

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Модернізація релейного захисту і автоматики трансформаторної підстанції 110/10 кВ»

КРБ.141ЕЕбд_31[0].04.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
ступеня вищої освіти бакалавр
групи 141ЕЕбд_31[0]
ЩЕНКО Ярослав

Керівник: канд. техн. наук, доцент
БИЧКОВ Ярослав

Полтава – 2026 року

Полтавський державний аграрний університет

Полтавський державний аграрний університет

Полтавський державний аграрний університет

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 12 рисунків, 12 таблиць, 24 джерела посилання, 61 сторінка.

Об'єкт роботи – режим роботи та електротехнічне обладнання трансформаторної підстанції 110/10 кВ.

Предмет роботи – принципи побудови, налаштування та функціонування мікропроцесорної системи релейного захисту і автоматики підстанції.

Постановка актуальної технічної задачі – дослідити можливості удосконалення та оновлення системи релейного захисту та автоматики трансформаторної підстанції 110/10 кВ.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – підвищення надійності та селективності захисту трансформаторної підстанції 110/10 кВ шляхом розроблення та впровадження сучасної системи релейного захисту та автоматики на базі мікропроцесорних терміналів.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – результати розробленої проектної документації можуть бути рекомендовані для впровадження на електричних підстанціях галузі.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасних засобів релейного захисту та автоматики електроенергетичних об'єктів. Розглянуто принципи роботи, конструктивні особливості, переваги та недоліки електромеханічних, статичних і мікропроцесорних реле. Виконано порівняння основних характеристик різних поколінь пристроїв релейного захисту. Здійснено класифікацію пристроїв РЗА за поколіннями (електромеханічні, електронні, мікропроцесорні), з аналізом їх переваг і недоліків. Встановлено, що мікропроцесорні термінали забезпечують вищу точність, швидкість, надійність та функціональність порівняно з електромеханічними й статичними аналогами. Проаналізовано технічні можливості сучасних пристроїв релейного захисту серії РЗЛ для захисту силових трансформаторів, що обґрунтовує доцільність їх застосування на прохідній підстанції 110/10 кВ. Здійснено класифікацію пристроїв РЗА за поколіннями (електромеханічні, електронні, мікропроцесорні), з аналізом їх переваг і недоліків. Обґрунтовано доцільність використання мікропроцесорних пристроїв для сучасних підстанцій з урахуванням вимог експлуатації.

У **другому розділі** виконано аналіз існуючої системи релейного захисту та автоматики прохідної підстанції 110/10 кВ. Розглянуто первинну схему підстанції, до складу якої входять дві повітряні лінії 110 кВ, дві системи шин, обхідна система шин та два силові трансформатори потужністю по 25 МВА. Проведено аналіз наявних пристроїв релейного захисту, встановлено, що більшість із них виконані на електромеханічній елементній базі та потребують модернізації. Обґрунтовано вибір сучасних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та автоматики для захисту ліній електропередач, силових трансформаторів, шин і комутаційного обладнання. Описано розрахункову і замісну схеми, надано вихідні дані та

нормативну базу (ДСТУ EN 61660-1:2022, ГОСТ 30323-95, СОУ-Н ЕЕ 40.11-21677681-48:2011), що регламентує порядок обчислення СКЗ. Здійснено поетапний розрахунок опорів елементів мережі (генератора, повітряної лінії, трансформатора), приведених до одного рівня напруги. Виконано розрахунок максимальних і мінімальних струмів трифазних та однофазних коротких замикань у характерних точках схеми, які використані для визначення та перевірки уставок релейного захисту. Отримані результати забезпечують необхідну чутливість, селективність і надійність роботи системи релейного захисту підстанції.

У **третьому розділі** виконано розрахунок та вибір уставок основних пристроїв релейного захисту і автоматики прохідної підстанції 110/10 кВ. Проведено розрахунок струмового захисту нульової послідовності повітряних ліній 110 кВ, визначено параметри спрацювання та перевірено їх чутливість. Виконано розрахунок поздовжнього диференціального захисту силового трансформатора з використанням мікропроцесорного термінала РЗЛ-05.Т2, визначено уставки диференціального захисту та гальмування. Розраховано максимальний струмовий захист повітряних ліній 110 кВ та диференціальний захист шин 110 кВ. Отримані результати підтверджують забезпечення необхідної селективності, чутливості та надійності функціонування системи релейного захисту й автоматики підстанції.

У **четвертому розділі** роботи виконано оцінку доцільності модернізації системи релейного захисту трансформаторної підстанції 110/10 кВ шляхом заміни електромеханічного реле РНТ-565 на сучасний мікропроцесорний пристрій РЗЛ-05.Т2. Визначено обсяг капітальних вкладень у розмірі 60 тис. грн та розраховано річну економію експлуатаційних витрат у сумі 11 тис. грн. Термін окупності проекту становить близько 5,5 року. Показано, що впровадження нового обладнання забезпечує підвищення надійності електропостачання, зменшення аварійності та скорочення витрат на технічне обслуговування. Розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час експлуатації підстанції 110/10 кВ, наведено заходи електробезпеки, пожежної безпеки та вимоги до організації безпечного виконання робіт у колах релейного захисту й автоматики. Особливу увагу приділено застосуванню засобів індивідуального захисту, захисного заземлення та організаційних заходів безпеки. В екологічній частині проаналізовано вплив підстанції на навколишнє середовище та визначено заходи щодо його мінімізації. Встановлено, що використання сучасних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту сприяє зменшенню енергоспоживання, підвищенню надійності роботи обладнання, зниженню ймовірності аварій та скороченню негативного впливу на довкілля.

Практичні результати роботи – розроблено технічно обґрунтовану систему релейного захисту та автоматики підстанції, проведено розрахунки струмів короткого замикання, виконано пошук та підбір елементів автоматизації електричної підстанції, розроблено схему підключення підстанції у мережу.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – результати розробленої проектної документації можуть бути рекомендовані для впровадження на підприємствах системи електропостачання при модернізації систем електрозахисту.

Сфера застосування результатів роботи – енергетичний комплекс.

Ілюстраційна частина проєкту становить: 12 аркушів.

Текст пояснювальної записки кваліфікаційної роботи пройшов перевірку на плагіат за допомогою спеціалізованого сервісу "StrikePlagiarism" і є оригінальним. Унікальність тексту становить 94,82 %.

АНОТАЦІЯ

У роботі досліджено питання підвищення надійності електропостачання шляхом удосконалення системи релейного захисту на прикладі електричної підстанції 110/10 кВ. Проведено аналіз сучасних типів реле, обґрунтовано вибір мікропроцесорних пристроїв як найбільш ефективного засобу захисту в умовах сучасних енергосистем. Розраховано струми короткого замикання та підібрано елементи захисту з урахуванням чутливості та швидкодії. Особливу увагу приділено питанням охорони праці. Робота має прикладне значення та може бути використана при проектуванні або модернізації підстанцій і ліній електропередачі.

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ

ANNOTATION

The paper investigates the issue of increasing the reliability of power supply by improving the relay protection system on the example of a pass-through electrical substation of 110/10 kV. The analysis of modern types of relays has been carried out, the choice of microprocessor devices as the most effective means of protection in the conditions of modern power systems has been substantiated. Short-circuit currents are calculated and protection elements are selected taking into account sensitivity and speed. Particular attention is paid to labor protection issues. The work is of applied importance and can be used in the design or modernization of substations and power lines.

RELAY PROTECTION, SHORT CIRCUIT, CURRENT PROTECTION

Зміст

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ	9
1.1 Електромеханічні пристрої	9
1.2 Статичні (твердотільні) реле	11
1.3 Мікропроцесорні реле	13
Висновок за розділом 1	18
2 ВИБІР РЕЛЕ ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ. РОЗРАХУНОК ВСТАВОК	19
2.1 Опис первинної схеми підстанції	19
2.2 Аналіз релейного захисту та автоматизації встановлений на підстанції	20
2.3 Вибір типів захисту та автоматизації на підстанції	22
2.4 Розрахунок струмів короткого замикання	25
Висновок за розділом 2	33
3 РОЗРАХУНОК НАЛАШТУВАНЬ РЕЛЕ ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ	34
3.1 Розрахунок струмового захисту з нульовою послідовністю для повітряних ліній 110 кВ	34
3.2 Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту трансформатора	38
3.3 Розрахунок максимального струмового захисту ліній 110 кВ «Лінія-1» та «Лінія-2»	41
3.4 Розрахунок диференціального захисту шин 110 кВ	43
Висновок за розділом 3	44
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЯ	46
4.1 Орієнтовна вартість основних засобів модернізації	46
4.2 Загальні питання охорони праці на головній знижувальній підстанції	49
4.3 Екологічна безпека	52
Висновок за розділом 4	55
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	59

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ				
ЗМ.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Зміст	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розроб.	Іщенко Я.О.					н	6	61	
Перевір.	Бичков Я.М.					ПДАУ 2026 6			
Н.контр.	Бичков Я.М.								
Затв.	Попов С.В.								

ВСТУП

Функціонування сучасного суспільства неможливе без використання електричної енергії. Електроенергія використовується внутрішніми, зовнішніми та аварійними освітлювальними приладами, системами вентиляції та кондиціонування повітря в будівлях, побутовими та промисловими холодильниками, комунікаціями, комп'ютерами тощо. Відповідно, місце системи електропостачання в сучасній інфраструктурі важко переоцінити.

Релейний захист призначений для виявлення та автоматичного від'єднання пошкодженого елемента (зазвичай у разі короткого замикання) від решти електричної мережі за допомогою вимикачів. Деякі види пошкоджень або аварійних режимів не потребують негайного усунення. У таких випадках релейний захист може діяти на сигнал або розвантаження електрообладнання.

Окрім захисту реле, безперебійне живлення забезпечується низкою інших автоматичних пристроїв: автоматичне повторне ввімкнення; автоматичне введення резерву; автоматичне частотне розвантаження; автоматичне регулювання коефіцієнта трансформації тощо.

Однією з найважливіших проблем електроенергетичної галузі загалом є старіння та знос електрообладнання. Це також стосується захисту реле та автоматизації. Підстанція, що розглядається в цій роботі, була умовно побудована наприкінці 80-х років, а реле-захист і автоматизація фізично зношені. Це може призвести до відмов у разі внутрішніх пошкоджень, спрацювання при зовнішніх коротких замиканнях і хибних спрацювань. Крім того, пристрої з тривалим терміном служби потребують більш частих і ретельних перевірок і налаштувань.

З моменту запуску підстанції обладнання РЗА розвивалась і удосконалювалась. З'явилися пристрої з більш розширеними характеристиками та більшою функціональністю. Це пов'язано з поняттям морального застарівання. Зараз найдоцільніше замінити зношене обладнання на сучасніше, але не таке саме.

Тема цієї кваліфікаційної роботи — модернізація релейного захисту та автоматизації підстанції 110/10 кВ розподільчої мережі. Підстанція ГЗП-5, про яку

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

йдеться, розташована в промислово-комунальній зоні сільської місцевості.

Для порівняння варіантів засобів захисту реле та автоматизації, окрім ціни, використовуються технічні характеристики (властивості) та вимоги. Сучасні вимоги до захисту реле та автоматизації включають селективність, чутливість, швидкість, надійність, функціональність та можливість інтеграції в автоматизовані системи управління процесами. Усе це об'єднує концепція ефективності захисту реле та автоматизації.

Мета роботи – підвищення надійності та селективності захисту трансформаторної підстанції 110/10 кВ шляхом розроблення та впровадження сучасної системи релейного захисту та автоматики на базі мікропроцесорних терміналів.

Об'єкт роботи – режими роботи та електротехнічне обладнання трансформаторної підстанції 110/10 кВ.

Предмет роботи – принципи побудови, налаштування та функціонування мікропроцесорної системи релейного захисту і автоматики підстанції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

проаналізувати існуюче обладнання релейного захисту та автоматизації;

вибрати типи захисту та автоматизації на підстанції після модернізації;

провести необхідні розрахунки налаштувань релейного захисту;

підібрати відповідну апаратуру;

оцінити економічну доцільність модернізації;

розглянути питання безпеки та екологічного ефекту.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – результати розробленої проектної документації можуть бути рекомендовані для впровадження на електричних підстанціях галузі.

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Електромеханічні пристрої

Робота електромеханічних реле базується на взаємодії магнітних потоків із струмами або безпосередньо з магнітним осердям. Основною частиною конструкції є магнітне осердя з феромагнітного матеріалу, обмотки та механізм, що переміщує вихідні контакти у просторі. Реле можна поділити на вимірювальні та логічні відповідно до їхніх функцій. Вимірювальні пристрої призначені для вимірювання та порівняння вхідного значення з заданою точкою. Логічні виконують функції створення необхідної затримки часу (часові реле), підсилення та множення контактів, введення невеликої затримки для спрацьовування та/або повернення (проміжні реле), фіксації спрацьовування (вказівні реле). У одному пристрої часто можна поєднати кілька функцій, наприклад: реле індукційного струму з залежною затримкою спрацьовування, проміжні реле з затримкою спрацьовування та затримкою повернення [1,2].

Електромагнітне реле являє собою електротехнічний пристрій, який застосовується для перемикання незначних струмів у колах керування залежно від електричного імпульсу, що надходить на обмотку. Такі прилади використовують як сенсори струму та напруги, проміжні ланки для передавання команд між електричними колами і дублювання сигналів, а також як реле часу та вихідні компоненти різноманітних датчиків координат електроприводів і технологічних характеристик машин та механізмів.

У таких реле функцію керувального елемента виконує котушка, що формує магнітний потік у магнітопроводі. За досягнення певного рівня напруги U на обмотці рухома частина, яка є проміжним компонентом реле, приходить у рух та забезпечує перемикання контактної системи (комутаційного елемента). Структурна схема електромагнітних реле наведена на рис. 1.

