відповідно струм та напруга перетворюються в напруги, пропорційні відповідно величині струму та напруги. Для того, щоб імпульсні сигнали, які можуть виникати у вторинних колах трансформаторів струму та напруги, не потрапляли в електронну частину цифрового пристрою та не пошкоджували його, між первинною та вторинною обмотками проміжних трансформаторів

TAL та TVL встановлюють заземлений екран. Для захисту електронних блоків цифрового пристрою від перенапруг паралельно до вторинних обмоток проміжних трансформаторів TAL та TVL встановлюють варистори RV. У деяких схемах для захисту застосовують стабілітрони. Для узгодження вторинної напруги на виході проміжних трансформаторів з вхідними сигналами пристрою АЦП слугують змінні опори R. Для правильної роботи АЦП необхідно унеможливити попадання на нього високочастотного спектра сигналу. Тому застосовують високочастотний фільтр, який виконаний на основі опору R_{ϕ} та ємності C_{ϕ} . Потрібно відзначити, що під час реалізації алгоритму функціонування захисту додатково здійснюється цифрова фільтрація сигналу (рис. 1.12).

У сучасних цифрових пристроях РЗА застосовують АЦП з частотою виборок до 2000 Гц, що відповідає 40 вибіркам за період промислової частоти 50 Гц. Пристрої з такою частотою виборок дозволяють контролювати вхідний сигнал з частотою до 1000 Гц. Це відповідає 20 гармоніці за основної частоти 50 Гц.

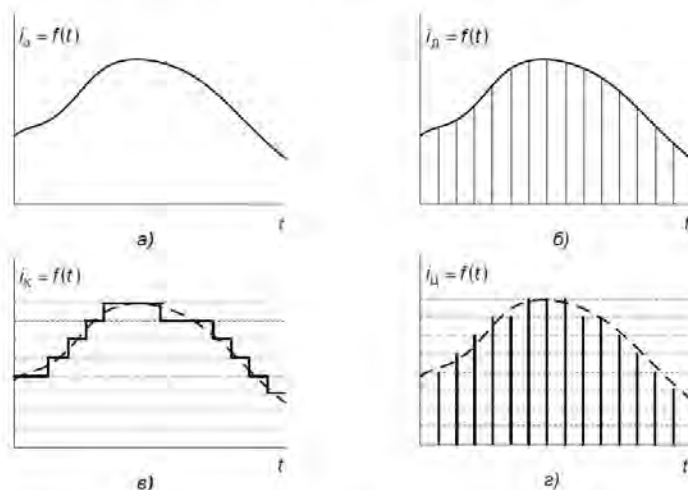


Рисунок 1.12 Сигнали: а - аналоговий, б - дискретний, в - квантовий, г - цифровий

Вхідні бінарні сигнали. Для роботи захисту крім аналогового сигналу необхідно мати інформацію про бінарний сигнал. Це сигнали спрацювання проміжних та вихідних реле інших пристроїв релейного захисту та автоматики, положення комутаційних апаратів, тощо. Ці сигнали на практиці ще називають дискретними. Але щоб не плутати їх з дискретними, які отримуються після квантування пристроєм АЦП аналогових сигналів будемо називати їх бінарними. Наприклад, якщо ми хочемо реалізувати функції АПВ, ПРВВ нам необхідно мати інформацію про стан вимикача, на який діє цей захист; для прискорення дії цього захисту за командою від захисту шин необхідно мати інформацію від вихідних кіл захисту шин тощо.

У сучасних цифрових пристроях бінарні сигнали від зовнішніх пристроїв подають через оптрони (рис.1.13) (в нашому випадку електронний ключ у вигляді транзистора VT), який керується світло діодом VD . Під час протікання струму через світло діод (після замикання контакту KL), останній подає світловий сигнал на фото базу транзистора VT , який спрацьовує (відкривається) і на його виході з'являється сигнал $U_{вих}=0$, що сигналізує про зміну стану бінарного входу. Основна перевага оптрону в порівнянні з реле-перетворювачами, полягає в істотно меншому часі спрацювання (становить мікросекунди).

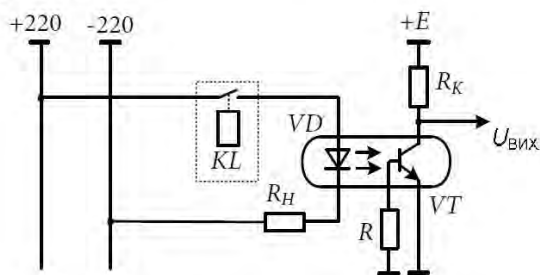


Рисунок 1.13. Схема вводу бінарного сигналу

Для організації протікання струму через світло діод VD після спрацювання зовнішнього контакту KL використовують зовнішнє джерело оперативного струму зазвичай напругою 220 В. Це є недоліком цієї схеми. Тому що навіть після вимкнення від оперативного струму зовнішнього пристрою, де встановлене реле KL , на контактах цього реле присутня напруга від оперативних кіл пристрою, на якому реалізована така схема вводу бінарного сигналу. Це є небезпечним для обслуговуючого персоналу. Тому для запобігання ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу під час проведення планових робіт для ініціалізації бінарних входів на інших пристроях, які мають зв'язок з цим пристроєм, застосовують джерело оперативного струму з пониженою напругою, наприклад 24 В (рис. 1.14), яке реалізоване на інверторному перетворювачі UVZ .

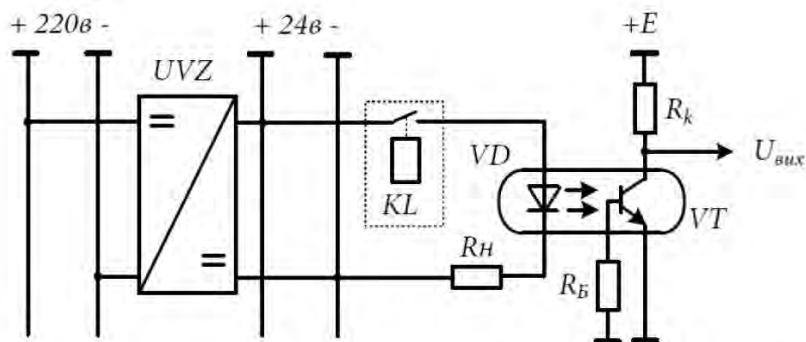


Рисунок 1.14. Схема вводу бінарного сигналу на пониженій напрузі

Але така схема має недоліки. По перше, вона менш надійна ніж схема з живленням постійним струмом 220 вольт, за рахунок наявності інверторного перетворювача UVZ. Технічна реалізація перетворення понижує надійність функціонування схеми загалом. Як показав досвід експлуатації таких схем наприклад панелей серії ПДЕ, ШДЭ, найбільш ненадійним елементом таких схем є блоки живлення, які реалізовані на основі саме інвертор них перетворювачів.

Крім того, застосування пониженої напруги в колах, де комутуються контакти реле KL (рис.1.14) може призводити до не замикання кола контактами реле KL після його спрацювання, так як з часом під впливом зовнішнього середовища поверхні цих контактів окислюються, їх опір збільшується і після їх замикання, струм у колі через ізолюючий окислений шар поверхонь контактів від джерела пониженої напруги буде замалим для спрацювання схеми. У випадку застосування напруги 220 В після замикання окислених контактів окислений шар пробиватиметься під дією цієї підвищеної напруги і в колі протікатиме струм, достатній для спрацювання схеми контролю бінарних вхідних сигналів (рис.1.13).

Під час реалізації схеми вводу бінарного сигналу на основі оптрона, який споживає мізерний струм (до 5 мА), варто пам'ятати, що є можливість хибного спрацювання даної схеми за рахунок блукаючих ємностей (рис.1.15), яка є між кабелями, що здійснюють зв'язок між окремими пристроями.

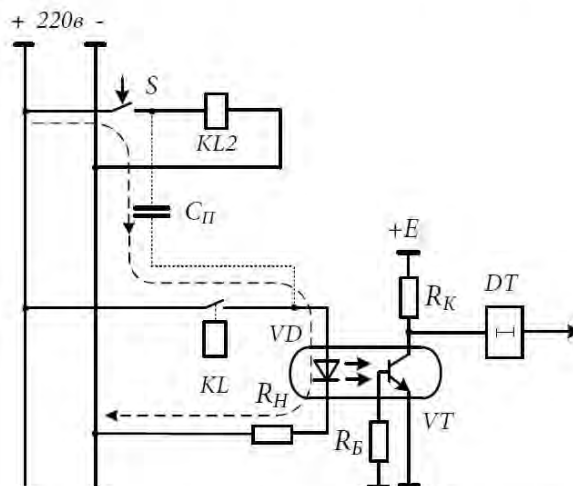


Рисунок 1.15. Хибне спрацювання схеми вводу бінарного сигналу

Наприклад, реле KL2 з'єднане з іншим пристроєм за допомогою довгого кабелю. Так само з'єднане реле KL, стан контактів якого контролює оптрон VD. Ці кабелі розташовані поруч в одному каналі. Тому між ними є електричний зв'язок за рахунок блукаючої ємності C_p . Під час спрацювання ключа S в перехідному процесі через блукаючу ємність C_p в колі оптрона з'являється імпульсний сигнал, який може призвести до хибного спрацювання оптрона. Але якщо на виході схеми

поставити елемент затримки часу DT порядку 3 мс, можна налагодити цю схему від хибної роботи.

Вихідні бінарні сигнали. Їх отримують за допомогою проміжних електромеханічних реле електромагнітного типу. Вони мають вищу надійність в порівнянні з електронними через відсутність хибного спрацювання. Ще однією перевагою є контактна система електромеханічних проміжних реле, через наявність в них видимого розриву в комутованому колі.

Також в електромеханічних реле присутній суттєвий недолік – вони мають більший час спрацювання якщо порівнювати їх з електронними ключами. Час спрацювання в електромеханічних реле складає до 5 мс.

Структура цифрової частини пристрою. Цифрові сигнали від АЦП надходять у процесор, де їх обробляють за певним алгоритмом, реалізованим у вигляді програми. Програма зберігається в постійному запам'ятовуючому пристрої (ПЗП). Інформація в даному пристрої зберігається навіть коли пристрій вимкнено від живлення.

Для зберігання проміжних обчислень використовують оперативний запам'ятовувальний пристрій (ОЗП). Він має високу швидкодію, але не зберігає інформацію після вимкнення зовнішнього живлення.

Уставки спрацювання захистів зберігаються в постійному перепрограмовуваному запам'ятовувальному пристрої (ППЗП), який допускає багатократну зміну уставок. При цьому інформація про уставки зберігається після зникнення живлення.

Також на панелі присутні клавіші введення або пульт управління, що дозволяє задавати необхідні параметри пристрою та змінювати уставки захисту.

Всі результати функціонування пристрою та параметри відображаються на індикаторі.

Структура пристроїв релейного захисту. Загальна структурна схема функціонування релейного захисту представлена на рис.1.16.

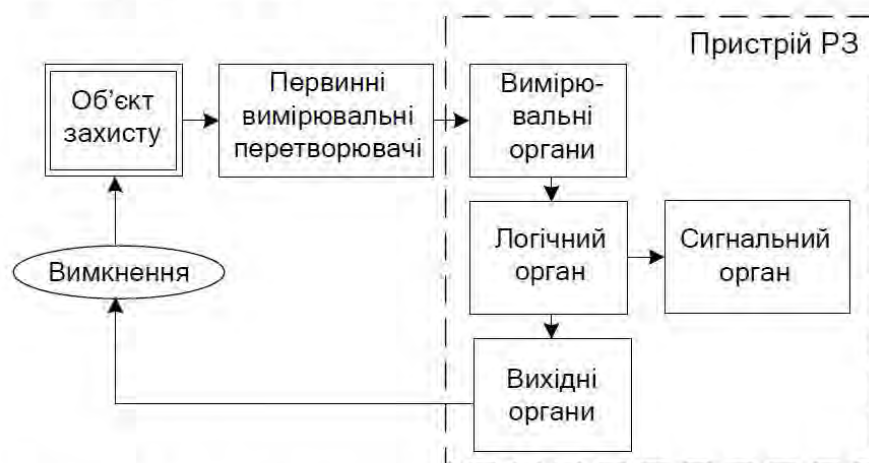


Рисунок 1.16. Структурна схема пристроїв релейного захисту

Пристрій релейного захисту повинен постійно контролювати ділянку або об'єкт захисту (трансформатор, двигун, лінію тощо). Координати режиму через первинні вимірювальні перетворювачі (трансформатори струму та напруги) надходять на вимірювальні органи захисту. Первинні вимірювальні перетворювачі призначені для ізоляції пристрою релейного захисту від первинних високовольтичних кіл та отримання необхідної шкали вимірювання вторинних значень струму та напруги. Коли на реле величини досягають уставок спрацювання, на їх виводах з'являється сигнал, що поступає на логічний орган захисту.

В логічному органі пристрою релейного захисту виконується алгоритм – аналізуються різні умови спрацювання, виконуються потрібні затримки за часом тощо.

Якщо всі умови спрацювання виконуються, на виході з'являється сигнал. Цей сигнал надходить на вихідний орган захисту, з якого він діє на вимкнення об'єкту від його джерела живлення.

В той же час вихідний сигнал з логічного органу діє на спрацювання сигнального органу, який призначений для сигналізації оперативного та ремонтного персоналу про спрацювання цього пристрою захисту.

Цей орган залишається в спрацьованому стані після від'єднання об'єкту від джерела живлення, коли всі інші органи пристрою релейного захисту повернулись у вихідний стан. Повернення сигнального органу у вихідний стан виконується вручну.

Вимоги до пристроїв релейного захисту. Основними вимогами, які ставляться до пристроїв релейного захисту для їх відповідної роботи є: надійність, чутливість, швидкодія та селективність.

Під **надійністю** пристроїв релейного захисту розуміють здатність виконувати відповідні завдання та функції протягом всього періоду експлуатації.

Надійність пристроїв залежить від різних обставин, наприклад, необхідно якісно та правильно виконувати монтаж обладнання, правильно експлуатувати його.

На підприємстві згідно затверджених графіків виконуються періодичні технічні обслуговування для перевірки спрацювання пристроїв релейного захисту. Особливо це необхідно для пристроїв побудованих на електромеханічній основі, так як ці пристрої взагалі не мають самодіагностики.

Чутливість до пошкоджень електрообладнання необхідна для пристроїв релейного захисту як при максимальному так і при мінімальному значенні струмів КЗ, тобто роботи як на початку так і в кінці захищуємого елемента.

Захист повинен володіти такою чутливістю щоб забезпечити його дію на сусідніх ділянках. Якщо з якихось причин не відпрацював захист на відповідному елементі захисту та не відімкнувся вимикач то повинен подіяти захист наступного в напрямку джерела живлення та відімкнути вимикач. Така дія захисту називається дальнім резервуванням сумісної ділянки захисту.

Чутливість захисту забезпечується коефіцієнтом чутливості K_c , що визначається як відношення мінімальне значення контролюючого струму при КЗ в кінці ділянки що захищається до струму спрацювання захисту.

Коефіцієнт чутливості враховує похибку реле, похибку розрахунків параметрів спрацювання захисту, вплив перехідного опору та електричної дуги в місці КЗ.

Швидкодія. Це здатність пристроїв релейного захисту відмикати пошкоджену ділянку з мінімально можливою витримкою часу, так як чим швидше вимкнути пошкоджену ділянку від решти справного обладнання тим менші будуть наслідки пошкоджень для нього.

Тобто, на підстанціях комбінату при коротких замиканнях під час роботи обладнання можна уникнути серйозних пошкоджень при якнайшвидшому вимкненні пошкоджених ділянок, тим самим не допустити руйнувань ізоляції силових трансформаторів, ліній, електродвигунів, та не допустити зупинки технологічного процесу на виробництві.

Час вимкнення пошкодженої ділянки визначають сумою часу спрацювання пристроїв релейного захисту та часом вимкнення вимикача [1]:

$$t_{\text{вим}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{q}}, \quad (1.1)$$

де $t_{\text{рз}}$ – час спрацювання пристроїв релейного захисту;

t_{q} – час спрацювання високовольтного вимикача.

Час роботи захисту $t_{\text{рз}}$ – проміжок часу між виникненням КЗ до спрацювання пристроїв захисту. Реле не може миттєво відпрацювати після появи короткого замикання. Відбувається аналіз режиму та розпізнавання режиму пошкодження стосовно інших.

Основні захисти виконуються з найменшим часом спрацювання. В резервних захистах є витримка часу. Він спрацьовує після основного.

Час спрацювання вимикача t_{q} – це проміжок часу від подання сигналу на привід вимикача з моментом затухання дуги в камері (масляній, вакуумній тощо) – до переривання струму в силових ланцюгах.

Селективність, ще також називають вибірковістю – це здатність релейного захисту виявляти місце пошкодження електрообладнання

та відмикати його найближчими вимикачами, тобто в зоні своєї відповідальності.

За принципом дії захист може мати абсолютну або відносну селективність. У випадку абсолютної селективності захист спрацює при КЗ тільки в зоні своєї відповідальності (наприклад, газовий або диференційний захист силового трансформатора). Захист що має абсолютну селективність не повинен спрацьовувати при КЗ не в своїй зоні відповідальності (наприклад, зона дії диференційного захисту обмежується місцем встановлення живлячих його трансформаторів струму). При відносній селективності захист спрацює при КЗ в своїй основній зоні, але може бути використаний у якості резервного захисту при КЗ на сусідніх ділянках (наприклад, максимальний струмовий захист).

Селективність за часом. Витримка часу кожного наступного захисту (наприклад, МСЗ) обирається на ступінь селективності більше попереднього захисту. Тому наступний захист не встигає відпрацювати так як його випереджає попередній при КЗ на ньому. Принцип роботи простий, але має суттєвий недолік – витримка часу зростає при наближенні точки КЗ до джерела живлення. Величина ступеню селективності визначається точністю реле часу захисту, швидкодією вимикача та для електромеханічних захистів складає 0,5 с, а для мікропроцесорних – 0,2-0,3 с.

Селективність за чутливістю. Параметри спрацювання обираються таким чином, щоб наступний захист не спрацьовував при КЗ на суміжних лініях або за трансформатором. Для цього (наприклад, струмова відсічка) підлаштовується від струмів КЗ в кінці лінії або за трансформатором і отже володіє селективністю за чуттєвістю.

Логічна селективність використовується якщо суміжні захисти об'єднані лінією зв'язку. При цьому наступний захист спрацює без витримки часу при умові, що не спрацював попередній захист. Пуск попереднього захисту вказує на те, що КЗ виникло на суміжній лінії та наступний захист переводиться в режим тимчасової селективності (спрацювання буде при відмові попереднього захисту або відмові вимикача).

Логічну селективність доцільно використовувати на коротких лініях та при встановлених цифрових пристроях захисту, в яких є спеціальний вхід «логічного очікування».

Особливості використання мікропроцесорних пристроїв релейного захисту на підстанціях комбінату. Надійність функціонування енергетичної системи підприємства з цифровими реле. Однією з особливостей цифрових пристроїв є їх відносна простота організації контролю справності апаратної частини та програмного забезпечення. Це забезпечується циклічним режимом роботи мікропроцесора по закладеній програмі.

Несправність тракту аналого-цифрового перетворювача визначається шляхом періодичного зчитування опорної (незмінної за часом) напруги. Якщо мікропроцесор знаходить розбіжність між останнім та раніше отриманим результатом, то він формує сигнали несправності.

Справність ОЗУ перевіряють, записуючи в комірки раніше відомі числа та порівнюючи результати, отримані при наступному зчитуванні.

Робоча програма, що зберігається в ПЗУ, періодично розглядається мікропроцесором як набір числових кодів. Мікропроцесор виконує їх формальну суму, а результат порівнює з контрольною сумою, що зберігається в заздалегідь відомій комірці. Цілісність обмоток вихідних реле перевіряють при короткочасній подачі на них напруги та контролі обтікання їх струмом. Періодично виконується само тестування мікропроцесора, вимірюються параметри блока живлення та інших важливих елементів пристрою.

В разі виходу з ладу самого мікропроцесора, що виконує самоконтроль, в цифрових пристроях передбачений спеціальний вартовий таймер «watch dog». В нормальному режимі мікропроцесор надсилає в цей вузол імпульси з завданням періодичного прямування. З отриманням чергового імпульсу вартовий таймер починає підрахунок часу. Якщо за відведений час від мікропроцесору не надійде чергового імпульсу, що скине таймер у вихідне положення, то таймер вплине на вхід повернення мікропроцесору в вихідний стан. Це викличе перезапуск керуючої програми. При несправності мікропроцесор «зависне», формуючи 0 або 1. Це виявляє вартовий таймер та формує сигнал тривоги. При необхідності блокуються найбільш відповідальні вузли пристрою захисту.

Треба розуміти що на всі 100% ми не зможемо виявити всі внутрішні дефекти виробу. Але в реальності даним тестуванням можна досягти охопити в районі 80-95% всіх елементів виробу.

Самоконтроль суттєво збільшує надійність пристроїв релейного захисту як системи завдяки своєчасному оповіщенню оперативного персоналу про випадки відмови апаратної частини. При періодичному контролі можлива експлуатація несправної системи релейного захисту протягом достатньо тривалого часу – до моменту чергової планової перевірки.

Таким чином можна сказати про більш високу надійність функціонування цифрових пристроїв у порівнянні з електромеханічними. Якщо брати цикл їх технічного обслуговування то він може бути подовжений до 10-12 років. Але на підприємстві поки що відсутній необхідний практичний досвід щоб з упевненістю підтвердити це положення. Тому серед фахівців які експлуатують дані пристрої існує думка, що цикл обслуговування мікропроцесорних пристроїв необхідно зберегти на рівні захистів на електронній основі, а саме 6

років. Зазначимо, що враховуючи наявність автоматичного контролю, об'єм перевірок може бути суттєво зменшений.

Якщо в процесі контролю пристрій виявив несправність, обладнання залишається без захисту. В цьому випадку необхідно потурбуватися про резервний захист на відповідальних споживачах, особливо в тих випадках, коли дальнє резервування неефективне.

Завадостійкість цифрових реле. Завадостійкість – це здатність апаратури правильно функціонувати в умовах електромагнітних завад.

Необхідна завадостійкість досягається у трьох випадках:

- забезпечення належного перевищення рівнів інформаційних сигналів над рівнем завад. В цьому випадку використовуємо сигнали з номінальними рівнями 1А і більше, 100 В та вище;
- якісне прокладення ліній зв'язку датчиків інформації з пристроями захисту;
- правильне виконання апаратної частини пристроїв захисту.

Якщо рішення останнього питання залежить виключно від розробників, то питання захисту каналів зв'язку від завад повинні вирішуватися на стадії проектування та в ході експлуатації систем захисту.

Розглянемо проникнення завад в реле та лінії зв'язку. Як правило вхідна частина пристрою захисту виконується за схемою (рис.1.17). При цьому робочий сигнал E_c передається по двопровідній лінії в вигляді різниці потенціалів або струмів. Зазвичай вхідним сприймаючим елементом пристрою є проміжний трансформатор T . Він забезпечує одночасно і перетворення сигналів, та гальванічне розділення внутрішніх та зовнішніх кіл.

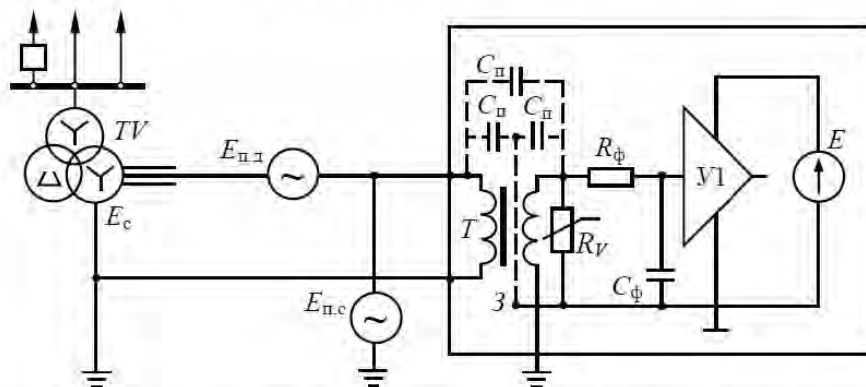


Рисунок 1.17. Вхідний тракт цифрового пристрою захисту

Завади можуть наводитися як між проводами ліній зв'язку (завади диференційного або поперечного вигляду $E_{п.д}$), так і поміж будь-яким проводом лінії та землею (синфазні та поперечні завади $E_{п.д}$).

Синфазні завади $E_{п.д}$ небезпечні для диференційних приймачів. Коли вони проникають всередину пристрою по блукаючим ємностям

зв'язку C_n , ці завади потім можуть накладатися на робочий сигнал, котрий всередині пристрою є синфазним та передається відносно загальної шини нульового потенціалу.

Тому конструктори апаратури приймають міри, щоб максимально послабити блукаючі ємнісні зв'язки між первинною обмоткою проміжного трансформатору Т та елементами внутрішньої схеми пристрою.

Що стосується диференційних завад $E_{п.д}$, то найбільш дієвим способом є максимальне огороження ліній зв'язку від впливів джерел завад. Для цього треба знати як завади потрапляють у лінії зв'язку.

Розрізняють гальванічні, електростатичні та індуктивні шляхи проникнення завад з одного електричного кола в інше.

Випробування пристроїв захисту на завадо захищеність. Єдиним критерієм на належну завадозахищеність цифрового пристрою захисту є його технічне випробування.

При проведенні випробувань вимірювальних реле та захисного обладнання в усьому світі дотримуються рекомендацій Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК).

У відповідності до норм МЕК при випробуваннях тестові впливи прикладаються між будь-якими входами пристрою та між кожним входом та «землею». Всі затискачі що належать до одного входу, при цьому закорочуються.

В нормах МЕК докладно оговорюються параметри джерел сигналів та методика випробування. Найбільш важливими моментами при випробуванні на завадозахищеність реле є:

- **випробування на високочастотні завади (МЕК 255-22-1).** При цьому тесті імітуються завади комутаційного походження. Затухаючі високочастотні коливання виникають при включенні та відімкненні ліній в електричних мережах та при однофазних замиканнях. Частота коливань, що генерується мережею, вимірюється від одиниць герц до сотень гігагерц. Все залежить від співвідношення розподілення індуктивності та ємності в мережі у кожному конкретному випадку. В якості випробувального впливу прийняті найбільш реальні високочастотні коливання з амплітудою 2,5 кВ при прокольній заваді та 1,0 кВ при поперечній;
- **випробування на електростатичний розряд (МЕК 255-22-2).** При цьому випробуванні зовнішній електричний заряд переноситься на пристрій або через повітряний проміжок (вихідний потенціал 8 кВ), або через ємність 150 пФ при контактному впливі (вихідний потенціал 6 кВ);
- **випробування короткочасними імпульсами (МЕК 255-22-4).** Імпульси наводяться в жилах контрольних кабелів під впливом

грозових розрядів. Зазвичай подають по три імпульси різної полярності з амплітудою до 6 кВ та інтервалом 5-10 с;

- **випробування діелектричної міцності ізоляції.** При випробуванні використовують напругу 2 кВ промислової частоти, протягом 1 хвилини. Це випробування гарантує безпеку при обслуговуванні пристрою.

Використання цифрових пристроїв в якості елементів АСУ ТП ПС. Цифрові пристрої РЗ як частина АСУ ТП ПС. Головними функціями АСУ ТП ПС є відображення технологічного процесу, виконання звітів та забезпечення зв'язку оператора с керуючим ним процесом. АСУ ТП ПС – це системи, які працюють в реальному часі, і будуються на основі персональних та спеціалізованих пристроїв, за допомогою яких забезпечується зв'язок з датчиками інформації, обробка отриманої інформації і представлення її в зручному вигляді для диспетчерського керування.

З позиції АСУ ТП ПС цифрові пристрої захисту є закінченими пристроями, тобто терміналами. Тому інколи цифрові пристрої захисту називають релейними терміналами.

Програмне забезпечення для АСУ ТП ПС безперервно вдосконалюється. Робочі програми АСУ ТП ПС створюються з готових бібліотечних функцій с використанням простої мови програмування. Наприклад, створення робочого вікна на екрані (рис.1.18) включає в себе декілька етапів:

- створення статичного відображення робочого вікна;
- формування динамічних об'єктів робочого вікна;
- обробку інформації (формування звітів, побудову трендів тощо).