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

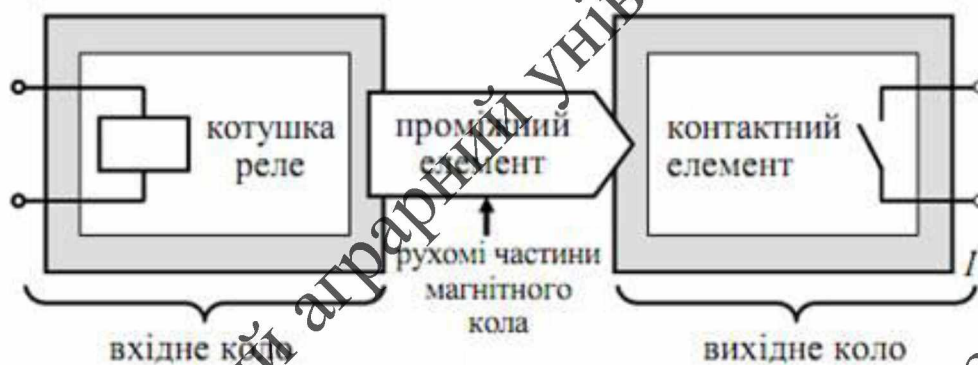


Рисунок 1 – Структурна схема електромагнітних реле

Конструкція реле струму та реле напруги відрізняється значною різноманітністю. Реле напруги й струму можуть використовуватись як елементи захисних систем. Зазвичай такі пристрої функціонують у довготривалому режимі експлуатації. Порівняно з реле керування вони мають нижчу механічну та комутаційну стійкість до зношування.

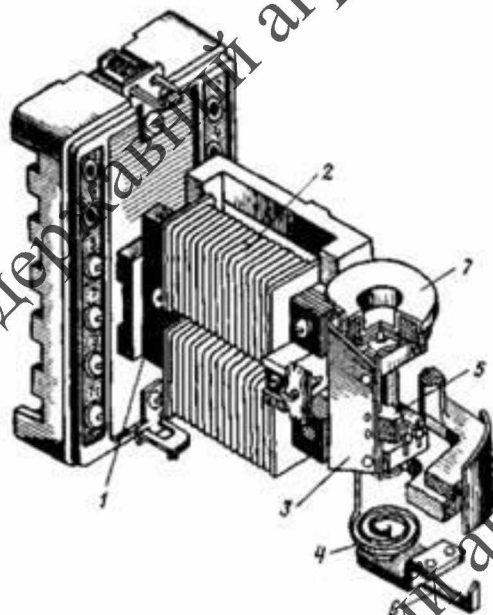


Рисунок 2 – Реле струму РТ-40

Конструктивне виконання реле струму серії РТ-40 (рис. 2) – до складу магнітної системи входять П-подібне шихтоване осердя 1 та Г-подібний якор 3. На осерді встановлено дві котушки 2, виводи яких під'єднані до затискачів цоколя пристрою. Під час проходження струму через обмотку створюється магнітний

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			10

потік, який намагнічує рухомий якір. У результаті виникає електромагнітна сила, що створює обертальний момент і повертає рухоми систему разом із контактним містком 5, закріпленим на осі. Електричне коло замикається в момент дотику рухомих контактів до нерухомих, закріплених на плоских бронзових пружинах.

1.2 Статичні (твердотільні) реле

Недоліки електромеханічних реле та загальний розвиток захисної електроніки призвели до створення пристроїв на електронній та мікроелектронній основі. Основою цих пристроїв є напівпровідникові діоди та тріоди, аналогові та цифрові інтегральні схеми. Особливістю цих реле є відсутність механічної вимірювальної частини, що забезпечує підвищену надійність і простоту експлуатації. З цієї причини пристрої також називають статичними. Порівняння модуля та фази вхідної величини здійснюється напівпровідниковими схемами, які називаються порівняльними схемами. Ці схеми перетворюють неперервні вхідні величини у дискретні вихідні сигнали. Вимірювальною частиною кола є нульовий орган [3,4].

На рисунку 3 показано спрощену структурну схему вимірювального реле з одним вхідним значенням як прикладом.

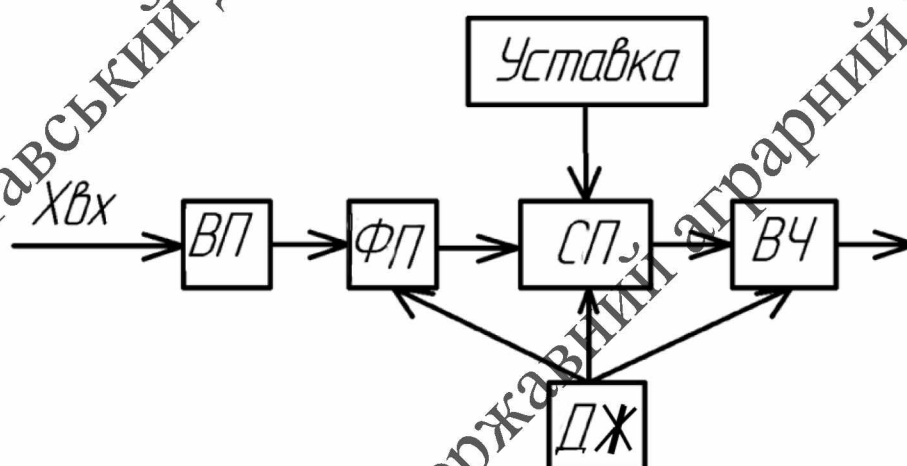


Рисунок 3 – Спрощена структурна схема електронного реле

Де: ВП — вхідний перетворювач. Він використовується для гальванічної розв'язки (ізоляції), масштабування та перетворення на інше значення, за яким

проводиться порівняння;

ФП-формулюючий пристрій (фільтр);

СП — схема порівняння;

ВЧ — вихідна частина, зазвичай вихідна електромеханічна реле або електронний вимикач;

ДЖ — джерело живлення;

Уставка — схема, яка визначає задану уставку.

Розглянемо деякі типи статичних реле, які виробляються сьогодні.

Український ринок представлений серед інших виробником повного спектру засобів РЗА «Науково-виробниче підприємство «РЕЛСІС», правонаступник ПАТ «Електротехнічний завод» (м. Київ).

Реле струму. Із подібним завданням здатні працювати також стандартні запобіжники чи автоматичні вимикачі. Проте при їх використанні відсутня функція автоматичного відновлення робочого режиму, а ще неможливо гнучко задавати часові характеристики функціонування системи. Окрім того, автомати та запобіжники належать до механічних пристроїв, тому мають певні обмеження щодо точності спрацювання і регулювання струмових параметрів. Важливою перевагою реле струму є їх компактніші розміри у порівнянні з автоматичними вимикачами, зокрема розрахованими на 400 А.

Двофазні пристрої максимального струмового захисту серії АЛ-3-В, які не потребують оперативного джерела живлення та мають незалежну часову затримку, використовуються у колах релейного захисту й системах протиаварійної автоматики. Їх застосовують як елементи, що фіксують перевищення сили струму в контрольованих електричних колах і забезпечують перемикання електричних ланцюгів у разі досягнення заданих наперед параметрів. Такі прилади є сучасними мікропроцесорними замінниками електромеханічних і мікроелектронних реле струму. Використовуються для заміни застарілих РТ-40.

Реле напруги НЛ-6А-1, НЛ-6А-2, НЛ-7А-1, НЛ-7А-2, НЛ-8А-1. Реле напруги призначені для комутації кіл постійного і змінного струму при досягненні

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

контрольованою напругою певного, попередньо встановленого рівня. Реле НЛ-6А-2 має затримку вмикання, яка може регулюватися за допомогою перемикачів на передній панелі реле в межах від 1 до 60 с кроком в 1 секунду. НЛ-6А-1, НЛ-6А-2, НЛ-7А-1 і НЛ-8А-1 мають широкий діапазон уставок по контрольованим напругам [3, 4].

Реле контролю фаз, реле комплексного захисту трифазної мережі ЕЛ-23, ЕЛ-23Н. Затримка часу, що настраюється, дозволяє ігнорувати короточасні скачки напруги в ланцюзі. Функція "Пам'ять" - для повернення з помилкового в нормальний режим необхідно натиснути кнопку "Скидання" на лицьовій панелі реле. 2 вихідні реле, з можливістю вибору функції другого реле(незалежно/паралельно). Пристрій стійкий до індукційної напруги від устаткування, що обертається, підключеного до другої фази.

Реле часу з затримкою увімкнення або вимкнення ВЛ-162. Часове реле ВЛ-162 призначене для виконання команди в керуючому ланцюгу автоматизації, щоб отримати затримку часу увімкнення;

1.3 Мікропроцесорні реле

Загалом, конструкція релейного захисту та автоматизації на будь-якій елементній основі схожа. У більшості випадків це автономні пристрої, вхід яких подає електричні значення (струм, напруга), що характеризують режим захищеного об'єкта. Іноді неелектричні кількості також можуть використовуватися, наприклад, у газових або дугових щитах.

У структурі релейного захисту можна виділити два основні компоненти: вимірюваний і логічний.

Виконавчий вимірювальний блок із релейною характеристикою постійно контролює вхідні значення і встановлює умови для спрацювання, коли порогові значення перевищуються або знижуються. Логічна частина, залежно від стану, сигналів від зовнішніх пристроїв, включно з іншими засобами реле захисту, безпосередньо впливають на електрообладнання та мережу.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Сигнали від інших пристроїв реле захисту використовуються для захисту з абсолютною селективністю, встановленою на різних кінцях захищеного об'єкта.

Вимірювальну частину можна поділити на дві складові. Перший — це перетворення одного аналогового значення в інше, зручніше для порівняння. Другий — це «схема» порівняння, вхід якої — підготовлені значення для порівняння з пороговим значенням. Залежно від значень вхідних значень, сигнал про спрацювання з'являється або не з'являється на виході схеми. Таким чином, у порівняльній схемі формується дискретний сигнал, тому вимірювальний орган також називають релейним [5].

На рисунку 4 показано схему узагальненого мікропроцесорного реле.

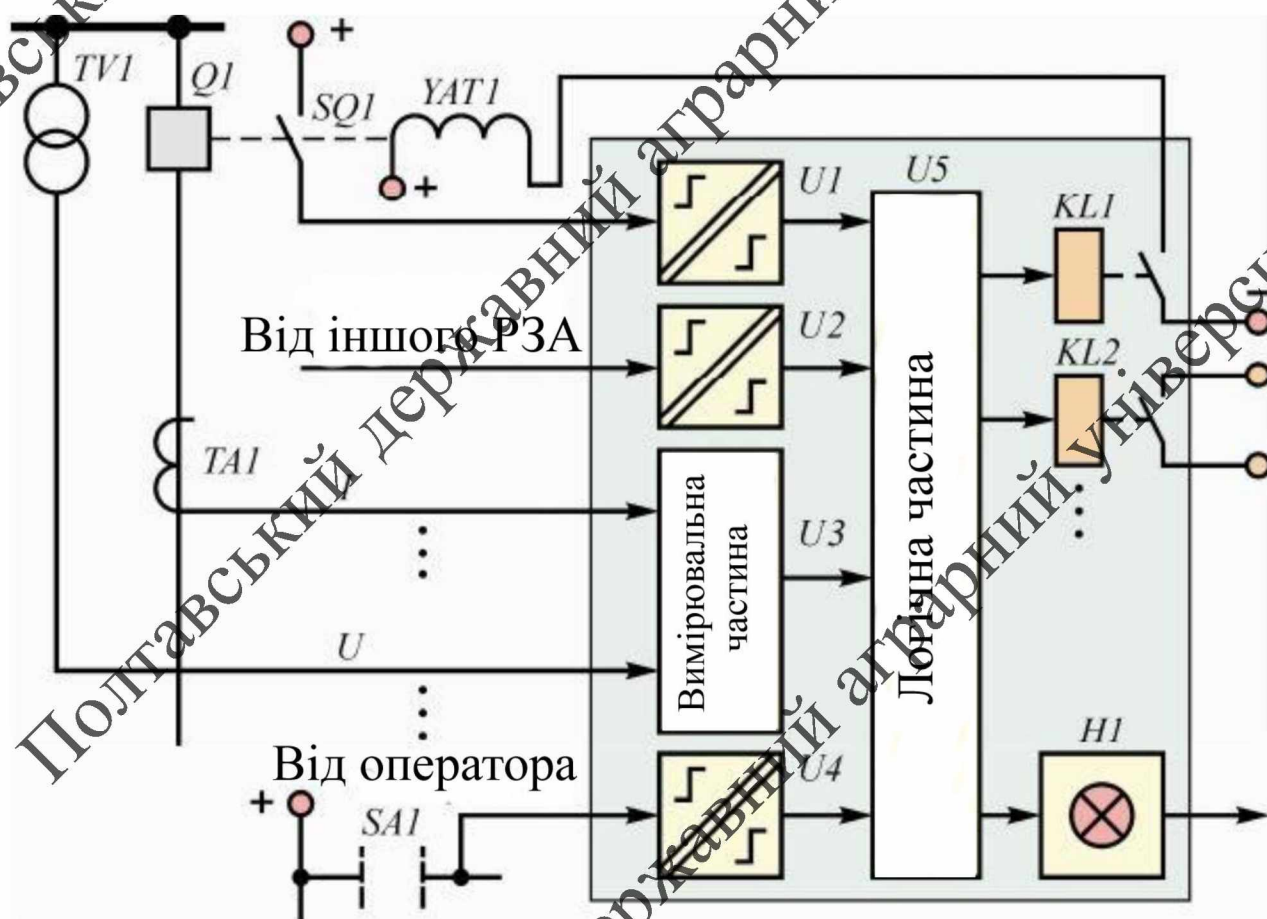


Рисунок 4 – Структурна схема узагальненого мікропроцесорного реле

Q – перемикач, на який застосовується цей релейний захист; SQ1 — сигнальні контакти комутатора; YAT1 — це електромагніт, за допомогою якого

відключається вимикач Q; TV1 — це трансформатор напруги, первинний перетворювач, який виконує функції перетворення мережевої напруги до зручної для вимірювання форми та ізолює її від первинного кола; TA1 — це трансформатор струму, первинний перетворювач, який виконує функції передачі струму з мережі до зручної для вимірювання форми, і ізолює його від первинного кола; U1, U2 — перетворювачі входних дискретних сигналів; U3 — вимірювальна частина; U4 — перетворювач входного сигналу від керуючих кнопок; U5 — логічна частина; KL1 і KL2 — це вихідні реле; Н1 — пристрій сигналізації.

Мікропроцесорний (цифровий) релейний захист часто виконується в одному пристрої, пристрої, терміналі і відрізняється від електронних методів обробки аналогових сигналів, цифрової фільтрації тощо.

Більшість пристроїв мікропроцесорного релейного захисту (МРЗ) мають майже однакову структуру та принципи роботи. На рисунку 5 показано структурну схему.

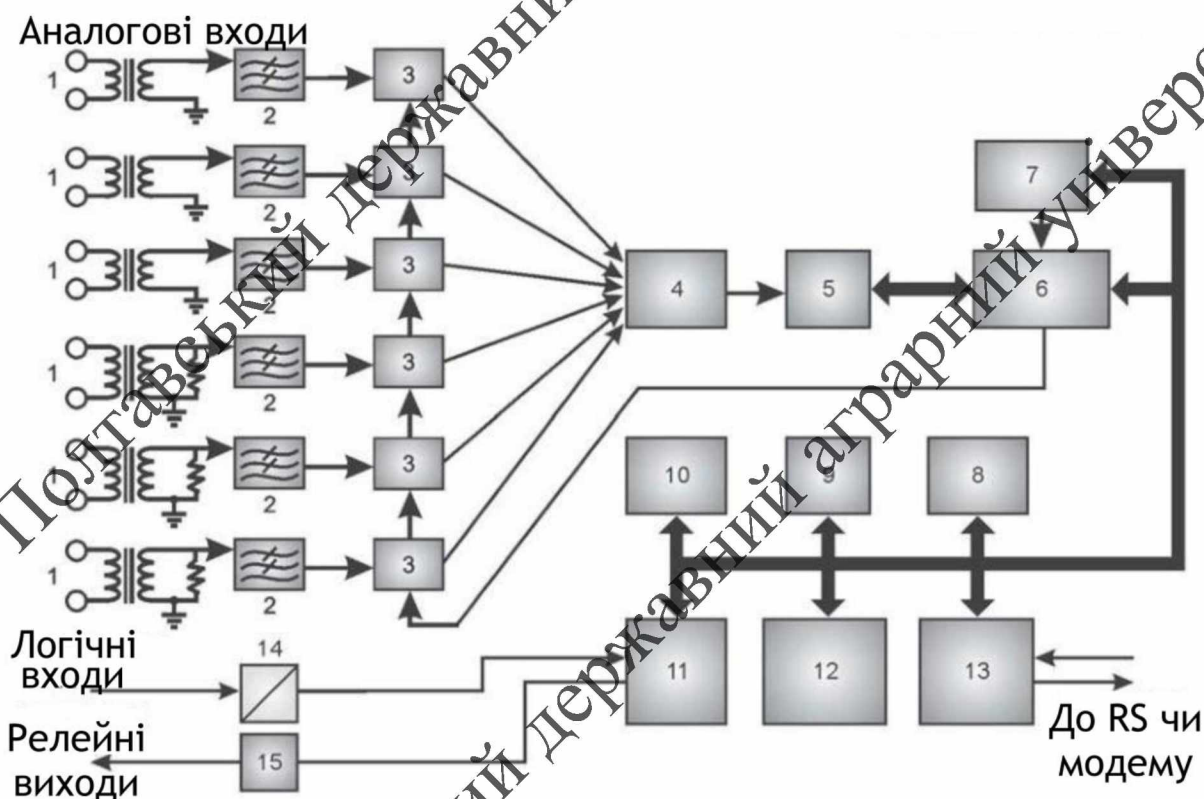


Рисунок 5 - Структурна схема МРЗ

1) входні перетворювачі аналогових сигналів. У переважній більшості

випадків трансформатори струму та напруги використовуються для масштабування та гальванічної ізоляції контурів внутрішньої схеми МРЗ з схем ТС і ТН;

- 2) вхідні фільтри, призначені для фільтрації сигналу
- 3) схеми дискретизації та пам'яті, які забезпечують миттєву передачу значень на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП);
- 4) мультиплексор, який є електронним комутатором підключення кількох вимірювальних каналів по черзі до АЦП для економії апаратури та зменшення розмірів;
- 5) аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), схема, яка безпосередньо перетворює вхідне значення в код, який вже керується мікропроцесором;
- 6) мікропроцесор, пристрій, який виконує арифметичні та логічні операції відповідно до заздалегідь встановленої програми;
- 7) таймер;
- 8) пристрій з перезаписуваною пам'яттю, пам'ять для зберігання інформації;
- 9) оперативна пам'ять (ОЗП/РАМ) для зберігання проміжних значень під час роботи мікропроцесора;
- 10) пам'ять лише для читання (ПЗП/ROM) — зберігання основної програми;
- 11) логічні входи та виходи для передачі та прийому дискретних сигналів;
- 12) дисплей, клавіші керування;
- 13) порти для зв'язку з іншими пристроями через цифрові інтерфейси зв'язку;
- 14) вхідні перетворювачі дискретних сигналів — безпосередньо приймають дискретні сигнали;
- 15) вихідні реле.

Усі ці елементи зазвичай розміщені на кількох друкованих платах, з'єднаних між собою кабелями або «материнською платою».

Розглянемо деякі типи мікропроцесорних реле, які виробляються сьогодні.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики двообмоткового/триобмоткового трансформатора або автотрансформатора з вищою напругою 35-110 кВ РЗЛ-05.Т2 та РЗЛ-05.Т3. Пристрої РЗЛ-05.Т2 та РЗЛ-05.Т3 забезпечують роботу з різними типами вимикачів з видачою команди на відключення, у тому числі від незалежного накопичувального конденсатора (рис. 6).



Рисунок 6 – Зовнішній вигляд РЗЛ-05.Т2 [6].

Серед основних функцій:

- РЗЛ-05.Т2 – 11 аналогових входів (IA1, IB1, IC1, 3I0, IA2, IB2, IC2, UA, UB, UC, 3U0) з різними комбінаціями значень номінального вимірюваного струму ($I_{nom} = 5 \text{ A}$ або $I_{nom} = 1 \text{ A}$);
- РЗЛ-05.Т3 – 14 аналогових входів (IA1, IB1, IC1, 3I0, IA2, IB2, IC2, IA3, IB3, IC3, UA, UB, UC, 3U0) з різними комбінаціями значень номінального вимірюваного струму ($I_{nom} = 5 \text{ A}$ або $I_{nom} = 1 \text{ A}$);
- датчик температури в корпусі пристрою;
- РЗЛ-05.Т2 – 12 дискретних входів (ДВ), в тому числі 3 ДВ типу «сухий контакт», для підключення місцевих органів керування (ключі управління ВВ, ключі блокування, кнопки скидання сигналізації);

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- РЗЛ-05.Т3 – 20 дискретних входів (ДВ) в тому числі 3 ДВ типу «сухий контакт», для підключення місцевих органів керування (ключі управління ВВ, ключі блокування, кнопки скидання сигналізації);
- РЗЛ-05.Т2 – 13 реле (4 реле з перемикаючою групою контактів, в тому числі одне з пам'яттю спрацювання (К7 - бістабільне) та одне реле сигналізації справності пристрою (KWD));
- РЗЛ-05.Т3 – 17 реле (4 реле з перемикаючою групою контактів, в тому числі одне з пам'яттю спрацювання (К7 - бістабільне) та одне реле сигналізації справності пристрою (KWD));
- входи для оптоволоконних датчиків дугового захисту з довжиною кабелю 5 м.

Висновок за розділом 1

Розглядаються основні пристрої захисту реле та автоматизації, представлені на внутрішньому ринку. Електромеханічні реле живлення та опору були зняті з виробництва. Рекомендується використовувати електромеханічне обладнання для релейного захисту та автоматизації у випадку, якщо ці пристрої вже працюють і потрібно замінити ті, що вийшли з ладу під час відмови. Для модернізації може бути доцільно використовувати електронні реле.

Наразі релейний захист розробляється на основі цифрових технологій. Мікропроцесорні захисти, які мають очевидні переваги, дедалі частіше замінюють захисти, засновані на електромеханічних та електронних елементних основах.

					КРБ.141ЕЕ60_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2 ВИБІР РЕЛЕ ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ. РОЗРАХУНОК ВСТАВОК.

2.1 Опис первинної схеми підстанції.

У відповідності до завдання, ГЗП (головна знижувальна підстанція) з високою напругою 110 кВ отримує електроенергію від 110 кВ комутаційної системи через дві 110 кВ повітряні лінії. Від розподільного пристрою підстанції проходять 2 повітряні лінії 110 кВ. Комутаційна система на 110 кВ складається з двох шинних секцій і однієї обхідної секції. На підстанції встановлено два трансформатори 110 кВ потужністю 25 МВА кожен із роздільною обмоткою для забезпечення електроенергією промислової та комунальної зони.

Спрощена схема підстанції показана на рисунку 7.

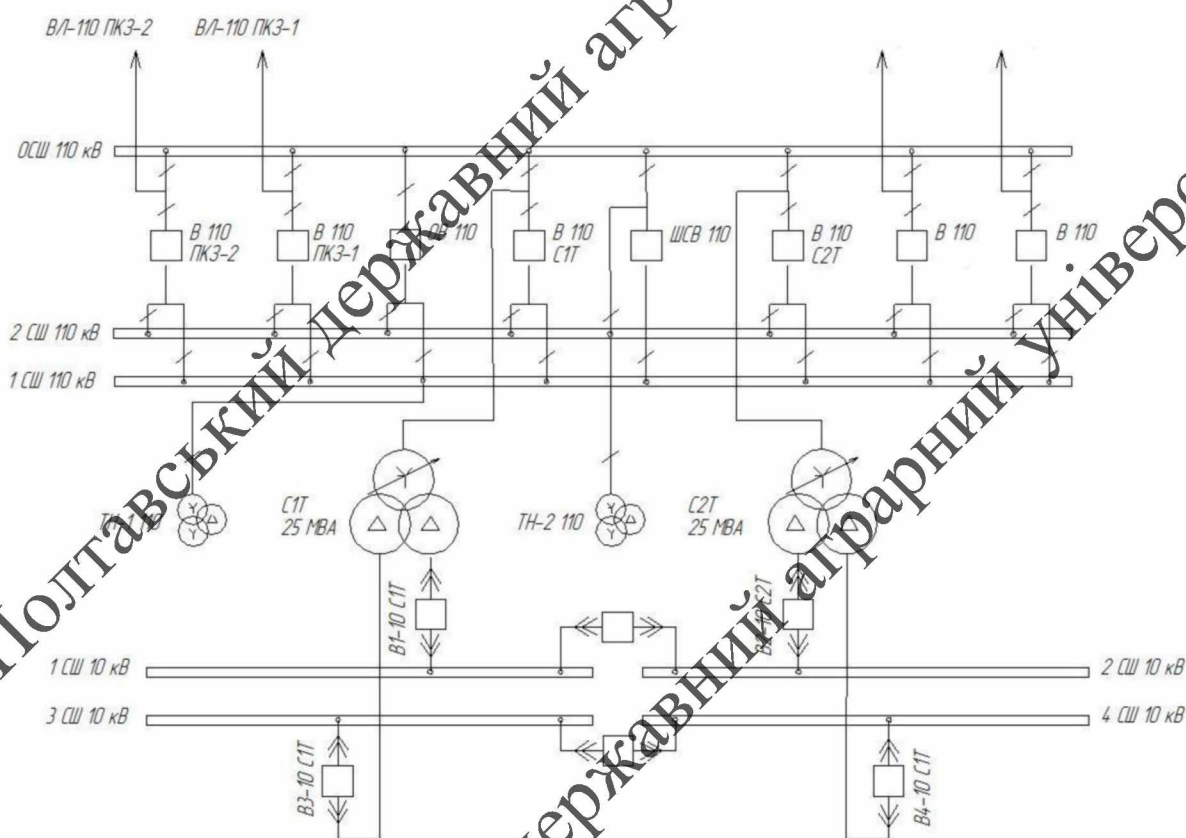


Рисунок 7 - Первинна схема ГЗП

2.2 Аналіз релейного захисту та автоматизації встановлений на підстанції

Розглянемо пристрої захисту реле та автоматизації, встановлені на підстанції, згідно із завданням на кваліфікаційну роботу. Звернімо увагу на вимірювальні органи цих пристроїв.

З'єднання 110 кВ контактних ліній «Лінія-1» та «Лінія-2»:

1. Лінійний диференціальний захист базується на пристрої ДЗЛ-1. ДЗЛ-1 — це два напівкомплекти, встановлені на кінцях захищених ліній. Зв'язок між напівкомплектами здійснюється за допомогою керуючого кабелю. Якщо струми менші за 2,5 від струму спрацьовування, то струми на кінцях захищеної лінії порівнюються за величиною та фазою, якщо більше 2,5 струму спрацьовування — лише за фазою. Трифазна система струму на кінцях лінії перетворюється в однофазний струм за допомогою комбінованих фільтрів. У ДЗЛ-1 є контроль за справністю з'єднувального кабелю. Пристрій по суті складається з трансформаторів, трансреакторів, діодів, електронних ламп і електромеханічних реле. Застарів та наразі не виробляється.