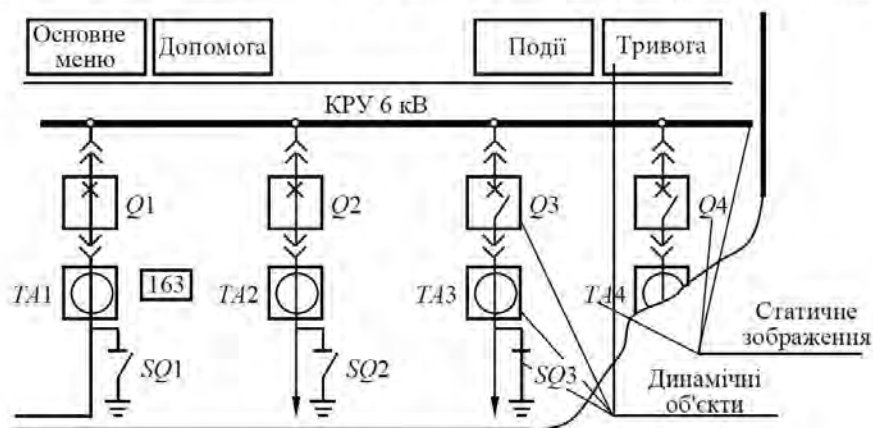


Рисунок 1.18. Виведення інформації на дисплей

Детальніше розглянемо даний процес. Статичне зображення робочого вікна включає мнемосхему об'єкту (фон), незмінні надписи тощо. Для створення статичного зображення використовують зовнішні графічні редактори, а отримане зображення потім передається в загальний програмний пакет.

Динамічні об'єкти створюються за допомогою спеціалізованого графічного редактору, також побудованого на основі використання бібліотечного принципу.

Для опису алгоритмів керування використовуються або спеціалізовані мови з використанням бібліотеки логічних функцій (И,ИЛИ та інші), або простіші мови високого рівня, наприклад, BASIC.

Зазвичай бібліотеки програмного забезпечення для АСУ ТП ПС мають типовий набір функцій для реалізації:

- органів керування (вимикачів, роз'єднувачів тощо);
- екранних елементів для відображення параметрів процесу (у вигляді цифрових або аналогових індикаторів і табло);
- можливість створення та введення архівів подій та аварій, а також відслідковування параметрів процесу з вибором значень через задані проміжки часу;
- представлення інформації в зручному для оператора вигляді (гістограми, часові графіки);
- засобів захисту від несанкціонованого доступу в систему з використанням паролів тощо.

Більшість мікропроцесорних реле оснащені інтерфейсом RS485 для дистанційного зв'язку (підключення до комп'ютерної мережі віддаленої передачі даних). Для підключення до мережі мікропроцесорні реле об'єднуються за допомогою екранованої виті пари або оптоволоконним кабелем в групи до 52-ох та приєднуються до порту комп'ютеру робочої станції або шлюзу через пристрій конвертора протоколу.

Також всі мікропроцесорні пристрої релейного захисту підприємства можуть бути об'єднані в глобальну обчислювальну мережу з переводом традиційних функцій телемеханіки на мову обчислювальної техніки.

Таким чином, всі виміряні значення та зафіксовані сигнали можуть бути направлені на відповідний рівень керування, вивестися на монітор оперативного персоналу для відображення або збереження в архіві – на носії інформації.

Дистанційне керування комутаційними апаратами (увімкнення та відключення) виконується оперативним персоналом також по мережі шляхом керування спрацюванням відповідних вихідних реле мікропроцесорних пристроїв. Також дистанційно персоналом дільниці релейного захисту може бути виконано змінення уставок, а також переключенням з однієї їх групи на іншу. Ці дії захищаються паролем відповідного рівня доступу.

Таким чином цифрові пристрої РЗ дозволяють створювати локальні (на одному приєднанні) або глобальні (на підприємстві) автоматизовані системи керування електричними мережами.

Технічне обслуговування мікропроцесорних пристроїв.

Вимоги стосовно технічного обслуговування кожного окремого мікропроцесорного пристрою релейного захисту (об'єм, періодичність та засоби обслуговування) визначаються його виробником та включаються в інструкції з експлуатації.

При підготовці цифрового терміналу (рис.1.19) до роботи виконують зовнішній огляд, перевірку опору ізоляції, введення та перевірку уставок, тестову перевірку у відповідності з його технічним обслуговуванням.



Рисунок 1.19. Сучасний цифровий термінал REF615

Цифрові пристрої більш інформативні та суттєво відрізняються від аналогових попередників. Висока щільність монтажу кабелів, використання багат шарових друкованих плат, відсутність принципових схем та повної інформації про алгоритми функціонування вузлів роблять цифрові пристрої захисту придатними для ремонту тільки на рівні окремих конструктивних модулів.

Незважаючи на системи самодіагностики та контролю, що допомагають спрощувати виявлення пошкодженого вузла, вони не можуть забезпечити 100% самоконтроль, тому повинно проводитися технічне обслуговування за участі відповідного персоналу з налаштування даних цифрових терміналів.

Практично всі цифрові пристрої можуть надавати інформацію про контролюючі величини, вхідні та вихідні сигнали керування. При аналізі цих даних можна виявити обриви на вхідних та вихідних ланцюгах. По інформації аварійних подій можна переконатися в правильному погодженні уставок як даного пристрою РЗ, так і захистів суміжних ділянок.

Ще більше можливостей отримуємо при під'єднанні цифрового пристрою в АСУ ТП ПС, коли вся необхідна інформація може бути отримана миттєво з різних джерел.

При експлуатації цифрових пристроїв релейного захисту необхідно виконувати заходи, що виключають пошкодження електронних компонентів статичною напругою. При ремонті апаратура повинна розташовуватися на заземленому струмопровідному столі. Тіло працюючого повинно мати потенціал столу, що зазвичай забезпечується за допомогою заземленого кільця. Такі заходи захисту зумовлені тим, що електричний заряд, що знаходиться на тілі людини, здатний руйнувати напівпровідникові структури, при тому статична напруга може і не викликати виходу з ладу пристрою відразу, але це може відбутися в майбутньому.

При обслуговуванні мікропроцесорних терміналів ні в якому разі не слід роз'єднувати та з'єднувати роз'єми з'єднання блоків пристрою, коли він знаходиться під напругою. Це зумовлюється не скільки заходами безпеки, а доволі високою вірогідністю виходу з ладу інтегральних мікросхем при недотриманні послідовності підключення зовнішніх кіл.

На мікросхему повинно бути подано спочатку напруга живлення і тільки потім – вхідні сигнали. В момент роз'єднання та з'єднання роз'ємів ці умови часто не виконуються, що і призводить до пошкодження обладнання.

Необхідність модернізації джерел оперативного струму на підстанціях 6 кВ РЗФ-1. Оперативний струм – це струм, що живить ланцюги дистанційного керування вимикачами, оперативними ланцюгами релейного захисту, автоматики та різних видів сигналізації.

Основним призначенням джерел оперативного струму є живлення пристроїв релейного захисту, автоматики, та сигналізації про положення комутаційної апаратури та дій автоматичних засобів, ланцюгів керування комутаційними апаратами (вимикачами, відокремлювачами та ін.).

До надійності джерел оперативного струму ставляться високі вимоги. Живлення повинно забезпечуватися при будь-яких режимах роботи електрообладнання.

Найбільш надійним джерелом живлення оперативним струмом є встановлення акумуляторних батарей 110/220 В. Але це економічно доцільно тільки на підстанціях 110-220 кВ.

На підстанціях з номінальною напругою 6 кВ зазвичай, перевагу віддають використанню змінного або випрямленого оперативного струму, джерелом якого є вимірювальні трансформатори струму та напруги, а також трансформатори власних потреб.

Цей варіант економічно вигідний, але за надійністю ці джерела поступаються джерелам постійного струму, так як акумуляторні батареї забезпечують безперебійне живлення оперативним струмом при будь-яких режимах роботи електричної мережі.

В ході досліджень електрообладнання та засобів релейного захисту на підстанціях рудничозбагачувальної фабрики №1 Північного ГЗК виникло питання щодо надійності та безперервного живлення даних елементів від зовнішніх джерел електричної енергії.

На підстанціях першої черги РЗФ-1 джерелами оперативного струму є випрямлячі та блоки БПН/БПТ, що живляться від трансформаторів власних потреб.

Проблема полягає в тому, що у разі аварійного знеструмлення одразу двох секцій 6 кВ зникає живлення на вимірювальних трансформаторах напруги та трансформаторах власних потреб. Тобто, при відключенні живлення двох секцій наші споживачі залишаються без живлення ланцюгів захисту та сигналізації, а також унеможлиблюється увімкнення вимикача введення №1/2 дистанційно або засобами телемеханіки, що зумовлює значну перерву в електропостачанні споживачів (може тривати до кількох годин).

Для вирішення цієї проблеми, що з економічної та технічної точки зору буде обґрунтованим, доцільно ввести в схему власних потреб джерело гарантованого живлення - шафу оперативного струму (ШОС), що представляє собою акумуляторну батарею з живленням через зарядний пристрій від шин власних потреб в ЗРП-6 кВ.

ШОС є незалежним джерелом оперативного струму (рис.1.20), так як напруга на акумуляторних батареях не залежить від величини напруги основної мережі підстанції. Два підзарядних пристрої забезпечують рівень пульсації менше ніж 1%, що значно збільшить термін експлуатації акумуляторів.



Рисунок 1.20. Шафа оперативного струму

Шафи ШОТ обладнані контролем рівня напруги та рівня ізоляції кіл постійного струму. Струм в колі під зарядних пристроїв та акумуляторів контролюється амперметрами. Присутня сигналізація несправності під зарядних пристроїв при відхиленні рівня напруги за вказані межі, поява «землі» в колах оперативного струму, відключення

автоматів. Низька вартість шафи дозволяє використовувати її на підстанціях ЗРП-6 кВ.

В шафи оперативного струму вмонтовано:

- герметизовані акумулятори;
- зарядно-випрямляючі пристрої;
- схема розподілу оперативного струму (шинки керування – ЕС, шинки сигналізації – ЕН тощо);
- вимірювальні прилади;
- система обігріву;
- контроль ізоляції мережі постійного струму.

Живлення оперативних кіл постійним струмом від ШОС. На кожні дві секції шин передбачається встановлення одного ШОС (рис 1.21), який живить оперативні шинки крайніх камер кожної секції 6 кВ. Оперативні кола всіх камер даної секції шин до роз'єднувача заживлюються послідовно. В камері секційного роз'єднувача за допомогою пакетних вимикачів передбачається можливість живлення оперативних кіл від сусідніх секцій. Це необхідно у випадку необхідності безперебійного живлення при виконанні профілактичних або ремонтних робіт ШОС.

Шафи оперативного струму живляться від трансформаторів власних потреб на підстанції ЗРП-6 кВ напругою 0,4 кВ.

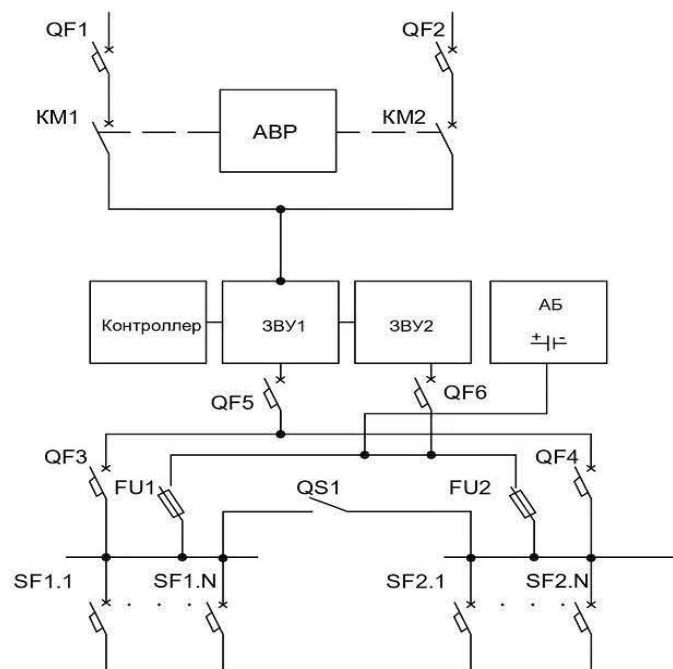


Рисунок 1.21 Схема ШОС на постійному струмі.

Висновки до розділу №1

В розділі №1 було розглянуто систему електропостачання ЗРП-6 кВ на РЗФ-1, досліджено релейний захист на традиційних реле, що

досі знаходять своє використання на підприємстві, та проаналізовано перспективи впровадження мікропроцесорних реле, які відповідають сучасним вимогам та є багатофункціональними.

Проведено дослідження структури цифрової частини пристроїв релейного захисту. Враховано вимоги, що ставляться до надійності роботи пристроїв захисту, а також їх технічного обслуговування.

Враховуючі переваги та недоліки цифрових реле тенденції говорять про те, що буде відбуватися поступовий але незворотній перехід із застарілих електромеханічних реле на сучасні термінали.

Необхідність впровадження мікропроцесорних пристроїв релейного захисту на підстанціях комбінату технічно обґрунтована, так як це підвищить надійність роботи діючого електрообладнання ЗРП-6 кВ.

2. РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ

2.1 Розрахунки нормальних та аварійних електричних режимів на шинах 6 Кв закритого розподільчого пристрою

Розрахунок струмів короткого замикання

Приймаємо потужність короткого замикання системи 1000 МВА.

Напряга живлення зі сторони ВН – 150 кВ.