2. Двоступеневий захист на відстані здійснюється за допомогою реле опору КРС-131. Реле складається з актуатора (індукційного реле), трансформаторів та інших допоміжних елементів. Реле містить резонансні коливальні схеми з власною частотою коливання близько 50 Гц, які запобігають короткочасному неправильному спрацьовуванню реле в нестійких режимах (особливо при низьких струмах і напругах). Воно також забезпечує короткочасну роботу у разі близьких трифазних коротких замикань (дія по «пам'яті»), коли напруга практично знижується до нуля (коротке замикання в «мертвій зоні»). Повне усунення «мертвої зони» у разі близьких двофазних коротких замикань і можливої втрати направленості під впливом напруги між пошкодженою та неушкодженою фазами досягається шляхом підключення напруги непошкодженої фази до обмотки реле через резистор. Цей резистор проводить струм, який майже відповідає фазі основному струму поляризовуючого ланцюга.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Релейне коло дозволяє автоматично змінювати точку спрацьовування, перемикаючи напругу. У дистанційних двоступеневих схемах захисту це перемикання слід виконувати без необхідності паузи без струму.

Якщо на момент перемикання реле з першої на другу зону існує розривна напруга, можливо продовжити останню. Реле має бути увімкнене на струми двох фаз і відповідної напруги в лінії. Наразі не виробляється.

3. Триступеневий напрямний захист від однофазних коротких замикань — комплект КЗ-5А. Набір складається з п'яти реле струму РТ-40, реле напруги потужності РБМ-177, реле часу ЕВ-134 та ЕВ-124, проміжних реле РП-251 та реле РУ-21. Цей комплект повністю базується на електромеханічних елементах. Знятий з виробництва.

4. Керування струмом вимикача здійснюється на основі реле зворотної послідовності струму РТФ-1М.

5. Автоматичне повторне ввімкнення базується на пристрої РПВ-58.

З'єднання контактних ліній 110 кВ «Лінія-1» та «Лінія-2»:

1. Двоступеневий ненаправлений захист від однофазних коротких замикань на основі поточних реле РТ-40.

2. Двоступеневий захист від перевантаження струму на основі поточних реле РТ-40.

3. Керування струмом вимикача здійснюється на основі реле зворотної послідовності струму РТФ-1М.

4. Автоматичне повторне ввімкнення базується на пристрої РПВ-58.

Щинноз'єднувальний вимикач – 110:

1. Двоступеневий ненаправлений захист від однофазних коротких замикань на основі поточних реле РТ-40.

2. Двоступеневий захист від перевантаження струму на основі поточних реле РТ-40.

3. Керування струмом вимикача здійснюється на основі реле зворотної послідовності струму РТФ-1М.

Обхідний вимикач – 110 кВ:

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1. Триступеневий ненаправлений захист від однофазних коротких замикань на основі ЕПЗ-1623-64.

2. Лінійний диференціальний захист базується на пристрої ДЗЛ-1.

3. Керування струмом вимикача здійснюється на основі реле зворотної послідовності струму РТФ-1М.

4. Автоматичне повторне ввімкнення базується на пристрої РПВ-58.

Трансформатор С1Т (С2Т):

1. Диференціальний захист трансформатора — це реле з проміжними насиченими трансформаторами РНТ-565.

2. Максимальний захист від струму 110 кВ - РТ-40.

3. Резервний захист від перевантаження струму 10 кВ - РТ-40.

4. Автоматичне регулювання напруги — АРТ-1.

5. Захист від перевантаження 10 кВ — РТ-40/6.

6. 2 збірні шини – 110 кВ

7. Диференціальний захист шин — РНТ-567.

З наведеного вище видно, що вимірювальна частина системи захисту реле та автоматизації у переважній більшості здійснюється на основі електромеханічних реле. Логічна частина також переважно використовує «електромеханіку».

2.3 Вибір типів захисту та автоматизації на підстанції

Як було зазначено в першому розділі, залежно від умов використання елементної бази, релейного захисту та автоматизації можна поділити на електромеханічне, мікроелектронне та цифрове. На сьогодні більшість пристроїв на основі електромеханічних елементів мають аналоги мікроелектронних, і дедалі частіше використовуються багатофункціональні цифрові (мікропроцесорні) пристрої. Мікроелектронні та цифрові пристрої можна розглядати як подальший розвиток і вдосконалення релейного захисту та автоматизації, зміну поколінь обладнання з метою покращення різних технічних характеристик. Переваги та недоліки захистів, заснованих на різних елементах, будуть висвітлені окремо,

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

наразі зазначимо лише, що поява цифрових захистів усуває обмеження на складність використання алгоритмів, підвищує чутливість і швидкодію [7, 8]. Принципи захисту електричних установок залишилися без змін. Захист можна поділити на абсолютний і відносний, захист відповідно до методу забезпечення селективності. Наприклад, диференціальний захист трансформатора, незалежно від типу обладнання, базується на порівнянні векторів струму всіх обмоток.

Також, як приклад, розглянемо так званий захист на основі логічного захисту шини (ЛЗШ), який широко використовується у цифровому релейному захисті та автоматизації. Насправді це захист із непрямым порівнянням струмів з'єднання, і в принципі його можна виконати на електромеханіці, але це призводить до значного збільшення об'єкта, що ставить під сумнів його доцільність. При використанні цифрового реле захисту та автоматизації для виконання цих захистів достатньо лише пари окремих входів і виходів. Вся логічна частина – це програмне забезпечення, і відповідно, цей захист мало впливає на вартість остаточного реле захисту та автоматизації, що дозволяє використовувати його як додаткову систему.

Виходячи з наведеного, спочатку необхідно обрати типи захисту та автоматизації, що використовуються на підстанції, потім обрати пристрої, які це реалізують, і розрахувати встановлені точки.

З'єднання 110 кВ контактних ліній «Лінія-1» та «Лінія-2»:

1. Відповідно до [1], питання застосування захисту без затримки у разі короткого замикання в будь-якій точці ділянки лінії 110 кВ слід вирішувати з урахуванням вимоги підтримувати стабільність системи. За відсутності більш жорстких вимог, умова зазвичай виконується, якщо при залишковій напрузі на шинах електростанції або підстанції з трифазним коротким замиканням нижче 0,6-0,7 Уном вимкнення здійснюється без затримки. Ці з'єднувальні лінії мають довжину 6,1 км кожна і наразі захищені комплектом диференціального захисту ДЗЛ-1.

2. Застосовується двоступеневий дистанційний захист із відотною селективністю проти міжфазних коротких замикань. Відповідно до [8, 9], рекомендується спочатку розглянути захист від струму при падінні напруги, а у

					КРБ.141ЕЕ60_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

разі недостатньої чутливості, швидкості дії та координації захисту з сусідніми елементами перейти на дистанційний захист. Проте захисти на відстані мають чітко фіксовану зону виявлення – близько 85% для першого ступеня, кращий захист кінця другого ступеня і, можливо, значно вищу чутливість третього. Перші дві переваги також визначають вищу швидкість захисту на відстані [9].

3. Для захисту від однофазних коротких замикань ми впроваджуємо ступінчастий захист з нульовою послідовністю.

4. На повітряній лінії 110 кВ, відповідно до [8], ми приймаємо однократне трифазне АПВ.

5. На автоматичних вимикачах 110 кВ цих з'єднань ми забезпечуємо пристрій резервування відмови вимикача (ПРВВ).

З'єднання контактних ліній 110 кВ «Лінія-1» та «Лінія-2»:

1. Захист з абсолютною селективністю для цих з'єднань від початку не забезпечувався. Тому від фазових коротких замикань основним ми залишимо дистанційний захист.

2. Доповнимо попередній захист від коротких замикань між фазами струмовою відсічкою.

3. З однофазних коротких замикань ми приймаємо направлений струмовий захист нульової послідовності.

4. На контактній лінії 110 кВ, відповідно до [8, 9], ми приймаємо один трифазний пристрій повторного замикання.

5. На 110 кВ автоматичних вимикачах цих з'єднань ми передбачаємо ПРВВ. ЦЗВ -110 відповідно до [9] передбачає:

- Триступеневий ненаправлений захист від однофазних коротких замикань.

- Двоступеневий максимальний струмовий захист.

- ПРВВ.

Обхідний вимикач (ОВ) – 110 відповідно до [9] передбачає:

1. Триступеневий дистанційний захист та відключення струму через багатофазні короткі замикання.

2. Чотириступеневий захист струму з нульовою послідовністю.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

3. ПРВВ.

Трансформатор С1Т (С2Т):

1. Диференціальний захист від багатозначних КЗ обмоток і виводів [10-13].
2. Двоступеневий захист від перевищення струму у якості резервного і від надструмів при зовнішніх невідключених КЗ.

3. Газовий захист від внутрішніх пошкоджень і контроль рівня масла.
4. Захист від перевантаження, який вмикає світловий і звуковий сигнал, оскільки на цій підстанції постійно чергує персонал.

5. Автоматика регулювання коефіцієнта трансформації

Ввідні перемикачі 10 кВ трансформаторів В-1-10С1Т, В-2-10С1Т (В-2-10С2Т, В-4-10С2Т).

1. Максимальний струмовий захист від зовнішніх коротких замикань і захист шин 10 кВ.

З'єднання вихідних ліній напругою 10 кВ:

2. Передбачимо струмову відсічку без затримки часу для швидкого вимкнення у разі короткого замикання на частині лінії.

3. Максимальний струмовий захист від коротких замикань по всій лінії та резервування з прискоренням при ввімкненні вимикача.

4. Селективний захист від замикань на землю з дією на сигнал.

2.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Для розрахунку встановлених точок захисту реле підстанції та автоматизації та перевірки чутливості необхідно розрахувати струми короткого замикання в точках проєктування в максимальному та мінімальному режимах роботи. Наша підстанція має відповідно 2-шинні системи на 110 кВ і одну обхідну систему, ми розглянемо режим роботи всіх з'єднань на 110 кВ в одній шинній системі (або включено ШЗВ-110). Ця схема проєктування показана на рисунку 8.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

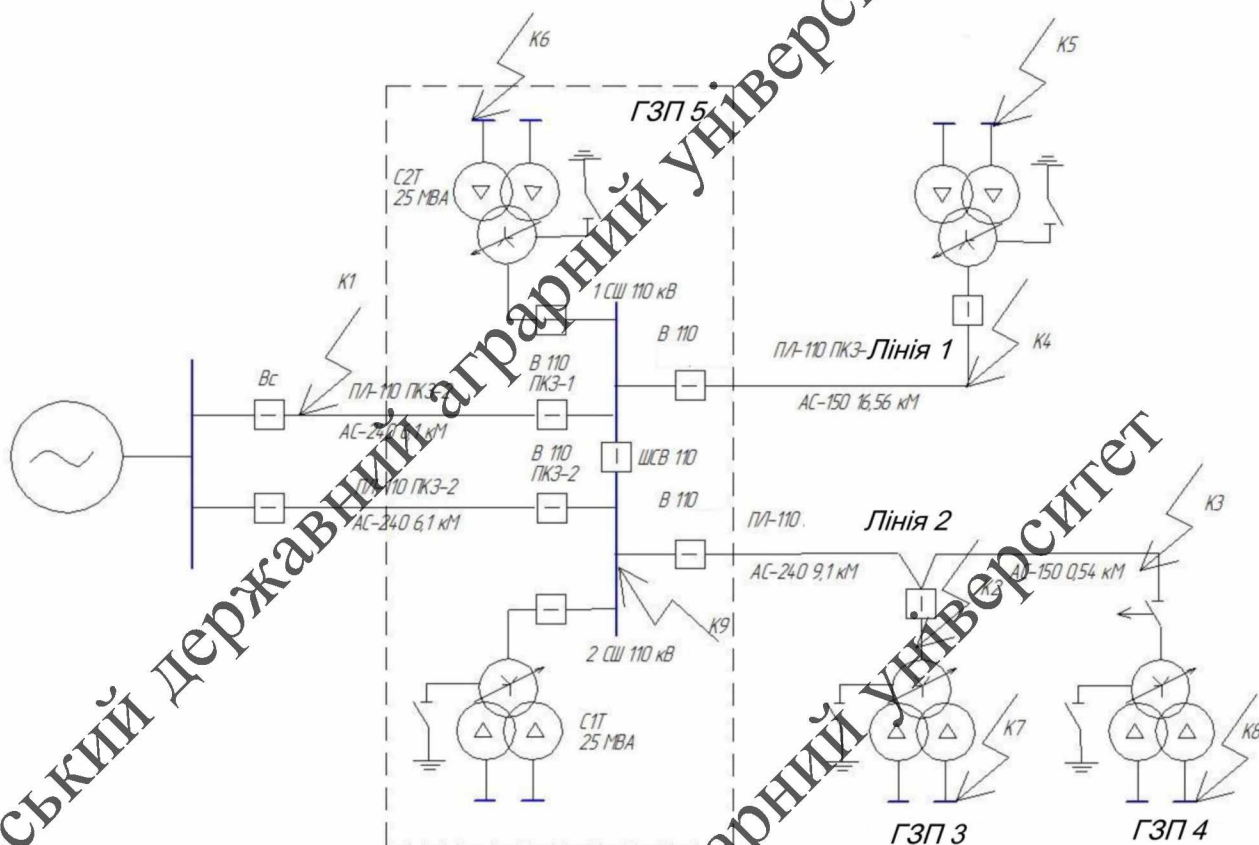


Рисунок 8 – Схема для розрахунку максимальних струмів короткого замикання

Таблиця 1 - Основні параметри елементів схеми проектування

Елемент	Довжина, км	$X_{1п} \text{ і } X_{2п}, \text{ Ом/км}$	$X_{0п}, \text{ Ом/км}$	Потужність, МВА	$U_{нп}, \text{ кВ}$	$U_{кз}\%$
ПЛ-110 Лінія-2	6,1	0,4	1,2	-	-	-
ПЛ-110 Лінія-1	16,56	0,4	1,2	-	-	-
Секція ПЛ-110 Лінія-2 від ГПП 5 до ГПП 3	9,1	0,4	1,2	-	-	-
Секція ПЛ-110 Лінія-2 від ГПП 3 до ГПП 4	0,34	0,4	1,2	-	-	-
ГПП 5 С1Т і С2Т	-	-	-	25	10	
ГПП 3 С1Т і С2Т	-	-	-	40	10	
ГПП 4 С1Т і С2Т	-	-	-	40	10	
Лінія-1 1Т і 2Т		-	-	25	6	

Розрахунок виконується у умовних одиницях, активний опір контактної лінії 110 і трансформаторів ігнорується через їхню малість порівняно з реактивним [14], струми короткого замикання приведені до сторони 110 кВ. У точках К1-К4 обчислимо значення однофазного короткого замикання, у точках К5-К8 – трифазного. Основні параметри елементів наведені в Таблиці 1.

Параметри системи в максимальному режимі наведені в таблиці 2

Таблиця 2 – Опори системи в максимальному режимі роботи [11].

Активний опір, Ом	Реактивний опір, Ом	Опір нульової послідовності, Ом
0,051	2,638	0,862

Для розрахунку однофазних коротких замикань потрібні схеми заміщення прямої, зворотної і нульової послідовностей. Оскільки в нашій схемі обчислення обертових електричних машин немає, то параметри схем підстановки прямої та зворотної послідовності схожі. На рис. 9 і 10 подані схеми заміщення прямої та нульової послідовностей [14, 15].

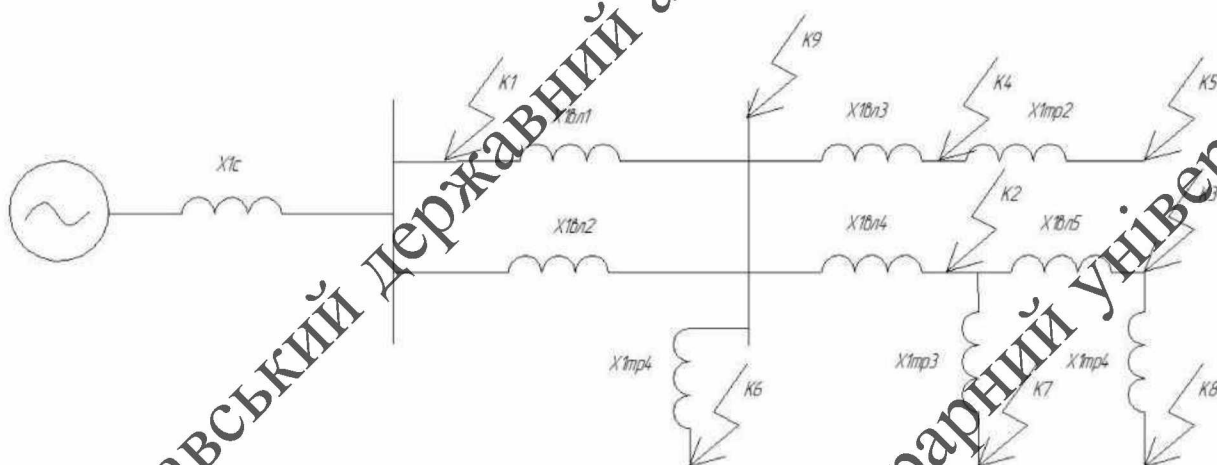


Рисунок 9 - Схема підстановки прямої послідовності

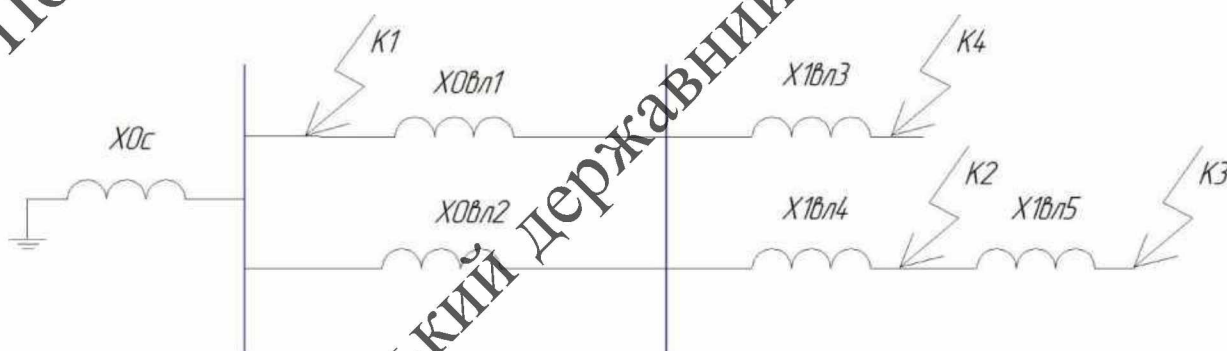


Рисунок 10 - Схема підстановки нульової послідовності

Опори прямої та нульової послідовностей розраховуються за допомогою формул:

$$x_{1ВЛ} = x_{1П} \cdot l ; \quad (1)$$

$$x_{0ВЛ} = x_{0П} \cdot l ; \quad (2)$$

де $x_{1П}$ та $x_{0П}$ – опір прямої та нульової послідовностей ПЛ–110 кВ, Ом/км;
 l — довжина ділянки ПЛ–110 кВ, км.

Розрахунок опорів ПЛ–110 кВ та окремих секцій ПЛ–110 кВ, знайдених за формулами 1 і 2, необхідних для виявлення струмів короткого замикання, наведено в Таблиці 3.

Таблиця 3 – Опори ПЛ–110 кВ

ПЛ–110 кВ	x_1 , Ом	x_0 , Ом	Позначення на схемі заміщення
ПЛ-110 Лінія-2	2,44	7,36	$x_{1ВЛ1}$, $x_{1ВЛ2}$, $x_{0ВЛ1}$, $x_{0ВЛ2}$
ПЛ-110	6,624	19,87	$x_{1ВЛ3}$, $x_{0ВЛ3}$
Ділянка ПЛ-110 Лінія-2 від ГЗП 5 до ГЗП 3	3,64	10,92	$x_{1ВЛ4}$, $x_{0ВЛ4}$
Ділянка ПЛ-110 Лінія-2 від ГЗП 3 до ГЗП 4	0,136	0,408	$x_{1ВЛ5}$, $x_{0ВЛ5}$

Ділянка ПЛ-110 Лінія-2 від ГЗП 3 до ГЗП 4 має опори прямої та нульової послідовностей понад у 20 разів менший за відрізок від ГЗП 5 до ГЗП 3, тому опір секції можна ігнорувати, а струм КЗ у точці К3 можна взяти рівним струму короткого замикання в точці К2.

Мінімальний опір прямої послідовності трансформатора з урахуванням регулювання напруги:

$$x_{тр.мин} = \frac{U_{минВН}^2}{100 \cdot S_{ном.тр}} = \frac{U_{ср.ВН}^2 (1 - \Delta U_{*РПН})^2}{100 \cdot S_{ном.тр}} ; \quad (3)$$

де U — мінімальна напруга на стороні ВН, кВ;

$S_{ном}$ — номінальна потужність трансформатора, МВА;

$\Delta U_{РПН}$ — половина діапазону регулювання напруги;

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$U_{к\ min}$ — це напруга короткого замикання в крайньому «мінус» положенні регулювання під навантаженням.

Опори трансформаторів, розраховані за формулою 3, наведені в Таблиці 4.

Таблиця 4 – Параметри схеми заміни трансформатора

Підстанція та трансформатор	$U_{к\ min}$	$X_{тр.мін}, \text{ Ом}$	Позначення на схемі заміщення
ГЗП 5 С1Т	19,4	72,43	$X_{1тр1}$
ГЗП 3 С1Т	18,84	43,95	$X_{1тр4}$
ГЗП 3 С1Т	18,84	43,95	$X_{1тр3}$
Лнія-1 Т	19,4	72,43	$X_{1тр2}$

Розрахунок струму трифазного короткого замикання виконується за формулою:

$$I_{\Sigma}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{X_{\Sigma\ min}}; \quad (4)$$

де U – фазова напруга системи, В;

x_{Σ} – еквівалентна реактивність у максимальному режимі роботи системи, Ом;

Розрахунок однофазного струму короткого замикання виконується за формулою:

$$3I_{0K}^{(1)} = \frac{3U_{\phi}}{2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma}}; \quad (5)$$

де: U – фазна напруга системи, В;

$x_{1\Sigma}$ – еквівалентна реактивність прямої послідовності Ом;

$x_{0\Sigma}$ — еквівалентний реактивний опір нульової послідовності, Ом.

У точці К1 ми рахуємо лише складову струму короткого замикання, що

проходить з боку нашої підстанції.

Струм у точці К1 розраховується в режимі каскадного вимкнення (спочатку вимикається вимикач В_С):

$$3I_{0K1}^{(1)} = \frac{3U_{\phi}}{2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma}} = \frac{3U_{\phi}}{2(x_{1Cmax} + 2 \cdot x_{1в.л}) + (x_{0Cmax} + 2 \cdot x_{0в.л})} = 10790$$

Струми трифазних і однофазних коротких замикань (крім точки К9) в інших точках розраховуються аналогічно. Результати наведені у Таблиці 5.

Таблиця 5 Струм КЗ у максимальному режимі на стороні 110 кВ

Точка КЗ на схемі проектування	Величина струму при трифазному КЗ, А	Величина струму при однофазному КЗ, А
К1	8460	6240
К2	8477	8300
К3	8477	8300
К4	6055	5466
К9	16472	15560

Розрахунок максимальних трифазних струмів короткого замикання позаду трансформатора виконується за формулою:

$$I_{K.max}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{x_{\Sigma min}} ; \quad (6)$$

де U_{ϕ} – фазова напруга системи;

$x_{\Sigma min}$ — еквівалентний реактивний опір прямої послідовності, Ом.

Знайдемо струм максимального трифазного короткого замикання в точці К6:

$$I_{K6.max}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{x_{\Sigma min}} = \frac{U_{\phi}}{x_{Cmin} + 0,5 \cdot x_{1в.л} + x_{0фл}} = \frac{110000}{\sqrt{3}(2,638 + 0,5 \cdot 2,44 + 72,43)} = 833$$

Струми трифазного максимального короткого замикання позаду трансформаторів в інших точках розраховуються аналогічно. Результати розрахунку узагальнені у Таблиці 6.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 6 – Короткі замикання струми за трансформаторами, налаштованими на сторону 110 кВ

Точка короткого замикання на схемі проектування	Величина струму, А
K5	767
K6	833
K7	1236
K8	1236

Для розрахунку мінімального однофазного короткого замикання струму в точках K1 і K9 схема проектування така ж, як у попередньому розрахунку. Параметри лінії залишилися незмінними. Розрахуємо опір системи в мінімальному режимі роботи.

Розрахунок струму трифазного та однофазного короткого замикання здійснюється за формулами (4, 5):

Параметри системи в мінімальному режимі наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 – Опір системи в мінімальному режимі роботи

Реактивний опір, Ом	Опір нульової послідовності, Ом
3,5	1,143

Щоб обчислити мінімальний струм короткого замикання в інших точках, схема проектування відповідатиме тій, що показана на рисунку 8. Шиноз'єднувальний вимикач 110 кВ відключено, лінії постачання працюють окремо.

Таблиця 8 - Короткі замикання струми в мінімальному режимі на стороні 110 кВ

Точка короткого замикання на схемі проектування	Величина струму при трифазному КЗ, А	Величина струму при однофазному КЗ, А
K1	7590	5850
K2	6620	4940
K3	6620	4990
K4	5062	3570
K9	13470	13375

Опори трансформаторів, розраховані за формулою 6, наведені в таблиці 9.

Таблиця 9 – Параметри схеми заміни трансформатора

Підстанція та трансформатор	$U_{к макс}$	$X_{тр. макс}$, Ом	Позначення на діаграмі заміни
ГЗП 5 С1Т	20,4	129	$X_{1тр1}$
ГЗП 3 С1Т	20,12	79,8	$X_{1тр4}$
ГЗП 4 С2Т	20,12	79,8	$X_{1тр3}$
Лінія 1 1Т	20,4	129	$X_{1тр2}$

Знайдемо мінімальний струм трифазного короткого замикання в точці К6:

$$I_{К6.мин}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{x_{\Sigma макс}} = \frac{U_{\phi}}{x_{С макс} + x_{лвл} + x_{1тр мин}} = \frac{110000}{\sqrt{3} (3,5 + 2,44 + 129)} = 471 \text{ А}$$

Мінімальний струм трифазного короткого замикання за трансформаторами в інших точках розраховуються аналогічним чином. Результати розрахунку узагальнені у Таблиці 10.

Таблиця 10 – Струми короткого замикання за трансформаторами, приведеними на сторону 110 кВ

Точка короткого замикання на схемі проектування	Величина струму, А
К5	449
К6	471
К7	711
К8	711

Висновок за розділом

Аналіз існуючої системи релейного захисту та автоматики прохідної підстанції 110/10 кВ. Розглянуто первинну схему підстанції, до складу якої входять дві повітряні лінії 110 кВ, дві системи шин, обхідна система шин та два силові трансформатори потужністю по 25 МВА. Проведено аналіз наявних пристроїв релейного захисту, встановлено, що більшість із них виконані на електромеханічній елементній базі та потребують модернізації. Обґрунтовано вибір сучасних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та автоматики для захисту ліній, електропередач, силових трансформаторів, шин і комутаційного обладнання. Виконано розрахунок максимальних і мінімальних струмів трифазних та однофазних коротких замикань у характерних точках схеми, які використані для визначення та перевірки уставок релейного захисту. Отримані результати забезпечують необхідну чутливість, селективність і надійність роботи системи релейного захисту підстанції.