Характеристики трансформатора, встановленого на ГЗП №1, що живить ЗРП-6 кВ на РЗФ-1:

Таблиця 2.1. Характеристики силового трансформатору ГЗП-1

Тип трансформатору	U високої сторони, кВ	U низької сторони, кВ	Регулювання РПН, %	U _{кз} ,% мін/сер/макс	Потужність трансформатору S _{тр} , кВА
ТРДН-63000/150	150	6	±16%	10,1/10,5/10,6	63 000

Визначаємо опір системи:

$$X_c = \frac{U_{cp}^2}{S_{кз}} = \frac{(158 \cdot 10^3)^2}{1000 \cdot 10^6} = 25 \text{ Ом} \quad (2.1)$$

Визначимо мінімальний та максимальний опір трансформатора на стороні 150 кВ:

$$X_{T1 \text{ min вн}} = \frac{U_{K \text{ min}} \cdot (1 - \Delta U_{рпн})^2 \cdot U_{cp}^2}{100 \cdot S_{T \text{ ном}}} = \frac{10,1 \cdot (1 - 0,16)^2 \cdot (158 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 63 \cdot 10^6} = 28,2 \text{ Ом} \quad (2.2)$$

$$X_{T1 \text{ max вн}} = \frac{U_{K \text{ max}} \cdot (1 + \Delta U_{рпн})^2 \cdot U_{cp}^2}{100 \cdot S_{T \text{ ном}}} = \frac{10,6 \cdot (1 + 0,16)^2 \cdot (158 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 63 \cdot 10^6} = 56,5 \text{ Ом} \quad (2.3)$$

Сумарний опір до точки К1 в мініальному та максимальному режимах:

$$X_{\text{max К1}} = X_c + X_{T1 \text{ max}} = 25 + 56,5 = 81,5 \text{ Ом} \quad (2.4)$$

$$X_{\text{min К1}} = X_c + X_{T1 \text{ min}} = 25 + 28,2 = 53,2 \text{ Ом} \quad (2.5)$$

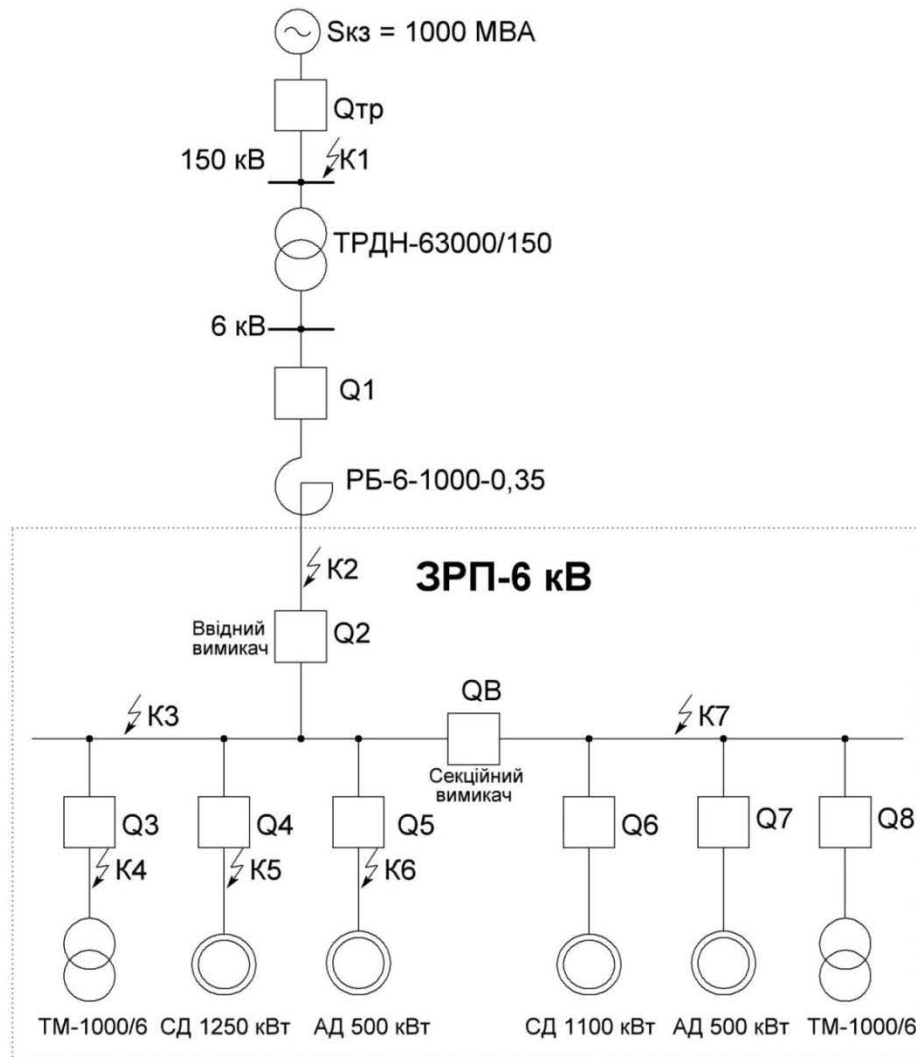


Рисунок 2.1 Розрахункова схема для визначення струмів коротких замикань.

Струми трифазного КЗ за трансформатором Т1 на стороні 150 кВ в точці К1:

$$I_{\max K1}^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot X_{\min K1}} = \frac{158000}{1,73 \cdot 53,2} = 1717 \text{ A} \quad (2.6)$$

$$I_{\min K1}^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot X_{\min K1}} = \frac{158000}{1,73 \cdot 81,5} = 1121 \text{ A} \quad (2.7)$$

Визначимо номінальний струм трансформатора по стороні 150 кВ:

$$I_{\text{НОМ тр вн}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{вн}}} = \frac{63 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 158 \cdot 10^3} = 242,8 \text{ A} \quad (2.8)$$

Визначимо мінімальний та максимальний опір трансформатора на стороні 6 кВ:

$$X_{T1 \min \text{ нн}} = \frac{U_{K \min} \cdot (1 - \Delta U_{\text{рпн}})^2 \cdot U_{cp}^2}{100 \cdot S_{T \text{ ном}}} = \frac{10,1 \cdot (1 - 0,16)^2 \cdot (6,3 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 63 \cdot 10^6} = 0,045 \text{ Ом} \quad (2.9)$$

$$X_{T1 \max \text{ нн}} = \frac{U_{K \max} \cdot (1 + \Delta U_{\text{рпн}})^2 \cdot U_{cp}^2}{100 \cdot S_{T \text{ ном}}} = \frac{10,6 \cdot (1 + 0,16)^2 \cdot (6,3 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 63 \cdot 10^6} = 0,09 \text{ Ом} \quad (2.10)$$

Визначаємо опір до точки К₂ (враховуємо опір шинопроводу 6 кВ та реактора РБ-6-1000-0,35).

Дані шинопроводу, що проходить з ГЗП-1 до ЗРП-6 кВ:

$$I_{\text{ном}} = 4000 \text{ А, довжина } 500 \text{ м, } R_{\text{ш}} = 0,014 \text{ Ом/км, } X_{\text{ш}} = 0,016 \text{ Ом/км}$$

Визначаємо повний опір шинопроводу:

$$Z_{\text{ш}} = I_{\text{ш}} \cdot \sqrt{R_{\text{ш}}^2 + X_{\text{ш}}^2} = 0,5 \cdot \sqrt{0,014^2 + 0,016^2} = 0,011 \text{ Ом} \quad (2.11)$$

Визначаємо опір до точки К₂:

$$R_{\text{к2 max}} = X_{\text{Т1 max нн}} + X_{\text{реак}} + Z_{\text{ш}} = 0,09 + 0,35 + 0,011 = 0,451 \text{ Ом} \quad (2.12)$$

$$R_{\text{к2 min}} = X_{\text{Т1 min нн}} + X_{\text{реак}} + Z_{\text{ш}} = 0,045 + 0,35 + 0,011 = 0,406 \text{ Ом} \quad (2.13)$$

Визначаємо максимальний та мінімальний струм К₃ до точки К₂:

$$I_{\text{к2 max}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{к2 min}}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 0,406} = 8970 \text{ А} \quad (2.14)$$

$$I_{\text{к2 min}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{к2 max}}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 0,451} = 8075 \text{ А} \quad (2.15)$$

Визначаємо опір до точки К₃ (враховуємо опір шин та ввідного вимикача):

$$R_{\text{к3 max}} = R_{\text{к2 max}} + Z_{\text{шин}} = 0,451 + 0,01 = 0,461 \text{ Ом} \quad (2.16)$$

$$R_{\text{к3 min}} = R_{\text{к2 min}} + Z_{\text{шин}} = 0,406 + 0,01 = 0,416 \text{ Ом} \quad (2.17)$$

Струми трифазного К₃ в точці К₃:

$$I_{\text{max К3}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{min К3}}} = \frac{6300}{1,73 \cdot 0,416} = 8754 \text{ А} \quad (2.18)$$

$$I_{\text{min К3}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{max К3}}} = \frac{6300}{1,73 \cdot 0,461} = 7899 \text{ А} \quad (2.19)$$

Відповідно виконуємо розрахунки струмів К₃ в усіх інших точках (враховуємо опір елементів системи).

$$R_{\text{к4 max}} = R_{\text{к3 max}} + Z_{\text{каб тп}} = 0,461 + 0,045 = 0,506 \text{ Ом} \quad (2.20)$$

$$R_{\text{к4 min}} = R_{\text{к3 min}} + Z_{\text{каб тп}} = 0,416 + 0,045 = 0,461 \text{ Ом} \quad (2.21)$$

$$Z_{\text{каб тп}} = l \cdot \sqrt{R_{\text{каб 70}}^2 + X_{\text{каб 70}}^2} \quad (2.22)$$

$$Z_{\text{каб тп}} = 0,082 \cdot \sqrt{0,55^2 + 0,06^2} = 0,045 \text{ Ом} \quad (2.23)$$

$$I_{\text{max К4}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{min К4}}} = \frac{6300}{1,73 \cdot 0,461} = 8039 \text{ А} \quad (2.24)$$

$$I_{\text{min К4}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{max К4}}} = \frac{6300}{1,73 \cdot 0,506} = 7197 \text{ А} \quad (2.25)$$

$$R_{\text{к5 max}} = R_{\text{к3 max}} + Z_{\text{каб сд}} = 0,461 + 0,041 = 0,502 \text{ Ом} \quad (2.26)$$

$$R_{\text{к5 min}} = R_{\text{к3 min}} + Z_{\text{каб сд}} = 0,416 + 0,041 = 0,457 \text{ Ом} \quad (2.27)$$

$$Z_{\text{каб сд}} = l \cdot \sqrt{R_{\text{каб 70}}^2 + X_{\text{каб 70}}^2} \quad (2.28)$$

$$Z_{\text{каб сд}} = 0,074 \cdot \sqrt{0,55^2 + 0,06^2} = 0,041 \text{ Ом} \quad (2.29)$$

$$I_{\text{max К5}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{min К2}}} = \frac{6300}{1,73 \cdot 0,457} = 7968 \text{ А} \quad (2.30)$$

$$I_{\text{min К5}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{max К2}}} = \frac{6300}{1,73 \cdot 0,502} = 7254 \text{ А} \quad (2.31)$$

$$R_{\text{к6 max}} = R_{\text{к3 max}} + Z_{\text{каб}} = 0,461 + 0,051 = 0,512 \text{ Ом} \quad (2.32)$$

$$R_{\text{к6 min}} = R_{\text{к3 min}} + Z_{\text{каб}} = 0,416 + 0,051 = 0,467 \text{ Ом} \quad (2.33)$$

$$Z_{\text{каб ад}} = 1 \cdot \sqrt{R_{\text{каб 70}}^2 + X_{\text{каб 70}}^2} \quad (2.34)$$

$$Z_{\text{каб ад}} = 0,092 \cdot \sqrt{0,55^2 + 0,06^2} = 0,051 \text{ Ом} \quad (2.35)$$

$$I_{\text{max K6}}^{(3)} = \frac{U_{\text{cp}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{min K6}}} = \frac{6300}{1,73 \cdot 0,467} = 7798 \text{ А} \quad (2.36)$$

$$I_{\text{min K6}}^{(3)} = \frac{U_{\text{cp}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{max K6}}} = \frac{6300}{1,73 \cdot 0,512} = 7112 \text{ А} \quad (2.37)$$

$$R_{\text{K7 max}} = R_{\text{K3 max}} + Z_{\text{вим}} = 0,461 + 0,008 = 0,469 \text{ Ом} \quad (2.38)$$

$$R_{\text{K7 min}} = R_{\text{K3 min}} + Z_{\text{вим}} = 0,416 + 0,008 = 0,424 \text{ Ом} \quad (2.39)$$

$$I_{\text{max K7}}^{(3)} = \frac{U_{\text{cp}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{min K7}}} = \frac{6300}{1,73 \cdot 0,424} = 8589 \text{ А} \quad (2.40)$$

$$I_{\text{min K7}}^{(3)} = \frac{U_{\text{cp}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\text{max K7}}} = \frac{6300}{1,73 \cdot 0,469} = 7765 \text{ А} \quad (2.41)$$

Визначаємо ударний струм $i_{\text{уд}}$ в усіх точках за формулою:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\text{max}}^{(3)} \quad (2.42)$$

де $k_y=1,8$ – при КЗ на шинах підстанції напругою 6(10) кВ з напругою вищого ступеню 150(110) кВ.

Відповідно:

$$i_{\text{уд K1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1717 = 4378 \text{ А}$$

$$i_{\text{уд K2}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 8970 = 22874 \text{ А}$$

$$i_{\text{уд K3}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 8754 = 22323 \text{ А}$$

$$i_{\text{уд K4}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 8039 = 20499 \text{ А}$$

$$i_{\text{уд K5}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7968 = 20318 \text{ А}$$

$$i_{\text{уд K6}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7798 = 19885 \text{ А}$$

$$i_{\text{уд K7}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 8589 = 21902 \text{ А}$$

Визначимо значення мінімального двофазного КЗ $I_{\text{min}}^{(2)}$ в точках:

$$I_{\text{min}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{min}}^{(3)} \quad (2.43)$$

Відповідно:

$$I_{\text{min K1}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1121 = 975 \text{ А}$$

$$I_{\text{min K2}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8075 = 7025 \text{ А}$$

$$I_{\text{min K3}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7899 = 6872 \text{ А}$$

$$I_{\text{min K4}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7197 = 6261 \text{ А}$$

$$I_{\text{min K5}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7254 = 6311 \text{ А}$$

$$I_{\text{min K6}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7112 = 6187 \text{ А}$$

$$I_{\min \text{ К7}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7765 = 6756 \text{ А}$$

Отримані значення заносимо в таблицю 2.2:

Таблиця 2.2. Значення струмів КЗ:

Найменування струмів	Значення струмів у розрахункових точках						
	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7
Максимальний струм КЗ $I_{\max}^{(3)}$, А	1717	8970	8754	8039	7968	7798	8589
Мінімальний струм КЗ $I_{\min}^{(3)}$, А	1121	8075	7899	7197	7254	7112	7765
Ударний (піковий) струм КЗ $i_{\text{уд}}$, А	4378	22874	22323	20499	20318	19885	21902
Мінімальний струм КЗ в точці $I_{\min}^{(2)}$, А	975	7025	6872	6261	6311	6187	6756

Визначення максимальних навантажень

Навантаження синхронних двигунів:

$$P_{\max \text{ сд}} = K_{\text{п сд}} \cdot N_{\text{сд}} \cdot P_{\text{сд}} = 0,8 \cdot 3 \cdot 1,25 + 0,8 \cdot 3 \cdot 1,1 = 5,64 \text{ МВт}; \quad (2.44)$$

$$Q_{\max \text{ сд}} = P_{\max \text{ сд}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{сд}} = 5,64 \cdot 0,48 = 2,71 \text{ МВАр}, \quad (2.45)$$

де $K_{\text{п сд}}$ – коефіцієнт попиту;

$N_{\text{сд}}$ – кількість синхронних двигунів;

$P_{\text{сд}}$ – потужність синхронних двигунів, МВт;

$\text{tg}\varphi_{\text{сд}}$ – коефіцієнт перетворення (відповідно до $\cos\varphi=0,9$).