					КРБ.141EE6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3 РОЗРАХУНОК НАЛАШТУВАНЬ РЕЛЕ ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Розрахунок струмового захисту з нульовою послідовністю для повітряних ліній 110 кВ

Струм спрацювання першого ступеню захисту нульової послідовності (СЗНП) для одинарних тупикових ліній обирається відповідно до умови налаштування від потрібного струму нульової послідовності при трифазному короткому замиканні позаду приймального трансформатора за виразом [16]:

$$I_{0.C3}^{(I)} = K_{OTC} K_{ПЕР} K_{НББ} I_{КЗ} \quad (7)$$

де $I_{КЗ}$ - струм КЗ за трансформатором А;

$K_{ПЕР}$ - коефіцієнт, що враховує збільшення струму в перехідному режимі, залежить від часу спрацювання ступеня.

- на $T_{C3} < 0,1$ с - 2
- на $T_{C3} < 0,3$ с - 1,5
- при $T_{C3} = (0,5 - 0,6)$ с - 1.

$K_{НБ}$ — це коефіцієнт небалансу, який вважається рівним 0,05 при кратностях розрахункового струму $k_{10} \leq 3$, та рівним 0,1 при кратностях струму не більше 0,8 · k_{10} ;

$K = 1,25$ — це коефіцієнт коригування.

Струм спрацювання першої ступені для повітряної лінії 110 кВ «Лінія-1»:

$$I_{0.C3}^{(I)} = K_{OTC} K_{ПЕР} K_{НББ} I_{КЗ} = 1,25 \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 1327 = 331,75 \text{ А}$$

					КРБ.141ЕЕ60_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Струм спрацьовування першого ступеню для повітряної лінії 110 кВ «Лінія-2»:

Чутливість перевіряється виразом:

$$I_{0,СЗ}^{(I)} = K_{ОТС} K_{ПЕР} K_{НЕБ} I_{КЗ} = 1,25 \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 2138 = 534,5 \text{ А}$$

$$K_q = \frac{I_{КЗМин}^{(I)}}{I_{0,СЗ}^{(I)}}; \quad (8)$$

де $I_{КЗМин}^{(I)}$ — це мінімальний струм однофазного короткого замикання на кінці захищеної Лінії

Перевірка на чутливість першого ступеню для 110 кВ повітряної лінії «Лінія-1»:

$$K_q = \frac{I_{КЗМин}^{(I)}}{I_{0,СЗ}^{(I)}} = \frac{3570}{331,75} = 10,76 > 1,5$$

Коефіцієнт чутливості для повітряної лінії 110 кВ «Лінія-2»

$$K_q = \frac{I_{КЗМин}^{(I)}}{I_{0,СЗ}^{(I)}} = \frac{4990}{534,5} = 9,34 > 1,5$$

Коефіцієнт чутливості в обох випадках перевищує 1,5, і відповідно до ПУЕ другий етап СЗНП не є обов'язковим.

Для забезпечення селективності спрацьовування перший ступінь СЗНП високовольтних ліній 110 кВ у складі панелей комплексного захисту (ПКЗ) повинен мати орган направлення потужності, наприклад реле направлення потужності РНМ-01М [17]. Конфігурація мережі, що дотична до двох ліній, показана на рисунку 11.

Зі схеми можна зробити висновок, що налаштування відключення від короткого замикання за трансформаторами не потрібні, як і налаштування захисту від неповнофазних режимів роботи.

Тому ми оберемо струм спрацьовування першого ступеня з умови [18, 19]

$$I_{0,СЗ}^{(I)} = \frac{I_{КЗМин}^{(I)}}{K_q} = \frac{5850}{1,5} = 3900 \text{ А}$$

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

забезпечення необхідної чутливості в каскадному режимі:

Напруга спрацювання реле напруги потужності (ОНП) $3U_0$ вибирається відповідно до умови:

$$3U_0 = \frac{K_{отс}}{K_v \cdot n_{тн}} \cdot U_{нб}, \text{ В;} \quad (9)$$

де: $K_{отс}$ — коефіцієнт налаштування, дорівнює 1,25;

K_v — коефіцієнт звороту, у нашому випадку, 0,9;

n — коефіцієнт трансформації ТН;

$U_{нб}$ — це значення первинної напруги небалансу на пристрої РЗА, що визначається похибкою ТН, В.

$$3U_0 = \frac{K_{отс}}{K_v \cdot n_{тн}} \cdot U_{нб} = \frac{1,25}{0,9 \cdot 1100} \cdot 11000 = 13,88 \approx 14 \text{ В.} \quad (10)$$

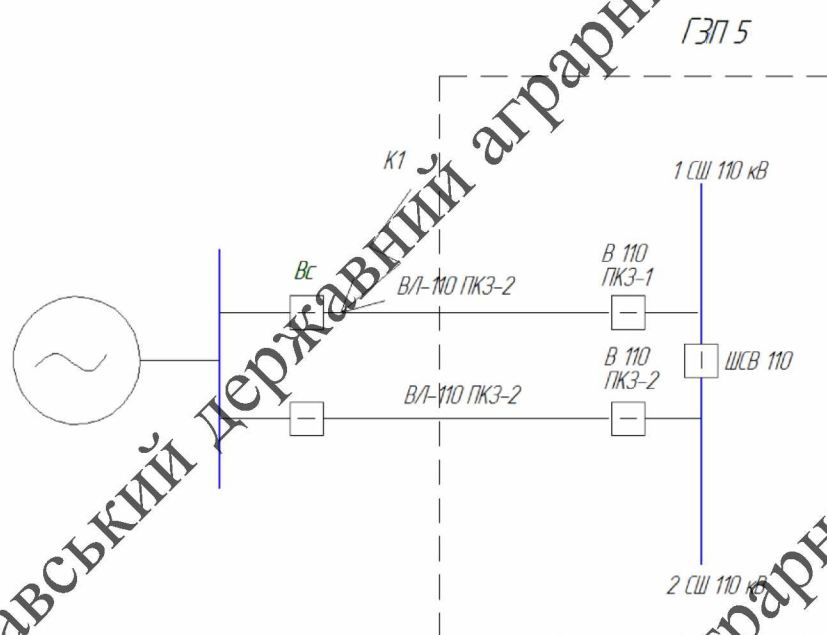


Рисунок 11 – Схема до розрахунку СЗНП

Ми знаходимо потрібну напругу нульової послідовності в мінімальному режимі роботи системи в місці встановлення захисту у разі короткого замикання в кінці захищеної лінії:

$$3U_{0КЗмин} = \frac{1}{3} \cdot I^{(1)}_{кзмин} \cdot (x_{0макс} + x_0_{вл1} + x_0_{вл2}) = \frac{1}{3} \cdot 5850 \cdot (0,862 + 7,36 + 7,36) = 30081$$

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Коефіцієнт чутливості напруги ОНП визначається формулою:

$$K_{\text{ч}U} = \frac{3U_{0\text{КЗ}}}{n_{\text{тн}} \cdot 3U_0} = \frac{30081}{1100 \cdot 14} = 1,95 > 1,5;$$

Визначимо струм другого ненаправленого ступеня, який буде виконувати ближнє резервування захищених ліній і функції далекого резервування глухих ліній, про які йшлося вище.

$$I_{0.СЗ}^{(II)} = K_{\text{ОТС}} I_{0.СЗ}^{(I)}, \text{ А}; \quad (11)$$

де $I_{0.СЗ}^{(I)}$ — максимальний струм спрацьовування першого ступеня глухих ліній, А;

$K_{\text{ОТС}}$ — коефіцієнт коригування, рівний 1,2.

$$I_{0.СЗ}^{(II)} = K_{\text{ОТС}} I_{0.СЗ}^{(I)} = 1,2 \cdot 534,5 = 642,5 \text{ А}.$$

Перевірка чутливості другого ступеня при короткому замиканні в кінці високовольтної лінії 110 кВ «Лінія-1»:

$$K_{\text{с.з.}} = \frac{I_{\text{кз мин}}^{(I)}}{I_{0.СЗ}^{(II)}} = \frac{6176}{642,5} = 9,6 > 1,5$$

I ступінь СЗНП — відсічка без часової затримки:

$$t_{\text{с.з.}}^I = 0.$$

II ступінь СЗНП — відсічка з часовою затримкою:

$$t_{\text{с.з.}}^{\text{II}} = t_{\text{ПРВВ}} + \Delta t \quad (12)$$

де $\Delta t = 0,3 \div 0,5 \text{ с}$ — ступінь селективності за часом,

$t_{\text{ПРВВ}} = 0,3 \div 0,5$ — час дії ПРВВ (пристрій резервування у разі відмови вимикача).

Результати розрахунку СЗНП для 110 кВ високовольтних ліній подані у Таблиці 11.

Таблиця 11 - Результати розрахунку СЗНП

Лінія	$I_{0.СЗ}^{(I)}, A$	$I_{0.СЗ}^{(II)}, A$	$t_{с.з.}^I, c$	$t_{с.з.}^{II}, c$	Направленість
Лінія-1	331,75	-	0	-	Ні
Лінія-2	534,5	-	0	-	Ні
ПКЗ-1	3900	642,5	0	0,6	Перший етап
ПКЗ-2	3900	642,5	0	0,6	Перший етап

3.2 Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту трансформатора

Більшість мікропроцесорних пристроїв диференціального захисту трансформатора (ДЗТ) для підвищення чутливості виконується з гальмуванням. Захисне обладнання компанії «РЕЛСІО» не є винятком.

Термінали захисту обладнання 6-110 кВ серії РЗЛ-05.АЕ мають два ступені. Перший ступінь чутливий з гальмуванням, друга відсічка необхідна при глибокому насиченні трансформаторів струму, коли чутливий ступінь може відмовити [6].

Номінальний струм навантаження на стороні ВН, А:

$$I_{НОМ.НАГР.ВН} = \frac{S_{НОМ.ТР}}{\sqrt{3} \cdot U_{СТОП}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 125,6 A$$

Номінальний струм навантаження на сторонах НН1 і НН2, А:

$$I_{НОМ.НАГР.НН1} = I_{НОМ.НАГР.НН2} = \frac{S_{НОМ.ТР}}{\sqrt{3} \cdot U_{СТОП}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1376 A$$

Знаходимо базовий струм сторони ВН:

$$I_{\text{БАЗ.СТОП.ВН}} = \frac{K_{\text{СХ.ТТ.ВН}} \cdot K_{\text{СХ.АТ.ВН}}}{K_{\text{ТТ.ВН}}} \cdot I_{\text{НОМ.НАГР.ВН}} = \frac{1 \cdot 1}{300 / 5} \cdot 125,6 = 2,093 \text{ А}$$

Знаходимо базовий струм сторони НН1 і НН2:

$$I_{\text{БАЗ.СТОП.НН1}} = I_{\text{БАЗ.СТОП.НН2}} = \frac{K_{\text{СХ.ТТ.НН}} \cdot K_{\text{СХ.АТ.НН}}}{K_{\text{ТТ.НН}}} \cdot I_{\text{НОМ.НАГР.НН1}} = \frac{1 \cdot 1}{1500 / 5} \cdot 1376 = 4,59 \text{ А}$$

Знаходимо відносний номінальний струм трансформатора:

$$I_{\text{НОМ}^*} = \frac{I_{\text{НОМ.НАГР}}}{I_{\text{БАЗ.СТОП}}} \cdot \frac{K_{\text{СХ.ТТ.СТОП}}}{K_{\text{ТТ.СТОП}}} = \frac{125,6}{2,093} \cdot \frac{1}{300 / 5} = 1$$

Знаходимо струм гальмування блокування:

$$I_{\text{Т.БЛ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot K_{\text{ПРЕД.НАГР}} \cdot I_{\text{НОМ}^*} = 1,1 \cdot 1,8 \cdot 1 = 1,98$$

Приймаємо значення уставки $I_{\text{Т.БЛ}} = 2$ у відносних одиницях.

У випадку зовнішнього короткого замикання може виникнути залишковий струм небалансу у відносних одиницях,

$$I_{\text{НБ}} = (K_{\text{ОДН}} \cdot K_{\text{ПЕР}} \cdot \varepsilon + \Delta U_{\text{РПН}} + \Delta f_{\text{В}}) \cdot I_{\text{СКВ}}; \quad (13)$$

$$I_{\text{СКВ}} = \frac{I_{\text{КЗ.МАКС}}^{(3)}}{I_{\text{БАЗ.ВН}}} \cdot \frac{K_{\text{СХ.ТТ.ВН}}}{K_{\text{ТТ.ВН}}} = \frac{1442}{2,093} \cdot \frac{1}{300 / 5} = 11,4$$

Коефіцієнт гальмування:

$$K_{\Gamma} = \frac{K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НБ}} - I_{\text{Д.О.}}}{I_{\Gamma} - I_{\text{Т.0}}} = \frac{1,1 \cdot 2,94 - 0,516}{8,52 - 1} = 0,647$$

Приймаємо $K_{\Gamma} = 0,65$

Для виключення хибних спрацювань диференційного захисту трансформаторів приймаємо рівень блокування у межах 10%.

Для виключення уловільнення та відмов роботи ДЗТ через блокування

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

чутливого ступеня передбачено диференціальне відключення в зоні захисту насичення трансформаторів струму, яке працює без блокування по другій гармоніці струму.

$$I_{OTS} = 1,5 \cdot (K_{ODH} \cdot K_{PER} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{ВНН1} / CKB) = 1,5 \cdot (3 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,16 + 0,02) \cdot 11,49 = 8,3$$

Ми приймаємо $I = 8.3$ відносних одиниць

На стороні ВН силового трансформатора схема з'єднання обмоток – «зірка», сторони НН1 і НН2 – «трикутник».