Так само визначимо навантаження асинхронних двигунів:

$$P_{\max \text{ ад}} = K_{\text{п ад}} \cdot N_{\text{ад}} \cdot P_{\text{ад}} = 0,7 \cdot 2 \cdot 0,5 = 0,7 \text{ МВт}; \quad (2.46)$$

$$Q_{\max \text{ ад}} = P_{\max \text{ ад}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{ад}} = 0,7 \cdot 0,62 = 0,43 \text{ МВАр}. \quad (2.47)$$

Навантаження трансформаторів:

$$P_{\max \text{ тр}} = K_{\text{з}} \cdot N_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}} \cdot \cos\varphi_{\text{т}} = 0,7 \cdot 3 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 1,89 \text{ МВт}, \quad (2.48)$$

$$Q_{\max \text{ тр}} = P_{\max \text{ тр}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{тр}} = 1,89 \cdot 0,48 = 0,91 \text{ МВАр}, \quad (2.49)$$

де $K_{\text{з}}$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів в нормальному режимі;

$S_{\text{тр}}$ – потужність трансформатора, МВА;

Визначаємо сумарну розрахункову потужність ЗРП-6 кВ

$$S_{\max} = \sqrt{(P_{\max \text{ сд}} + P_{\max \text{ ад}} + P_{\max \text{ тр}})^2 + (Q_{\max \text{ ад}} - Q_{\max \text{ сд}} + Q_{\max \text{ тр}})^2} \quad (2.50)$$

$$S_{\max} = \sqrt{(5,64 + 0,7 + 1,26)^2 + (0,43 - 2,71 + 0,91)^2} = 7,72 \text{ МВА} \quad (2.25)$$

Визначаємо струм ввідного вимикача на одній із секцій ЗРП-6 кВ:

- в нормальному режимі для одної секції:

$$I_{\text{вв нор}} = \frac{S_{\max}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{секц}}} = \frac{7,72 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 374,8 \text{ А} \quad (2.51)$$

- в режимі аварійного відключення одного з ввідних вимикачів:

$$I_{\text{вв ав}} = 2 \cdot I_{\text{розр вим}} = 2 \cdot 374,8 = 749,6 \text{ А} \quad (2.52)$$

Струм секційного вимикача. При безаварійному режимі положення секційного вимикача залишається у відключеному стані. Враховуємо, що дві секції можуть мати нерівномірне навантаження, тому:

$$I_{CB} = 0,7 \cdot I_{ВВ\text{ ав}} = 0,7 \cdot 749,6 = 524,7 \text{ А} \quad (2.53)$$

Обираємо вимикачі для введів секцій – CNC ВВ/Н10М-1000-10-25, для секційного вимикача - CNC ВВ/Н10М-630-10-25.

Визначаємо максимальний робочий струм високовольтних двигунів на підстанції ЗРП-6 кВ

$$I_{\text{роб сд1}} = \frac{P_{\text{сд}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{1250}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,94 \cdot 0,9} = 142 \text{ А} \quad (2.54)$$

$$I_{\text{роб сд2}} = \frac{P_{\text{сд}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{1100}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,94 \cdot 0,9} = 125 \text{ А} \quad (2.55)$$

$$I_{\text{роб ад}} = \frac{P_{\text{сд}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,92 \cdot 0,85} = 62 \text{ А} \quad (2.56)$$

Номинальний струм трансформатору на стороні ВН:

$$I_{\text{ном тр ВН}} = \frac{S_{\text{ном тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном ВН}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96,3 \text{ А} \quad (2.57)$$

Обираємо трансформатори струму:

Таблиця 2.3. Вибір трансформаторів струму за номінальними показниками.

Приєднання	Номинальні параметри	Розрахункові дані	Клас точності	Тип ТС
Введення 6 кВ	$I_{1 \text{ ном}}-1000 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-10 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	$I_{1 \text{ ав}}-749,6 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-6 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	0,5	ТПЛУ-10/1000-У3
Секційний вимикач	$I_{1 \text{ ном}}-800 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-10 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	$I_{1 \text{ ав}}-524,7 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-6 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	0,5	ТПЛУ-10/800-У3
АД 500 кВт	$I_{1 \text{ ном}}-100 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-10 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	$I_{1 \text{ ном}}-62 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-6 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	0,5	ТПЛУ-10/100-У3
СД 1250 кВт	$I_{1 \text{ ном}}-200 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-10 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	$I_{1 \text{ ном}}-142 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-6 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	0,5	ТПЛУ-10/200-У3
СД 1100 кВт	$I_{1 \text{ ном}}-150 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-10 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	$I_{1 \text{ ном}}-125 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-6 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	0,5	ТПЛУ-10/150-У3
ТП-1000/6	$I_{1 \text{ ном}}-150 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-10 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	$I_{1 \text{ ном}}-96,3 \text{ А}$ $U_{\text{ном}}-6 \text{ кВ}$ $I_{2 \text{ ном}}-5 \text{ А}$	0,5	ТПЛУ-10/150-У3

Обираємо трансформатори власних потреб:

Таблиця 2.4. Технічні дані споживачів власних потреб ЗРП-6 кВ

Вид споживача	Установлена потужність			cos φ	tg φ	Навантаження	
	Потужн. спожив., кВт	Кільк.	Загальна потужн., кВт			P _{уст.} , кВт	Q _{уст.} , кВАр
Електро-нагрів. прилади	1,5	4	6	0,85	0,62	6,0	3,72
Освітлення	0,025	40	1	0,9	0,48 4	1,0	0,48
Експлуатаційні навантаження	-	-	4	0,85	0,62	4,0	2,48
Ремонтні навантаження	-	-	3	0,75	0,88	3,0	2,64
Разом						14,0	9,32

Розрахункове навантаження власних потреб:

$$S_{\text{роз.}} = k_c \cdot \sqrt{P_{\text{уст.}}^2 + Q_{\text{уст.}}^2} = 0,8 \cdot \sqrt{14^2 + 10,82^2} = 13,45 \text{ кВА} \quad (2.57)$$

де k_c - коефіцієнт попиту.

Потужність трансформаторів власних потреб:

$$S_T \geq \frac{S_{\text{роз.}}}{k_{\Pi}} = \frac{13,45}{1,4} = 9,61 \text{ кВА} \quad (2.58)$$

де k_{Π} - коефіцієнт перевантаження трансформатору,

Приймаємо до установки два трансформатори ТМ-10/6.

Обираємо за розрахунковими даними вимикачі для приєднань ЗРП-6 кВ:

Таблиця 2.5. Вибір вимикачів для підстанції ЗРП-6 кВ

Приєднання	Тип вимикача	Параметри вимикача	Розрахункові параметри
Ввідний вимикач	CNC ВВ/Н10М-1000-10-25	U _{ном} -10 кВ I _{ном} -1000 А I _{о ном} -25 кА I _{дин} -52 кА	U _{ном} -6 кВ I _{авар} -749,6 А I _{по розр} - 8,75 кА i _{уд} -22,32 кА
Секційний вимикач	CNC ВВ/Н10М-630-10-25	U _{ном} -10 кВ I _{ном} -630 А I _{о ном} -25 кА I _{дин} -52 кА	U _{ном} -6 кВ I _{авар} -524,7 А I _{по розр} - 8,59 кА i _{уд} - 21,9 кА
Вимикач СД 1250/1100 кВт	CNC ВВ/Н10М-630-10-25	U _{ном} -10 кВ I _{ном} -630 А I _{о ном} -25 кА I _{дин} -52 кА	U _{ном} -6 кВ I _{ном} -142/125 А I _{по розр} -8,0 кА i _{уд} - 20,5 кА
Вимикач ТП-1000 кВА	CNC ВВ/Н10М-630-10-25	U _{ном} -10 кВ I _{ном} -630 А I _{о ном} -25 кА I _{дин} -52 кА	U _{ном} -6 кВ I _{ном} -96,3 А I _{по розр} - 8,0 кА i _{уд} - 20,5 кА

Перевіряємо вимикач введення №1 на термічну стійкість [7]:

$$B_k = I_{no}^2 \cdot (t_B + T_a) = 8,75^2 \cdot (0,515 + 0,05) = 43,3 \text{ кА} \cdot \text{с} \quad (2.59)$$

де, B_k – тепловий імпульс струму КЗ,

I_{no}^2 – періодична складова струму КЗ

t_B – повний час вимикання струму КЗ, с;

T_a – постійна часу затухання аперіодичної струму КЗ

$$t_B = t_{pz} + t_{п\text{ вим}} = 0,45 + 0,065 = 0,515 \text{ с} \quad (2.60)$$

де, t_{pz} – час дії релейного захисту;

$t_{п\text{ вим}}$ – повний час відключення вимикача.

Для вибору вимикача повинна виконуватися умова

$$I_{o\text{ вим}}^2 \cdot t_{мс} \geq B_k \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} \quad (2.25)$$

$$25^2 \cdot 2 = 1250 \geq 43,3 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Умова виконується, приймаємо вимикачі серії CNC ВВ/Н10М для приєднань споживачів в ЗПР-6 кВ.

Перевірка кабелю 6 кВ на термічну стійкість для приєднань споживачів ЗРП-6 кВ. Тепловий імпульс КЗ в кабельній лінії кульового млина 1250 кВт:

$$B_k = I_{no}^2 \cdot (t_B + T_a) = 8,0^2 \cdot (0,515 + 0,05) = 36,2 \text{ кА} \cdot \text{с}$$

Визначаємо мінімальний переріз кабельної лінії кульового млина 1250 кВт:

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k \cdot 10^6}}{C} = \frac{\sqrt{36,2 \cdot 10^6}}{90} = 66,8 \text{ мм}^2 \quad (2.61)$$

де, $C=90 \text{ А} \cdot \text{с/мм}^2$

відповідно для кабельної лінії АД насосу 500 кВт:

$$B_k = I_{no}^2 \cdot (t_B + T_a) = 7,8^2 \cdot (0,515 + 0,05) = 34,4 \text{ кА} \cdot \text{с}$$

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k \cdot 10^6}}{C} = \frac{\sqrt{34,4 \cdot 10^6}}{90} = 65,1 \text{ мм}^2$$

мінімальний переріз для кабельної лінії ТП-1000:

$$B_k = I_{no}^2 \cdot (t_B + T_a) = 7,99^2 \cdot (0,515 + 0,05) = 36,07 \text{ кА} \cdot \text{с}$$

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k \cdot 10^6}}{C} = \frac{\sqrt{36,07 \cdot 10^6}}{90} = 66,7 \text{ мм}^2$$

2.2 Розрахунок та вибір уставок релейного захисту на терміналах

Розрахунок уставок захисту ввідного та секційного вимикача. Відповідно до вимог ПУЕ на секційному вимикачу повинен бути установлений МСЗ та АВР [11].

Визначаємо максимальний робочий струм високовольтних двигунів:

$$I_{\text{роб сд1}} = \frac{P_{сд}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{1250}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,94 \cdot 0,9} = 142 \text{ А} \quad (2.62)$$

$$I_{\text{роб сд2}} = \frac{P_{сд}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{1100}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,94 \cdot 0,9} = 125 \text{ А} \quad (2.63)$$

$$I_{\text{роб ад}} = \frac{P_{\text{сд}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,92 \cdot 0,85} = 62 \text{ А} \quad (2.64)$$

Номинальний струм трансформатору на стороні ВН:

$$I_{\text{ном тр ВН}} = \frac{S_{\text{ном тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном ВН}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96,3 \text{ А} \quad (2.65)$$

Визначаємо пускові струми для високовольтних двигунів ЗРП-6 кВ:

$$I_{\text{пуск сд 1250 кВТ}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{роб сд1}} = 5,9 \cdot 142 = 838 \text{ А} \quad (2.66)$$

$$I_{\text{пуск сд 1100 кВТ}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{роб сд1}} = 5,9 \cdot 125 = 738 \text{ А} \quad (2.67)$$

$$I_{\text{пуск сд 1250 кВТ}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{роб сд1}} = 6,1 \cdot 62 = 378 \text{ А} \quad (2.68)$$

Визначаємо пускові струми для споживачів ТП-1000 кВА:

$$I_{\text{пуск тп 1000 кВА}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном тр ВН}} = 2,5 \cdot 96,3 = 241 \text{ А} \quad (2.69)$$

Визначаємо максимальний струм 1-ої секції шин ЗРП-6 кВ:

$$I_{\text{роб max 1сш}} = \sum I_{\text{роб max } i} = 2 \cdot 96,3 + 2 \cdot 142 + 2 \cdot 125 + 62 = 789 \text{ А} \quad (2.70)$$

Опір системи в максимальному режимі:

$$X_{\text{с max}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз max}}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 8754} = 0,42 \text{ Ом} \quad (2.71)$$

З раніше виконаних розрахунків маємо опір трансформатору на стороні НН:

$$X_{\text{т1 min нн}} = 0,045 \text{ Ом} \quad (2.72)$$

Розраховуємо загальний пусковий струм на 1-ій секції шин ЗРП-6 кВ:

$$I_{\text{пуск 1сш}} = \sum I_{\text{пуск}} = 2 \cdot 838 + 2 \cdot 738 + 2 \cdot 241 + 378 = 4012 \text{ А} \quad (2.73)$$

Визначаємо еквівалентний опір навантаження:

$$X_{\text{нав}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{пуск 1сш}}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 4012} = 0,91 \text{ Ом} \quad (2.74)$$

Струм само запуску дорівнює:

$$I_{\text{сзп 1сш}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot (X_{\text{с max}} + X_{\text{т1 min нн}} + X_{\text{нав 1сш}})} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot (0,42 + 0,045 + 0,91)} = 2648 \text{ А} \quad (2.75)$$

Коефіцієнт самозапуску визначаємо за формулою:

$$K_{\text{сзп}} = \frac{I_{\text{сзп 1сш}}}{I_{\text{роб max 1сш}}} = \frac{2648}{789} = 3,3 \quad (2.76)$$

Проводимо відповідні розрахунки для 2-ої секції шин:

Визначаємо максимальний струм 2-ої секції шин ЗРП-6 кВ:

$$I_{\text{роб max 2сш}} = \sum I_{\text{роб max } i} = 96,3 + 142 + 125 + 62 = 426 \text{ А}$$

Розраховуємо загальний пусковий струм на 2-ій секції шин ЗРП-6 кВ:

$$I_{\text{пуск 2сш}} = \sum I_{\text{пуск}} = 838 + 738 + 241 + 378 = 2195 \text{ А}$$

Визначаємо еквівалентний опір навантаження:

$$X_{\text{нав 2сш}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{пуск 2сш}}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 2195} = 1,65 \text{ Ом}$$

Струм самозапуску дорівнює:

$$I_{\text{сзп 2сш}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot (x_{\text{с max}} + X_{\text{T1 min нн}} + x_{\text{нав 2сш}})} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot (0,42 + 0,045 + 1,65)} = 1722 \text{ А}$$

Коефіцієнт самозапуску визначаємо за формулою:

$$K_{\text{сзп}} = \frac{I_{\text{сзп 2сш}}}{I_{\text{роб max 2сш}}} = \frac{1722}{426} = 4,04$$

Визначаємо струм спрацювання МТЗ з умови відлаштування від самозапуску двигунів навантаження після відновлення живлення діями АВР:

$$I_{1\text{сш}} = \frac{K_{\text{відл}} \cdot K_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{роб max 1сш}}}{K_{\text{пов}}} = \frac{1,2 \cdot 3,3 \cdot 789}{0,95} = 3289 \text{ А} \quad (2.77)$$

$$I_{2\text{сш}} = \frac{K_{\text{відл}} \cdot K_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{роб max 2сш}}}{K_{\text{пов}}} = \frac{1,2 \cdot 4,04 \cdot 426}{0,95} = 2174 \text{ А}$$

де, $K_{\text{відл}}$ – коефіцієнт відлаштування, враховуючий похибку реле та необхідний запас;

$K_{\text{пов}}$ – коефіцієнт повернення, для МП терміналів АВВ = 0,95.

Приймаємо струм спрацювання секційного вимикача 3289 А. Час спрацювання МСЗ обираємо за вимогою забезпечення селективності з захистами приєднання обох секцій [8].

За умовою час спрацювання захистів приєднань дорівнює близько 0,6 с, ступінь селективності для терміналів АВВ приймаємо 0,25 с. Відповідно час спрацювання МСЗ секційного вимикача дорівнює 0,85 с.

Розрахунок спрацювання захисту трансформаторів 6/0,4 кВ.

На підстанціях рудничозбагачувальної фабрики №1 необхідно приділити увагу також захисту силових трансформаторів ТП-17, так як від них живиться відповідальне низьковольтне обладнання з напругою 0,4 кВ (електромостові крани, насоси, привода конвеєрів та ін).

Дані трансформатори є важливими елементами живлення цих споживачів. Тому слід також враховувати вибір захисту даних елементів.

На підстанціях РЗФ-1 використовуються масляні силові трансформатори типу ТМ-1000/6 з напругою 6/0,4 кВ та з групою з'єднання обмоток У/У₀-12(0).

Під час експлуатації силових трансформаторів в них можуть виникати різні пошкодження [3], наприклад:

- однофазні замикання на землю на стороні ВН;
- двофазні та трифазні замикання на стороні ВН;
- виткові замикання обмоток трансформатора;
- однофазні та міжфазні короткі замикання за трансформатором.

Щоб визначити параметри спрацювання релейного захисту силового трансформатора, необхідно розрахувати значення струмів короткого замикання.

Силові масляні трансформатори можуть витримувати перевантаження у 1,5 рази більше від їх номінального струму. Для даного типу трансформаторів аварійним режимом є пониження рівня масла в баці.

Також ненормальним режимом є зростання тиску трансформаторного масла в баці при його роботі в навантаженому стані, що переважає допустимі значення. Щоб зберегти бак від пошкодження необхідно встановити мановакуумметр. Він буде спрацьовувати при підвищенні рівня масла в баці та відмикати трансформатор, коли будуть небезпечні значення тиску.

Характеристики трансформаторів ТП-17:

- тип ТМ-1000/6-УЗ;
- схема з'єднання обмоток Y/Y₀-12(0);
- номінальна потужність трансформатору $S_{\text{ном тр}}=1000$ кВА;
- номінальна напруга високої сторони – 6 кВ;
- номінальна напруга низької сторони – 0,4 кВ;
- $u_{\text{к тр}} = 5,5\%$ - напруга короткого замикання трансформатору;
- $\Delta P_{\text{кз тр}} = 10,8$ кВт – активні втрати при КЗ в трансформаторі.

Вибір уставок спрацювання МСЗ трансформатору на стороні ВН.

Номінальний струм трансформатору на стороні ВН:

$$I_{\text{ном тр ВН}} = \frac{S_{\text{ном тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном ВН}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96,3 \text{ А} \quad (2.78)$$

Визначаємо максимальний робочий струм захищеного трансформатору [10]:

$$I_{\text{роб max}} = k_{\text{пер}} \cdot I_{\text{ном тр ВН}} = 1,5 \cdot 96,3 = 144,5 \text{ А} \quad (2.79)$$

$k_{\text{пер}}$ – коефіцієнт перевантаження для масляного трансформатору;

Попередньо обрана уставка МТЗ за струмом спрацювання:

$$I_{\text{сз МТЗ тр}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзп}}}{k_{\text{п}}} \cdot I_{\text{роб max}} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,95} \cdot 144,5 = 274 \text{ А} \quad (2.80)$$

$k_{\text{н}} = 1,2$ – коефіцієнт надійності;

$k_{\text{сзп}} = 1,5$ – коефіцієнт самозапуску навантаження;

$k_{\text{п}} = 0,95$ – коефіцієнт повернення.

Визначимо повний опір трансформатору:

$$z_{\text{тр}} = \frac{u_{\text{к тр}} \cdot U_{\text{ср}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном ВН}}} = \frac{5,5 \cdot 6300^2}{100 \cdot 10^6} = 2,18 \text{ Ом} \quad (2.81)$$

Активний опір трансформатора дорівнює:

$$r_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз тр}} \cdot U_{\text{ср}}^2}{S_{\text{ном тр}}^2} = \frac{10,8 \cdot 10^3 \cdot 6300^2}{(630 \cdot 10^3)^2} = 0,43 \text{ Ом} \quad (2.82)$$

Реактивний опір трансформатору дорівнює:

$$x_{\text{тр}} = \sqrt{z_{\text{тр}}^2 - r_{\text{тр}}^2} = \sqrt{2,18^2 - 0,43^2} = 2,14 \text{ Ом} \quad (2.83)$$

Визначаємо максимальний струм трифазного КЗ за трансформатором $I_{\text{кз max тр}}^{(3)}$, віднесений до сторони ВН:

$$I_{\text{кз max тр}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3 \cdot ((R_{\text{min к4}} + r_{\text{тр}})^2 + (x_{\text{тр}})^2)}} \quad (2.84)$$

$$I_{\text{кз max тр}}^{(3)} = \frac{6300}{\sqrt{3 \cdot ((0,461 + 2,14)^2 + (0,43)^2)}} = 1379 \text{ А}$$

Мінімальний струх двофазного КЗ за трансформатором віднесений до сторони ВН трансформатору:

$$I_{\text{кз min тр}}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\text{кз max тр}}^{(3)} = 0,87 \cdot 1379 = 1200 \text{ А} \quad (2.85)$$

Перевірка за коефіцієнтом чутливості:

$$I_{\text{чут сз тр}} = \frac{I_{\text{кз min тр}}^{(2)}}{I_{\text{сз тр}}} = \frac{1200}{274} = 4,38 \quad (2.86)$$

Уставка спрацювання МСЗ на мікропроцесорному терміналі за струмом:

$$I_{\text{сз мп тр}} = \frac{I_{\text{сз тр}}}{k_{\text{тт тр}}} = \frac{274}{30} = 9,1 \text{ А} \quad (2.87)$$

$k_{\text{тт тр}}$ – коефіцієнт трансформації струму для ТС 150/5А

Вибір спрацювання струмової відсічки (СВ) трансформатору на стороні ВН:

Попередньо обираємо відсічку за струмом:

$$I_{\text{св тр}} = k_{\text{від}} \cdot I_{\text{кз max тр}}^{(3)} = 1,3 \cdot 1379 = 1793 \text{ А} \quad (2.88)$$

$k_{\text{від}}$ – коефіцієнт відлаштування (враховує похибку та запас)

Мінімальний струх двофазного КЗ на введенні сторони ВН трансформатору:

$$I_{\text{кз min кл до тр}}^{(2)} = 6261 \text{ А}$$

Перевірка уставки струмової відсічки за коефіцієнтом чутливості:

$$k_{\text{чут св тр}} = \frac{I_{\text{кз min кл до тр}}^{(2)}}{I_{\text{св тр}}} = \frac{6261}{1793} = 3,49 \quad (2.89)$$

Уставка спрацювання СВ за струмом:

$$I_{\text{св мп тр}} = \frac{I_{\text{св тр}}}{k_{\text{тт тр}}} = \frac{1793}{30} = 59,8 \text{ А} \quad (2.90)$$

Струмова відсічка буде виконувати функцію додаткового захисту і буде спрацьовувати без витримки часу.

Вибір уставки захисту від перевантаження трансформатору

$$I_{\text{сз перев тр}} = \frac{k_{\text{перев}}}{k_{\text{пов}}} \cdot I_{\text{ном ВН}} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 96,3 = 106 \text{ А} \quad (2.91)$$

$k_{\text{перев}} = 1,05$ – коефіцієнт тривало допустимого перевантаження трансформатору;

$k_{\text{пов}} = 0,95$ – коефіцієнт повернення.

Обираємо час спрацювання захисту 10 с. Захист буде діяти на сигнал.

Захист трансформатору та КЛ від однофазних замикань на землю. Розраховуємо ємнісний струм приєднання:

$$I_{\text{емн кл}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{\text{пит}} \cdot l_{\text{кл}} \cdot 10^{-3} \quad (2.92)$$

$$I_{\text{емн кл}} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,35 \cdot 0,082 \cdot 10^{-3} = 0,093 \text{ А}$$

де, $C_{\text{пит}}$ – питома ємність кабелю 70 мм², при напрузі мережі 6 кВ.

$l_{\text{кл}}$ – довжина кабельної лінії до ТП-17.

Визначаємо струм спрацювання захисту від ОЗЗ:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{бр}}}{k_{\text{пов}}} \cdot I_{\text{емн кл}} = \frac{1,2 \cdot 2}{0,95} \cdot 0,093 = 0,235 \text{ А} \quad (2.93)$$

Визначаємо струм спрацювання у вторинних вимірювальних колах:

$$I_{\text{сз вт}} = \frac{3 \cdot I_0}{k_{\text{тт}}} = \frac{0,235}{30} = 0,0078 \text{ А} \quad (2.94)$$

Цифровий термінал не може надійно працювати з уставкою по вторинному струмі 7,8 мА за умовами магнітної сумісності. Збільшимо первинний струм до значення 0,5 А. В цьому випадку вторинний струм спрацювання складе: $0,6/30 = 0,02 \text{ А}$.

Приймаємо витримку часу спрацювання 1-ого ступеню захисту від ОЗЗ – 0,1 с. Захист буде працювати на сигнал.

Релейний захист високовольтних двигунів ЗРП-6 кВ. Види та призначення захистів високовольтних двигунів. Синхронні та асинхронні високовольтні двигуни згідно ПУЕ [2] повинні бути оснащені такими захистами як: струмова відсічка (для двигунів потужністю менше 2000 кВт), максимальним струмовим захистом (МСЗ) від перевантажень, струмовим захистом від однофазних замикань на землю (ОЗЗ), та захистом мінімальної напруги.

Синхронні двигуни, крім того, забезпечуються захистом від асинхронного режиму та захистом від несиметричних режимів роботи електродвигуна. Захист СД від асинхронного режиму, зазвичай поєднують з МСЗ від перевантажень.

Види пошкоджень та ненормальних режимів двигунів

До пошкоджень ЕД [4] відносяться багатофазні КЗ в обмотці статора, однофазні замикання на корпус або землю, виткові замикання в одній фазі, замикання та обриви в колах збудження СД.

За статистикою пошкодження обмотки статора – саме часте пошкодження ЕД. В загальному числі відмов ЕД пошкодження обмотки статора займає біля 45%.

Міжфазні КЗ в обмотці статора – найбільш небезпечні пошкодження, що викликають значне пошкодження ЕД. На ЕД потужністю менше 5000 кВт в якості захисту від міжфазних КЗ використовується струмова відсічка без витримки часу.

Однофазні замикання на землю (ОЗЗ) визначається режимом замикання нейтралі живлячої мережі. В нашому випадку в мережі з ізольованою нейтраллю захист від ОЗЗ встановлюється на двигун потужністю менше 2000 кВт в тому випадку, якщо струм ОЗЗ перевищує 10 А.

Виткові замикання обмотки статора ЕД небезпечні тим, що викликають місцеве нагрівання ізоляції, при цьому фазний струм практично не змінюється. Спеціального захисту від цього пошкодження немає.

Ненормальні режими роботи ЕД. До таких режимів відносяться технологічні перевантаження, тривалий пуск ЕД, надструми при понижені напруги, асинхронний хід СД, а також надструми при відновлені напруги після його короточасного зникнення. Для СД також відносять обриви в колах збудження.

Технологічні перевантаження. Надструми можуть частково перевищувати номінальні струми ЕД, тому захист від перевантажень діє з великою витримкою часу на автоматичне розвантаження механізму або на його відключення.

Для захисту ЕД при тривалому пуску використовується МСЗ ЕД.

Вибір захисту та уставок для синхронного двигуна кульового млина потужністю 1250 кВт.

Параметри двигуна:

- номінальна напруга – 6 кВ;
- номінальний струм – 142 А;
- кратність пускового струму – 6,1 $I_{ном}$;
- $\cos \varphi = 0,9$;
- ККД = 0,95.