Перевірка чутливості при мінімальному двофазному короткому замиканні на клеммах НН1:

$$K_q = \frac{815 \cdot \sqrt{3} / 2}{0,516 \cdot 2,093 \cdot 300} = 10,9 > 1,5 \quad (14)$$

Розраховані параметри уставки ДЗТ наведені у Таблиці 12

Таблиця 12 – Результати розрахунку точок установки ДЗТ

Параметр	Позначення у розрахунку	Значення
Базисний струм сторони ВН, А	$I_{БАЗ.СТОР.ВН}$	2,093
Базисний струм сторони НН1 і НН2, А	$I_{БАЗ.СТОР.НН1}, I_{БАЗ.СТОР.НН2}$	4,59
Початковий струм спрацювання, в.о.	$I_{Д.О}$	0,516
Струм початку гальмування, в.о.	$I_{Т.О}$	1
Струм гальмування блокування ДЗТ, в.о.	$I_{Т.БЛ}$	1,98
Коефіцієнт гальмування ДЗТ	$K_{Г}$	0,647
Струм диф. відсічки, в.о.	$I_{ОТС}$	8,3

Приймаємо – Мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики двообмоткового трансформатора або автотрансформатора з вищою напругою 35-110 кВ РЗЛ-05.Т2 [20, 21]. Функції захисту, автоматики і контролю РЗЛ-05.Т2 показано на рис.

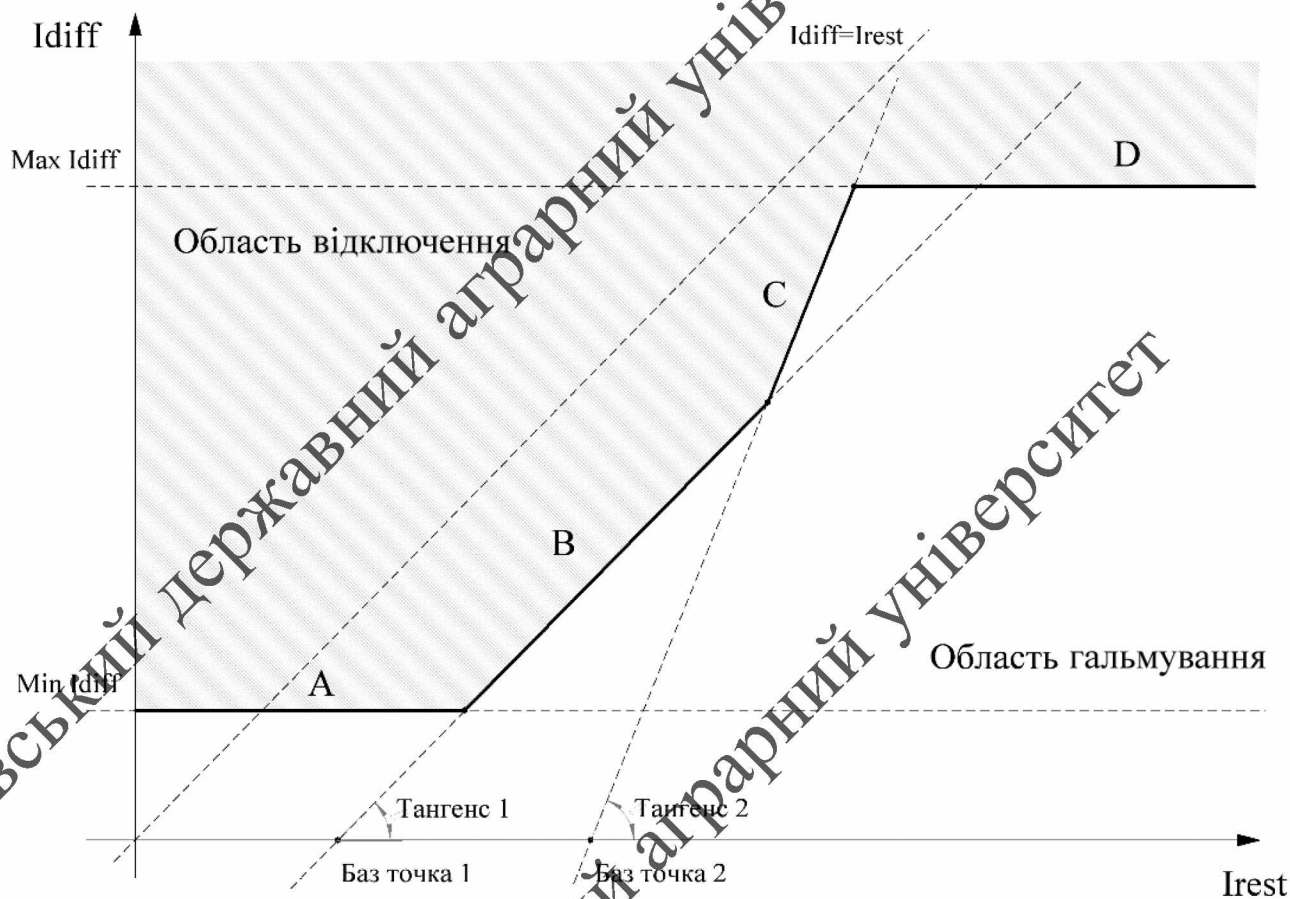


Рисунок 12 – Функції захисту, автоматики і контролю РЗЛ-05.Т2.

3.3 Розрахунок максимального струмового захисту ліній 110 кВ «Лінія-1» та «Лінія-2»

Струм спрацьовування першого ступеня обирається за двома умовами.

1. Налаштування від струму КЗ за трансформатором:

$$I_{C3}^{(I)} = K_{OTC} \cdot I_{K3max}^{(3)}$$

де K_{OTC} – коефіцієнт, дорівнює 1,2;

$I_{K3max}^{(3)}$ – максимальний струм, трифазного КЗ за трансформатором, А

2. Налаштування від сумарного струму намагнічення трансформаторів:

$$I_{C3}^{(I)} = 4 \sum I_{НОМ.ТР}, \text{ А};$$

де $\Sigma I_{НОМ.ТР}$ – сумарний номінальний струм трансформаторів, що живляться з розглянутої лінії, А.

Для лінії «Лінія-1» за першою умовою:

$$I_{C3}^{(I)} = K_{ОТС} \cdot I_{КЗмакс}^{(3)} = 1,2 \cdot 767 = 920 \text{ А}; \quad (15)$$

За другою умовою:

$$I_{C3}^{(I)} = 4 \Sigma I_{НОМ.ТР} = 4 \cdot \left(\frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 110} \right) = 525,46 \text{ А}$$

З двох значень обираємо більше.

Коефіцієнт чутливості при короткому замиканні в кінці лінії:

$$K_q = \frac{I_{КЗ.мін}^{(2)}}{I_{C3}^{(I)}} = \frac{0,87 \cdot 5062}{920} = 4,8$$

де $I_{КЗ.мін}^{(2)}$ — це мінімальний струм двохфазного короткого замикання на кінці захищеного (точка К4).

Для лінії «Лінія-2» за першою умовою:

$$I_{C3}^{(I)} = K_{ОТС} \cdot I_{КЗмакс}^{(3)} = 1,2 \cdot 1236 = 1483 \text{ А};$$

За другою:

$$I_{C3}^{(I)} = 4 \Sigma I_{НОМ.ТР} = 4 \cdot \left(\frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 110} + \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 110} \right) = 1681 \text{ А}$$

З двох значень обираємо більше.

Коефіцієнт чутливості при короткому замиканні в кінці лінії:

$$K_q = \frac{I_{КЗ.мін}^{(2)}}{I_{C3}^{(I)}} = \frac{0,87 \cdot 6620}{1681} = 3,4$$

3.4 Розрахунок диференціального захисту шин 110 кВ

Номінальні вторинні струми трансформаторів струму зовнішніх з'єднань 110 кВ дорівнюють 5 А. Відповідно, базовий струм ТС з найвищим коефіцієнтом перетворення, у нашому випадку 600/5, вважається рівним $I_B = 5,0$ А

Базові струми з'єднання з меншими коефіцієнтами трансформації:

$$I_{BA32} = I_{BA31} \frac{K_{TT1}}{K_{TT2}},$$

де: I_{BA31} — базовий струм з'єднання з найвищим коефіцієнтом трансформації, А.

Коефіцієнти перетворення зв'язку та відповідні їм базисні струми показані в таблиці 17.

Таблиця 17 - Коефіцієнти перетворення та базисні струми приєднань.

Приєднання	K_{TT}	I_{BA3} , А
ПКЗ-1; ПКЗ-2	750/5	5
ПКЗ-Лінія-1	600/5	6,25
ПКЗ-Лінія-2	500/5	7,5
С1Т; С2Т	300/5	12,5
ОВ-110	750/5	5
ШЗВ-110	750/5	5

Струм спрацьовування пускового пристрою (ПП) диференціального захисту обирається відповідно до умови відключення від максимального струму в робочому режимі у випадку розриву струмових ланцюгів:

$$I_{Д.О.} = \frac{K_{ТА} \cdot I_{РОБ.МАКС}}{I_{BA3}}; \quad (16)$$

де: K_H — коефіцієнт налаштування, рівний 1,2;

$I_{\text{РОб.МАКС}}$ — первинний струм найбільш навантаженого з'єднання, короткочасні підвищення навантаження не враховуються, А;

$K_{\text{ТА}}$ — це коефіцієнт перетворення ТС найзавантаженішого з'єднання;

$I_{\text{БАЗ}}$ — це базовий струм найбільш завантаженого з'єднання, А.

$I_{\text{РОб.МАКС}}$ приймемо за довгостроковим дозволим струмом ВЛ-110 з дротом АС-240 живлення «ПКЗ-1» 610 А.

$$I_{\text{д.о.}} = \frac{1,2 \cdot 610}{(750 / 5) \cdot 5} = 0,976$$

Відповідно до стану налаштування через струм небалансу на початку гальмування:

$$I_{\text{до}} = K_H \cdot I_{\text{НБ.ГАЛЬМ.ПОЧ}}; \quad (17)$$

де K_H — коефіцієнт налаштування, який враховує похибку диференціального захисту шин, помилки розрахунку та необхідний запас, дорівнює 1,5;

$I_{\text{НБ.ГАЛЬМ.ПОЧ}}$ — це складова струму небалансного, спричиненого помилкою ТС на початку гальмування, приймаємо 0,15.

Струм спрацювання пускового пристрою:

$$I_{\text{до}} = 0,15 \cdot 1,5 = 0,225$$

Приймаємо $I_{\text{до}} = 0,976$.

Початковий струм спрацювання вимірювальних пристроїв ВП1 та ВП2 ми розраховуємо аналогічно. Оскільки з'єднання з максимальним струмом «ПКЗ-1» і «ПКЗ-2» мають перша і друга шина, то початковий струм спрацювання ВП1 і ВП2 матиме однакову величину.

Висновки за розділом

Недоліки електромеханічних пристроїв: вони досить великі, мають значне споживання від первинних вимірювальних перетворювачів, сейсмічно чутливий,

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

вимагають трудомістке регулювання вимірювальної механічної частини під час регулювання не гарантують стабільність параметрів реле з часом, що не дозволяє знизити витрати на випробування та калібровку реле протягом терміну служби. Через ці недоліки, а також для розширення функціональності та підвищення ефективності релейного захисту та автоматизації рекомендовано для встановлення мікропроцесорний захист. Переваги мікропроцесорного захисту:

- зменшення показників ваги та розміру, а також підвищення надійності апаратного забезпечення через зменшення кількості вузлів і з'єднань,
- покращення придатності до експлуатації та зниження експлуатаційних витрат (сервісн функції)
- кращу якість захисних функцій (чутливість, швидкість, селективність);
- функції реєстратора подій, аварій та осцилографа. Введення журналу аварій і подій, визначення місця пошкоджень. Це призводить до економії часу при розслідуванні та ліквідації аварій;
- можливості дистанційного керування захистом і передачі інформації, інтеграції в автоматизовану систему керування.

Правильне функціонування захисту реле та автоматизації неможливе без правильно встановлених значень. Тому в цьому розділі проводиться розрахунок струмів та налаштувань захисту.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЯ

4.1 Орієнтовна вартість основних засобів модернізації.

Надійність функціонування систем релейного захисту та автоматики (РЗА) є одним із головних факторів забезпечення безпечної та безперебійної роботи електроенергетичних об'єктів. На трансформаторних підстанціях 110/10 кВ значна частина обладнання релейного захисту експлуатується протягом тривалого часу, що призводить до зниження точності спрацювання, збільшення експлуатаційних витрат та підвищення ризику аварійних ситуацій.

У даній бакалаврській роботі передбачено модернізацію системи релейного захисту шляхом заміни електромеханічного реле РНТ-565 на сучасний мікропроцесорний пристрій РЗЛ-05.Т2 для мереж 110/10 кВ. Така модернізація дозволяє підвищити надійність роботи підстанції, покращити селективність захисту та зменшити витрати на технічне обслуговування.

Метою економічного розділу є визначення доцільності впровадження нового обладнання та оцінка економічної ефективності модернізації.

Реле РНТ-565 є електромеханічним пристроєм, який має ряд недоліків:

- значний термін експлуатації;
- високу похибку спрацювання;
- потребу у регулярному технічному обслуговуванні;
- складність налаштування;
- обмежені функціональні можливості;
- низьку швидкодію порівняно із сучасними цифровими пристроями.

Мікропроцесорний пристрій РЗЛ-05.Т2 має такі переваги:

- високу точність роботи;
- підвищену швидкодію;
- можливість самодіагностики;
- зниження витрат на обслуговування;
- компактність;

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- можливість дистанційного контролю параметрів;
- покращену надійність функціонування.

У результаті модернізації очікується:

- підвищення надійності електропостачання;
- зменшення аварійних відключень;
- скорочення експлуатаційних витрат;
- підвищення безпеки обслуговуючого персоналу.

До складу капітальних вкладень входять:

- вартість нового реле;
- витрати на монтажні роботи;
- витрати на пусконаладження;
- транспортні витрати;
- інші супутні витрати.