Відповідно до ПУЕ для двигуна потужністю до 2000 кВт необхідно встановити струмову відсічку, що відбудована від струмів самозапуску, захист від перевантаження, захист мінімальної напруги та захист від однофазних замикань на землю. Для СД необхідно виконати захист від асинхронного режиму.

Струм спрацювання відсічки відбудовується від пускового струму електродвигуна та від струму що генерує ЕД при міжфазному КЗ, отже пусковий струм дорівнює [5]:

$$I_{пуск\ дв} = k_{п} \cdot I_{ном} = 6,1 \cdot 142 = 866 \text{ А} \quad (2.95)$$

Обираємо струм спрацювання струмової відсічки за виразом:

$$I_{св} \geq 2,5 \cdot I_{пуск\ дв} = 2,5 \cdot 866 = 2166 \text{ А} \quad (2.96)$$

Маючи значення струму двофазного КЗ $I_{к}^{(2)}$ (табл.2.3) на введенні живлення ЕД, визначимо коефіцієнт чутливості:

$$k_{ч}^{(2)} = \frac{I_{к}^{(2)}}{I_{св}} = \frac{6311}{2166} = 2,91 \quad (2.97)$$

У вимірювальних колах струм спрацювання відсічки дорівнює:

$$I_{св} = \frac{2166}{40} = 54,2 \text{ А} \quad (2.98)$$

Так як коефіцієнт чутливості є недостатньо великим, виконаємо додатковий захист (2-ий ступінь захисту МСЗ) з незалежною характеристикою та струмом спрацювання:

$$I_{мсз} = 1,5 \cdot I_{пуск\ дв} = 1,5 \cdot 885 = 1328 \text{ А} \quad (2.99)$$

$$t_{мсз} = 0,1 \text{ с} \geq t_{\text{кид пуск стр}}$$

$t_{\text{кид пс}}$ – час кидка пускового струму

Розрахунок захисту від однофазного замикання на землю (ОЗЗ). Виконаємо захист від ОЗЗ з витримкою часу 0,1 с для відлаштування від перехідних процесів, що пов'язані з перезарядом ємностей мережі.

Значення ємності статорної обмотки дорівнює:

$$I_{\text{емн дв}} = 2\pi \cdot f_{\text{ном}} \cdot \sqrt{3} \cdot C_{\text{дв}} \cdot U_{\text{ном дв}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,73 \cdot 7,7 \cdot 10^{-9} \cdot 6000 = 0,025 \text{ А} \quad (2.100)$$

Значення ємності ЕД дорівнює:

$$C_{\text{дв}} = \frac{0,0187 \cdot S_{\text{ном дв}} \cdot 10^{-6}}{1,2 \cdot \sqrt{U_{\text{ном дв}} \cdot (1 + 0,08 \cdot U_{\text{ном дв}})}} \quad (2.101)$$

$$C_{\text{дв}} = \frac{0,0187 \cdot 1,478 \cdot 10^{-6}}{1,2 \cdot \sqrt{6 \cdot (1 + 0,08 \cdot 6)}} = \frac{0,0187 \cdot 1,478 \cdot 10^{-6}}{3,576} = 7,7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

Визначаємо ємність струму кабельної лінії СД 1250 кВт:

$$I_{\text{емн кл}} = I_{\text{с кл}} \cdot l_{\text{кл}} = 0,8 \cdot 0,074 = 0,06 \text{ А} \quad (2.102)$$

де, $I_{\text{с кл}} = 0,80 \text{ А/км}$ – питомий ємнісний струм, при напрузі мережі 6 кВ для алюмінієвого кабелю з перерізом 70 мм²;

$l_{\text{кл}}$ – довжина кабельної лінії СД.

Визначаємо струм спрацювання захисту від ОЗЗ:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{бр}}}{k_{\text{пов}}} \cdot (I_{\text{емн дв}} + I_{\text{емн кл}}) = \frac{1,2 \cdot 2}{0,96} \cdot (0,025 + 0,06) = 0,21 \text{ А} \quad (2.103)$$

Визначаємо струм спрацювання у вторинних вимірювальних колах:

$$I_{\text{сз вт}} = \frac{3 \cdot I_0}{k_{\text{тт}}} = \frac{0,21}{40} = 0,005 \text{ А} \quad (2.104)$$

Цифровий термінал не може надійно працювати з уставкою по вторинному струмі 5 мА за умовами магнітної сумісності. Збільшимо первинний струм до значення 1 А. В цьому випадку вторинний струм спрацювання складе: $1/40 = 0,025 \text{ А}$.

Приймаємо витримку часу спрацювання 1-ого ступеню захисту від ОЗЗ – 0,1 с.

Приймаємо уставку спрацювання захисту від подвійного замикання на землю, що дорівнює 100 А. Цей захисту буде спрацьовувати без витримки часу.

Розрахунок захисту ЕД від мінімальної напруги (ЗМН). Для синхронних двигунів цей захист є резервним.

1-ий ступінь ЗМН (відключення невідповідних ЕД при короткочасних перервах живлення з метою полегшити самозапуск відповідальних ЕД після відновлення живлення).

2-ий ступінь ЗМН (для відключення всіх ЕД при тривалому зникненні напруги за умовами технологічного процесу та техніки безпеки).

Уставка спрацювання приймається більшою, ніж залишкова напруга, при якій можливий самозапуск ЕД, та меншою ніж залишкова напруга при пусках окремих двигунів:

$$U_{с змн1} = (0,6 \div 0,7) \cdot U_{ном} = 0,65 \cdot 6000 = 3900 \text{ В} \quad (2.106)$$

Час спрацювання приймаємо за умовами відлаштування від часу спрацювання швидкодіючих захистів приєднань:

$$t_{с змн1} = 0,5 \text{ с}$$

Уставку спрацювання 2-ого ступеню ЗМН приймаємо за умовою повернення при самозапуску ЕД:

$$U_{с змн2} = \frac{U_{сзп}}{k_H \cdot k_{пов}} = (0,4 \div 0,5) \cdot U_{ном} = 0,45 \cdot 6000 = 2700 \text{ В} \quad (2.107)$$

Час спрацювання зазвичай приймають:

$$t_{с змн2} = 5 \div 10 \text{ с} \quad (2.106)$$

Приймаємо $t_{с змн2} = 8 \text{ с}$.

Захист від перевантаження СД (з дією на сигнал). Струм спрацювання від перевантаження СД відлаштовується від номінального струму статора:

$$I_{с.пер.сиг} = \frac{k_{від}}{k_{пов}} \cdot I_{ном.дв.} = \frac{1,15}{0,95} \cdot 145 = 176 \text{ А} \quad (2.108)$$

Визначаємо струм спрацювання захисту у вторинних колах:

$$I_{с.пер. 2} = \frac{176}{40} = 4,4 \text{ А} \quad (2.109)$$

Витримка часу має бути більшою за час пуску, приймаємо 15 с.

Захист від перевантаження СД (з дією на відключення).

Визначимо струм при тривалому затяжному пуску двигуна:

$$I_{с.пер.від} = \frac{k_{пуск.дв.}}{1,2 \cdot k_{пов}} \cdot I_{ном.дв.} = \frac{6,1}{1,2 \cdot 0,95} \cdot 145 = 776 \text{ А} \quad (2.110)$$

Час спрацювання захисту від тривалого пуску визначимо за умовою:

$$t_{с з зп} \geq 1,5 \cdot t_{пуск.дв.} = 1,5 \cdot 6 = 9 \text{ с} \quad (2.111)$$

Розрахунок захисту СД від асинхронного режиму роботи.

Захист працює на фіксації періодичних коливань струму статора. Струм спрацювання захисту знаходимо за виразом:

$$I_{с.з. AP} = \frac{k_{над}}{k_{пов}} \cdot I_{ном.дв.} = \frac{1,25}{0,95} \cdot 145 = 191 \text{ А} \quad (2.112)$$

де, $k_{над}$ – коефіцієнт надійності (приймається 1,2-1,3);

$k_{пов}$ – коефіцієнт повернення.

Час спрацювання захисту, що діє на перехід СД в асинхронний режим без збудження та розвантаження механізму, приймається на ступінь селективності більше часу відключення КЗ в мережі, що супроводжуються струмом живлення від двигуна більшим ніж струм $I_{с.з. AP}$ (191 А), але не менше ніж 1,5 с.

Час спрацювання ступеню захисту, що діє на відключення, приймаємо за умови:

$$t_{с.з.AP} \geq k_{над} \cdot t_{пуск.дв.} = 1,25 \cdot 6 = 7,5 \text{ с} \quad (2.113)$$

Розрахунок захисту пристрою резервування при відмові вимикача. Ця функція призначена для відімкнення суміжних вимикачів мережі при відмові вимикача ЕД. Це дозволить мінімізувати пошкодження в ЗРП-6 кВ в умовах відмови вимикача ЕД.

Функція ПРВВ цифрового терміналу виконує контроль струму в захищеному колі після сигналу відключення вимикача. При відключенні ЕД вимикачем ПРВВ повинен зафіксувати значення струму нижче ніж уставка ПРВВ.

Струм пуску ПРВВ $I_{\text{ПРВВ}}$ обирають з діапазону $0,05 - 0,20 I_{\text{НОМ.ДВ}}$.
Отже уставка по струму дорівнює:

$$I_{\text{ПРВВ}} = 0,10 \cdot I_{\text{НОМ.ДВ}} = 14,5 \text{ А} \quad (2.114)$$

Час затримки формування вихідного сигналу ПРВВ при спрацюванні захистів, що діють на відключення, визначають по формулі:

$$t_{\text{ПРВВ}} = t_{\text{ВИМ}} + t_{\text{ПОВ.РЗ}} + t_{\text{ПОМ.РЧ}} + t_{\text{ЗАП}} = 0,05 + 0,02 + 0,25 + 0,1 = 0,42 \text{ с}$$

де, $t_{\text{ВИМ}}$ – час відключення вимикача (0,05-0,1с);

$t_{\text{ПОВ.РЗ}}$ – час, необхідний для повернення РЗ терміналу, що вмикає ПРВВ;

$t_{\text{ПОМ.РЧ}}$ – час похибки реле ПРВВ (для цифрових терміналів – 0,01с);

$t_{\text{ЗАП}}$ – запас за часом (зазвичай приймається 0,1с).

Розрахунок мінімального струмового захисту СД. Це технологічний захист який призначений для виявлення ненормального режиму роботи ЕД при аварійному скиданні навантаження на валу ЕД. Захист виконується на сигнал. Визначаємо струм спрацювання:

$$I_{\text{С.З.МІН.}} = (0,20 \div 0,60) \cdot I_{\text{НОМ.ДВ}} = 0,42 \cdot 145 = 61 \text{ А} \quad (2.115)$$

Визначаємо струм спрацювання захисту у вторинних колах:

$$I_{\text{С.З.МІН.2}} = \frac{I_{\text{С.З.МІН.}}}{k_{\text{ТТ}}} = \frac{61}{40} = 1,5 \text{ А}$$

Час спрацювання мінімального струмового захисту обираємо 4 с.

2.3 Дослідження режимних параметрів системи на математичній моделі

Всі робочі режими електричних систем практично є несиметричними. Несиметрія заключається в нерівності векторів напруги й струмів окремих фаз живлення підстанцій РЗФ-1. В основному, несиметрія має невеликі значення, але виникають режими, при яких вона може стати суттєвою, і тому це потрібно буде враховувати при дослідженні режимних параметрів.

Для дослідження несиметричних режимів використовують їх повні трифазні моделі (рис.2.2) [12]:

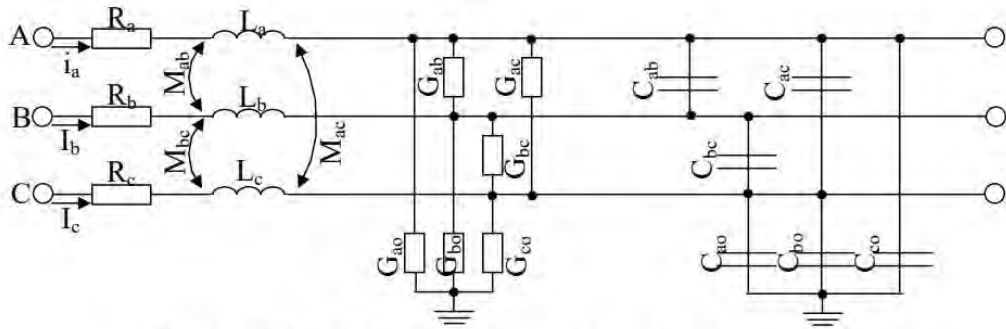


Рисунок 2.2. Схема заміщення трифазної мережі

$$\begin{aligned}
 -\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ba} & L_b & M_{bc} \\ M_{ca} & M_{cb} & L_c \end{bmatrix} \frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}; \\
 -\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} G_{a0} & G_{ab} & G_{ac} \\ G_{ba} & G_{b0} & G_{bc} \\ G_{ca} & G_{cb} & G_{c0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{a0} & C_{ab} & C_{ac} \\ C_{ba} & C_{b0} & C_{bc} \\ C_{ca} & C_{cb} & C_{c0} \end{bmatrix} \frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} \quad (2.116)
 \end{aligned}$$

Тут U_a, U_b, U_c ; i_a, i_b, i_c – миттєві значення струмів і напруг у відповідних фазах ліній живлення.

R_a, R_b, R_c ; L_a, L_b, L_c – активні опори і коефіцієнти самоіндукції фаз живлення.

M_{ab}, M_{bc}, M_{ac} – коефіцієнти взаємоіндукції між фазами.

G_{a0}, G_{b0}, G_{c0} ; C_{a0}, C_{b0}, C_{c0} – активні провідності і ємності між фазами і землею.

G_{ab}, G_{bc}, G_{ac} ; C_{ab}, C_{bc}, C_{ac} – активні провідності і ємності між відповідними фазами.

В системі електропостачання із симетризуванням фазних параметрів їх для окремих фаз лінії можна вважати однаковими. В цьому випадку матриці фазних параметрів стають симетричними

Розв'язання даної системи рівнянь дозволить визначити всі режимні зміни електропередачі.

Висновок до розділу №2

В даному розділі було визначено загальне навантаження споживачів ЗРП-6 кВ, розраховано струми КЗ в точках електропостачання та складено відповідну схему з зазначенням цих точок.

Виконано аналіз видів пошкоджень та ненормальних режимів електрообладнання. Після розрахунків параметрів роботи електроспоживачів обрано відповідні трансформатори струмів, високовольтних вимикачів, трансформаторів живлення власних потреб на підстанції.

Також було розраховано мінімальний та максимальний опір системи електропостачання, максимальне навантаження ЗРП-6 кВ, обрано захист для відповідних приєднань та розраховано уставки для мікропроцесорних терміналів релейного захисту, в загальному плані досліджено режимні параметри енергосистеми на математичній моделі.

Під час розрахунків можна виділити значно більший коефіцієнт повернення в мікропроцесорних терміналах ($k_{пов} = 0,95$) порівняно з електромеханічними реле ($k_{пов} = 0,8 \div 0,85$).

3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ

Приклад №1

Розрахунок техніко-економічної ефективності мікропроцесорного захисту виконується у відповідності з методикою визначення економічної ефективності впровадження та використання нової техніки на промисловому підприємстві, методів економічної оцінки в електроенергетиці та особливості функціонування релейного захисту електроустановок на підстанціях.

Згідно ПУЕ основним призначенням релейного захисту є забезпечення безперебійної роботи технологічного процесу на виробництві.

Під час досліджень та розрахунків пристрої релейного захисту на електромеханічній основі показали себе більш повільними та застарілими, тому пропонується їх заміна на сучасні мікропроцесорні термінали.

В якості нової техніки пропонується встановлення на підстанції ЗРП-6 кВ мікропроцесорних терміналів типу ABB REF-615 та ABB REM-615.

Новий мікропроцесорний захист дає нові переваги:

- постійну самодіагностику;
- адаптацію до зміни режимів на виробництві;
- сумісність з існуючими захистами;
- швидке переналаштування необхідних параметрів та уставок спрацювання;
- зменшення об'ємів налагоджувальних та монтажних робіт;
- можливість дистанційного перегляду в реальному часі та організації контролю вищого рівня.

Економічна ефективність впровадження нової техніки являє собою сумарну економію всіх виробничих ресурсів:

- капітальних вкладень;
- матеріальних ресурсів;
- праці персоналу, тощо.

Визначення річного економічного ефекту засновується на порівнянні зведених річних затрат по базовій та новій техніці. Формула для витрат [6]:

$$З = P_n \cdot K + U + З \quad (3.1)$$

де P_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, встановлений директивними органами (коефіцієнт дисконтування приймається рівним 0,1);

K – сумарне капіталовкладення на побудову мікропроцесорного релейного захисту, грн.;

U – річні експлуатаційні витрати, грн.;

Z – можливий річний збиток, грн/рік.

Сумарні капіталовкладення на впровадження мікропроцесорних пристроїв релейного захисту на підстанції ЗРП-6 кВ складуть:

$$K = K_B + K_M + K_H \quad (3.2)$$

де K_B – вартість мікропроцесорного пристрою релейного захисту;

K_M – витрати на монтаж пристроїв;

K_H – витрати на налаштування пристроїв.

Так як на підприємстві монтаж та налаштування цифрових пристроїв захисту виконає бригада електромонтерів дільниці релейного захисту електротехнічної лабораторії в робочу зміну, маємо тільки витрати на закупівлю даних пристроїв. Отже:

$$K = \text{ЦІНА}_{\text{РЕМ615}} = 86\,280 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати:

$$U = U_a + U_o \quad (3.3)$$

де U_a – річні амортизаційні відрахування, грн./рік;

U_o – річні витрати на обслуговування (поточний ремонт та заробітну плату працівників), грн./рік.

Річні амортизаційні відрахування:

$$U_a = P_a \cdot K = 0,15 \cdot 86\,280 = 12\,942 \text{ грн/рік,}$$

де P_a – коефіцієнт амортизаційних відрахувань, ($P_a=0,15$).

Річні витрати на обслуговування:

$$U_o = P_o \cdot K = 0,025 \cdot 86\,280 = 2\,157 \text{ грн/рік,}$$

де P_o – коефіцієнт витрат на обслуговування, ($P_o=0,025$).

Річні експлуатаційні витрати для одного терміналу мікропроцесорного захисту:

$$U_{p\text{мп}} = U_a + U_o = 12\,942 + 2\,157 = 15\,099 \text{ грн/рік} \quad (3.4)$$

Визначимо річні збитки при відмові електромеханічного захисту:

$$Z_{p\text{ем}} = P_{\text{ем}} \cdot V_a \cdot t_{\text{пр}} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 100\,000 \cdot 4 = 4\,000 \text{ грн/рік} \quad (3.5)$$

де $P_{\text{ем}}$ – ймовірність відмови існуючого електромеханічного захисту на підстанціях ЗРП-6 кВ ($P_{\text{ем}} = 10 \cdot 10^{-3}$ 1/рік);

V_a – приведена вартість від недовипуску продукції на ГЗК під час простою електрообладнання ($Z_a = 100\,000$ грн/год);

$t_{\text{пр}}$ – час простою обладнання (усунення аварії), год.

Визначимо річні збитки при відмові мікропроцесорного захисту:

$$Z_{p\text{мп}} = P_{\text{мп}} \cdot V_a \cdot t_{\text{пр}} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 100\,000 \cdot 2 = 400 \text{ грн/рік}$$

де $P_{\text{мп}}$ – ймовірність відмови мікропроцесорного релейного захисту ($P_{\text{мп}} = 2 \cdot 10^{-3}$ 1/рік);

Порівняємо експлуатаційні витрати електромеханічних та мікропроцесорних реле:

Річні експлуатаційні витрати для електромеханічних реле приєднання кульового млина 1250 кВт – $U_{\text{ем}} = 39\,897$ грн/рік

Загальний річний економічний ефект:

$$E_p = (Z_{p\text{ем}} - Z_{p\text{мп}}) + (U_{\text{ем}} - U_{\text{мп}}) \quad (3.6)$$

$$E_p = (4\,000 - 400) + (39\,897 - 15\,099) = 28\,398 \text{ грн/рік}$$

Визначаємо термін окупності пристрою мікропроцесорного захисту ABB REM615:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_p} = \frac{86\,280}{28\,398} = 3,04 \text{ року} \quad (3.7)$$

Відповідно коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{1}{T_{ок}} = \frac{1}{3,04} = 0,329 \quad (3.8)$$

$$E > 0,329$$

Таблиця 3.1. Порівняння ефективності мікропроцесорного та електромеханічного захисту ЗРП-6 кВ РЗФ-1 на приєднанні СД 1250 кВт

№ п/п	Показник	Одиниця виміру	Електро-механічний захист	Мікропроцесорний захист
1	Вартість захисту	Грн.	-	86 280
2	Річні експлуатаційні витрати	Грн./рік	39 897	15 099
3	Ймовірність відмови захисту	10^{-3} 1/рік	10	2
4	Ймовірний збиток при відмові захисту	Грн./рік	4 000	400
5	Ймовірність спрацювання захисту за вимогою	В.о.	0,99	0,998
6	Час пошуку та ліквідації несправностей після аварії	Год.	4	2
7	Економічний ефект	Грн./рік	-	28 398

Розрахунковий термін окупності склав близько 3,04 року, що цілком відповідає нормативним вимогам економічної ефективності капітальних вкладень у електроенергетичне обладнання на промисловому підприємстві.

Приклад №2

Вихідні дані:

$S_{ЗРП-6кВ} = 7,78 \text{ МВА}$ – повна потужність навантаження ЗРП-6 кВ;

$W_{кз} = 4 \text{ пошк./рік}$ – середньостатистична частота аварій ЗРП-6кВ;

$t_{ав рем} = 4,5 \text{ год./пошк.}$ – тривалість аварійного ремонту;

$d = 800\,000 \text{ грн.}$ – середньорічні розрахункові питомі втрати.

Визначаємо тривалість річного відновлювального періоду пошкодженої ланки ЗРП-6кВ [9]:

$$T_B = \frac{t_{ав рем}}{8760} = \frac{4,5}{8760} = 5,14 \cdot 10^{-4} \text{ год./пошк. на рік} \quad (3.9)$$

Коефіцієнт вимушеного простою електрообладнання ЗРП-6 кВ:

$$K_{\text{ВП}} = W_{\text{КЗ}} \cdot T_{\text{В}} = 4 \cdot 5,14 \cdot 10^{-4} = 20,6 \cdot 10^{-4} \text{ в. о.} \quad (3.10)$$

Очікувані річні збитки при відсутності мікропроцесорного релейного захисту на приєднаннях ЗРП-6 кВ:

$$Z_{\text{річн}} = d \cdot K_{\text{ВП}} \cdot S_{\text{ЗРП 6кВ}} \quad (3.11)$$

$$Z_{\text{річн}} = 800\,000 \cdot 20,6 \cdot 10^{-4} \cdot 7780 = 12\,821\,440 \text{ грн/рік.}$$

Висновок до розділу №3.

Економічні розрахунки показують доцільність впровадження даних пристроїв на підстанціях РЗФ-1.

Це досягається за рахунок менших річних експлуатаційних витрат, більшої ймовірності спрацювання на вимогу та меншої вірогідності помилкового спрацювання.

При встановленні пристроїв мікропроцесорного захисту ми можемо суттєво скоротити витрати від вимушеного простою електрообладнання, зменшивши збитки та підвищивши надійність роботи цього обладнання

Впровадження мікропроцесорного захисту на підстанціях РЗФ-1 дозволить знизити витрати на експлуатацію систем релейного захисту ЗРП-6 кВ.

ВИСНОВКИ

Висока ймовірність відмов електромеханічного РЗ пояснюється доволі агресивним навколишнім середовищем на підстанціях ЗРП-6 кВ рудничозбагачувальної фабрики №1, а саме, підвищеною запиленістю, високою вологістю повітря та вібрацією працюючого обладнання (кульові млини), що знаходяться поруч з діючим електрообладнанням ЗРП-6 кВ.

Впровадження цифрового мікропроцесорного захисту для приєднань ЗРП-6 кВ значно підвищить технічну ефективність експлуатації електроспоживачів та дозволить уникнути суттєвих збитків при недовипуску продукції на виробництві.

Основними підставами впровадження мікропроцесорного релейного захисту на підприємстві є наступні техніко-економічні показники:

- багатофункціональність цифрових реле. При незначних габаритах одне цифрове реле заміщує до 20 аналогових реле, а також декілька вимірювальних приладів.
- безперервна самодіагностика та висока апаратна надійність, що виключає можливість відмови захисту при коротких замиканнях. Крім того, самодіагностика цифрових реле дозволяє в декілька разів підвищити період планових перевірок або взагалі відмовитися від них (економія в зарплатній платі за рахунок зменшення чисельності ремонтного персоналу).
- прискорення відключення електрообладнання при КЗ завдяки суттєвому зменшенню ступені селективності за часом а також точності спрацювання цифрового реле (можна отримати економію за рахунок застосування проводів ліній або кабелів меншого перетину, вибраних за умовами їх термічної стійкості).
- із застосуванням цифрових реле удосконалюються способи забезпечення селективності (логічна селективність). Разом з дальнім резервуванням застосовується місцеве дублювання захистів. В цьому випадку цифрові реле володіють явною перевагою, оскільки всі комплекти основного та резервного захисту розташовуються в окремих ящиках, що під'єднуються до окремих ТТ і до окремого джерела оперативного струму та котушкам відключення вимикача.
- цифрові реле дозволяють виконувати запис а потім відтворювати для аналізу у випадку аварійної ситуації режими, що безпосередньо передували аварії а також під час аварії.
- цифрові реле дозволяють за допомогою підключеного обладнання з відповідним програмним забезпеченням змінювати

установки спрацювання і переходити із однієї характеристики на іншу.

- цифрові реле дозволяють передавати всю отриману інформацію про їх стан на віддалені диспетчерські центри через спеціальні канали зв'язку.
- цифрові реле дозволяють змінювати конфігурацію комплекту релейного захисту: вмикати і вимикати окремі функції чисто програмними засобами за допомогою зовнішніх пристроїв (ПК).
- цифрові реле дозволяють реалізувати значно більш високу чутливість до аварійних режимів, ніж електромеханічні реле.
- цифрові реле володіють більш високою надійністю через відсутність рухомих елементів.

Мікропроцесорний захист зменшує час усунення наслідків аварій та час введення електрообладнання в роботу завдяки можливості перегляду «журналу подій».

Впровадження пристроїв мікропроцесорного захисту на підстанціях ЗРП-6кВ РЗФ-1 технічно та економічно доцільне.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник.- Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 528 с.
2. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. - Київ: МІНЕНЕРГОВУГІЛЛЯ УКРАЇНИ, 2017. – 617с.
3. Лагутін В.М., Рубаненко О.Є., Тептя В.В. Захист трансформаторів 10 кВ. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 76 с.
4. Релейний захист високовольтних електродвигунів. Ч.1: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережевого) використання / В.В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2022. -137с.
5. Релейний захист високовольтних електродвигунів. Ч.2: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережевого) використання / В.В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2022. -136с.
6. Релейний захист електроенергетичних систем. Підручник для студентів зі спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. І.Є. Сокол, Г.А. Сендерович, О.Г. Гриб та ін. – Харків: ФОП Бровін О.В. 2020. – 306 с.
7. Релейний захист та автоматизація енергосистем. Практикум. Навчальний посібник. Укладачі: О.В. Мейта, М.П. Осадчук. Електронне мережне навчальне видання. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 81 с.
8. Автоматика електроустановок електроенергетичних систем. Навчальний посібник. В.М. Баженов, М.М. Одегов. – Харків: Планета-Прінт, 2022. – 186 с.
9. Баженов В.Н. Релейний захист елементів електричної мережі з напругою 0,4..110 кВ: посібник для практичних розрахунків. – Харків: Планета-Прінт, 2017. – 96с.
10. Засоби релейного захисту та автоматики в розподільчих мережах. Розрахунково-графічна робота. Навчальний посібник. Укладачі: В.П. Калінчик, Д.В. Філянin. Електронне мережне навчальне видання. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 85с.
11. Методичні рекомендації та завдання для виконання розрахунково-графічного завдання з навчальної дисципліни «Цифрові пристрої релейного захисту та автоматики». Укладачі: Д.М. Калюжний, В.О. Коробка, С.В. Свергуненко. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. – 42с.
12. Конспект лекцій з дисципліни « Моделювання енергетичних систем»/ Укл.: к.т.н., доцент Ключев О.В. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013, 98 с.