Капітальні витрати визначаються за формулою:

$$K = K_{об} + K_{м} + K_{пн} + K_{тр} \quad (18)$$

де $K_{об}$ — вартість обладнання;

$K_{м}$ — витрати на монтаж;

$K_{пн}$ — витрати на пусконаладжувальні роботи;

$K_{тр}$ — транспортні витрати.

Прийmemo:

- вартість реле РЗЛ-05.Т2 — 42 000 грн;
- монтажні роботи — 8 000 грн;
- пусконаладження — 6 000 грн;
- транспортні та інші витрати — 4 000 грн.

Тоді загальні капітальні витрати становитимуть:

$$K = 42000 + 8000 + 6000 + 4000 = 60000 \text{ грн}$$

Після модернізації зменшуються витрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання.

Річні експлуатаційні витрати визначаються за формулою:

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$C = C_{\text{обсл}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{ен}}$$

де $C_{\text{обсл}}$ — витрати на технічне обслуговування;

$C_{\text{рем}}$ — витрати на ремонт;

$C_{\text{ен}}$ — витрати електроенергії.

Для реле РНТ-565:

- технічне обслуговування — 9 000 грн/рік;
- ремонт — 6 000 грн/рік;
- енергоспоживання — 2 000 грн/рік.

Загальні витрати:

$$C_1 = 9000 + 6000 + 2000 = 17000 \text{ грн/рік}$$

Для пристрою РЗЛ-05.Т2:

- технічне обслуговування — 3 500 грн/рік;
- ремонт — 1 500 грн/рік;
- енергоспоживання — 1 000 грн/рік.

Тоді:

$$C_2 = 3500 + 1500 + 1000 = 6000 \text{ грн/рік}$$

(20)

Річна економія становитиме:

$$E = C_1 - C_2$$

(21)

$$E = 17000 - 6000 = 11000 \text{ грн/рік}$$

Термін окупності визначається за формулою:

$$T = K/E$$

де K — капітальні витрати;

E — річна економія.

$$T = 60000 / 11000 \approx 5,45 \text{ року}$$

Отже, термін окупності модернізації становить приблизно 5,5 року.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Виконана модернізація системи релейного захисту дозволяє:

- знизити витрати на експлуатацію;
- підвищити надійність електропостачання;
- зменшити кількість аварійних відключень;
- скоротити витрати на ремонт обладнання;
- покращити умови праці персоналу.

Додатковий економічний ефект досягається завдяки:

- скороченню часу ліквідації аварій;
- зменшенню втрат електроенергії;
- підвищенню ресурсу електротехнічного обладнання;
- автоматизації процесів контролю та діагностики.

4.2 Загальні питання охорони праці на головній знижувальній підстанції

Під час експлуатації та модернізації систем релейного захисту і автоматики трансформаторної підстанції 110/10 кВ особлива увага приділяється питанням охорони праці, оскільки роботи виконуються в умовах підвищеної небезпеки, пов'язаної з наявністю високої напруги, електромагнітних полів, струмопровідних частин та електротехнічного обладнання великої потужності.

Організація безпечних умов праці на головній знижувальній підстанції (ГЗП) здійснюється відповідно до вимог законодавства України, правил технічної експлуатації електроустановок, правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, державних стандартів та нормативних документів з охорони праці.

Основними завданнями охорони праці на підстанції є:

- забезпечення безпечних умов праці персоналу;
- попередження виробничого травматизму;
- зниження ризику виникнення аварійних ситуацій;
- забезпечення надійної роботи електротехнічного обладнання;
- захист працівників від дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Головна знижувальна підстанція 110/10 кВ належить до електроустановок високої напруги та характеризується наявністю таких небезпечних виробничих факторів:

- можливість ураження електричним струмом;
- дія електричної дуги при коротких замиканнях;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- шум від роботи силових трансформаторів;
- робота на висоті під час обслуговування обладнання;
- небезпека пожежі через пошкодження ізоляції або аварійні режими;
- вплив несприятливих метеорологічних умов у відкритих розподільчих пристроях.

До виконання робіт на підстанції допускаються лише працівники, які пройшли:

- медичний огляд;
- спеціальне навчання;
- інструктаж з охорони праці;
- перевірку знань правил безпечної експлуатації електроустановок;
- стажування та перевірку кваліфікаційної групи з електробезпеки.

Основним небезпечним фактором на ГЗП є електричний струм. Ураження людини можливе при безпосередньому контакті зі струмовідними частинами або внаслідок появи напруги на металевих конструкціях при пошкодженні ізоляції.

Для забезпечення електробезпеки на підстанції передбачаються:

- захисне заземлення обладнання;
- занулення металевих конструкцій;
- використання ізолювальних засобів захисту;
- застосування блокувань та попереджувальної сигналізації;
- дотримання безпечних відстаней до струмовідних частин;
- використання переносних заземлень під час ремонтних робіт;
- виконання оперативних перемикань відповідно до затверджених інструкцій.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Під час проведення робіт у колах релейного захисту і автоматики необхідно:

- знімати напругу з обладнання;
- перевіряти відсутність напруги;
- встановлювати заземлення;
- вивішувати заборонні та попереджувальні плакати;
- оформляти наряд-допуск або розпорядження на виконання робіт.

Працівники повинні користуватися основними та додатковими електрозахисними засобами:

- діелектричними рукавичками;
- діелектричним взуттям;
- ізолювальними штангами;
- показчиками напруги;
- захисними касками;
- переносними заземленнями.

На підстанціях 110/10 кВ існує підвищена небезпека виникнення пожеж через значні електричні навантаження, короткі замикання та наявність трансформаторного масла.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно:

- підтримувати справний стан електрообладнання;
- регулярно контролювати стан ізоляції;
- не допускати перевантаження силових трансформаторів;
- забезпечувати вільний доступ до засобів пожегасіння;
- проводити періодичні протипожежні інструктажі.

Підстанція повинна бути оснащена:

- вуглекислотними та порошковими вогнегасниками;
- пожежними щитами;
- системами пожежної сигналізації;
- засобами аварійного освітлення.

У разі виникнення пожежі персонал зобов'язаний:

1. Негайно повідомити пожежну службу.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

2. Відключити електроживлення пошкодженої ділянки.
3. Розпочати гасіння пожежі первинними засобами.
4. Організувати евакуацію персоналу із небезпечної зони.

Для забезпечення нормальних умов праці на ГЗП необхідно дотримуватись санітарно-гігієнічних вимог:

- забезпечення нормативного рівня освітлення;
- підтримання допустимих параметрів мікроклімату;
- зниження рівня шуму;
- вентиляція приміщень релейних щитів і диспетчерських;
- підтримання чистоти робочих місць.

Рівень освітленості у приміщеннях релейного захисту повинен забезпечувати безпечне виконання оперативних перемикань та налагоджувальних робіт. Для аварійних ситуацій передбачається резервне освітлення.

Під час модернізації систем релейного захисту і автоматики необхідно враховувати специфіку роботи з мікропроцесорними пристроями та вторинними колами.

Основними заходами безпеки є:

- перевірка справності вимірювальних приладів;
- використання інструменту з ізольованими ручками;
- недопущення помилкового подавання напруги;
- захист обладнання від статичної електрики;
- дотримання правил монтажу та налаштування мікропроцесорних терміналів.

Усі роботи повинні виконуватися згідно з технічною документацією та під контролем відповідального керівника робіт.

4.3 Екологічна безпека

Трансформаторні підстанції напругою 110/10 кВ є важливими елементами енергетичної системи та забезпечують передачу і розподіл електричної енергії між

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

споживачами. Під час експлуатації електроенергетичних об'єктів можливий негативний вплив на навколишнє середовище, тому при модернізації систем релейного захисту і автоматики необхідно враховувати вимоги екологічної безпеки.

Основними нормативними документами, що регламентують екологічні вимоги до електроустановок, є Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про охорону атмосферного повітря», «Про управління відходами», а також державні санітарні норми та правила у сфері електроенергетики [22-24].

Модернізація релейного захисту і автоматики трансформаторної підстанції 110/10 кВ спрямована не лише на підвищення надійності електропостачання, а й на зменшення негативного впливу електрообладнання на довкілля шляхом впровадження сучасних мікропроцесорних пристроїв.

Під час роботи трансформаторної підстанції можливий вплив на навколишнє середовище за такими напрямками:

- електромагнітне випромінювання;
- шумове забруднення;
- можливі витіки трансформаторного масла;
- утворення промислових відходів;
- споживання електричної енергії допоміжним обладнанням;
- аварійні режими роботи обладнання.

Найбільш суттєвим фактором є робота силових трансформаторів, комутаційної апаратури та пристроїв релейного захисту. При аварійних режимах можливе виникнення коротких замикань, перегріву обладнання або пошкодження ізоляції, що може спричинити забруднення навколишнього середовища.

Під час роботи електроустановок високої напруги створюються електричні та магнітні поля промислової частоти 50 Гц. Основними джерелами електромагнітного випромінювання є:

- силові трансформатори;
- струмопроводи;

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- відкриті розподільчі пристрої;
- високовольні лінії.

Рівень електромагнітного поля на території підстанції не повинен перевищувати допустимих значень, установлених санітарними нормами. Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання застосовують:

- дотримання санітарно-захисних зон;
- екранування окремих елементів обладнання;
- використання сучасних конструкцій струмопроводів;
- обмеження часу перебування персоналу поблизу джерел випромінювання.

Під час модернізації релейного захисту використання мікропроцесорних терміналів дозволяє зменшити кількість електромеханічних пристроїв, що позитивно впливає на електромагнітну сумісність обладнання.

Основним джерелом шуму на трансформаторній підстанції є силові трансформатори та системи їх охолодження. Рівень шуму залежить від потужності трансформатора, режиму навантаження та технічного стану обладнання.

Для зниження шумового навантаження використовують:

- сучасні мал шумні трансформатори;
- вібропоглинаючі конструкції;
- шумоізоляційні екрани;
- своєчасне технічне обслуговування обладнання.

Модернізація систем релейного захисту і автоматики не призводить до збільшення шумового забруднення, оскільки мікропроцесорні пристрої працюють практично безшумно.

У силових трансформаторах використовується трансформаторне масло, витік якого може спричинити забруднення ґрунту та підземних вод. Для попередження аварійних ситуацій на підстанції передбачають:

- маслоприймальні ємності;
- систему збору та відведення масла;
- герметизацію обладнання;
- регулярний контроль стану трансформаторів;

					КРБ.141ЕЕ60_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- автоматичне відключення пошкодженого обладнання.

Впровадження сучасних систем релейного захисту дозволяє швидко виявляти аварійні режими та мінімізувати ризик пошкодження трансформаторів і витоку масла.

Під час модернізації підстанції утворюються такі види відходів:

- демонтовані релейні пристрої;
- кабельна продукція;
- електронні компоненти;
- металобрухт, ізоляційні матеріали.

Усі відходи повинні сортуватися та передаватися спеціалізованим організаціям для подальшої переробки або утилізації відповідно до чинного законодавства України.

Особливу увагу необхідно приділяти утилізації електронних компонентів мікропроцесорних терміналів, оскільки вони можуть містити речовини, небезпечні для довкілля.

Використання сучасних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту має низку екологічних переваг:

- зменшення споживання електроенергії;
- підвищення надійності електропостачання;
- зниження імовірності аварій;
- скорочення витрат на технічне обслуговування;
- зменшення кількості електромеханічного обладнання.

Сучасні системи автоматики забезпечують швидке виявлення пошкоджень і селективне відключення аварійних ділянок мережі, що зменшує втрати електроенергії та підвищує ефективність роботи енергосистеми.

Висновок за розділом

У результаті проведеного економічного аналізу встановлено, що модернізація релейного захисту трансформаторної підстанції 110/10 кВ шляхом

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

заміни реле РНТ-565 на сучасний мікропроцесорний пристрій РЗЛ-05.Т2 є технічно та економічно доцільною.

Загальні капітальні витрати на впровадження становлять 60 тис. грн, а річна економія експлуатаційних витрат — 11 тис. грн. Розрахунковий термін окупності складає близько 5,5 року, що підтверджує ефективність запропонованої модернізації.

Використання сучасного мікропроцесорного релейного захисту дозволяє підвищити надійність роботи підстанції, покращити якість електропостачання та забезпечити більш високий рівень автоматизації технологічних процесів.

Дотримання вимог охорони праці під час експлуатації та модернізації головної знижувальної підстанції 110/10 кВ є необхідною умовою забезпечення безпеки персоналу, надійної роботи електрообладнання та запобігання аварійним ситуаціям. Реалізація організаційних і технічних заходів електробезпеки, пожежної безпеки та виробничої санітарії дозволяє мінімізувати ризики виробничого травматизму та підвищити ефективність роботи підстанції.

У процесі модернізації релейного захисту і автоматики трансформаторної підстанції 110/10 кВ необхідно враховувати вимоги екологічної безпеки та мінімізувати негативний вплив електрообладнання на навколишнє середовище.

Застосування сучасних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту дозволяє підвищити надійність роботи підстанції, знизити ймовірність аварійних ситуацій, зменшити енергоспоживання та покращити екологічні показники об'єкта. Комплекс заходів із захисту від електромагнітного випромінювання, шуму, витоків трансформаторного масла та правильного поводження з відходами забезпечує безпечну експлуатацію підстанції відповідно до чинних екологічних норм.

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ВИСНОВКИ

1. На підстанції, що модернізується, обладнання РЗА встановлено переважно на електромеханічній елементній основі. Окрім фізичного старіння та зношування, серед недоліків цих пристроїв є: вони досить великі, мають значне споживання від первинних вимірювальних перетворювачів, є сейсмічно чутливими, потребують «трудомісткого» налаштування вимірювальної механічної частини під час регулювання, не гарантують стабільність параметрів реле з часом, що не дозволяє зменшити витрати на перевірку та калібрування реле протягом терміну служби.

2. При заміні диференціального захисту трансформатора відповідної підстанції на основі реле РНТ-565 на мікропроцесорний захист 35-110 кВ РЗЛ-05.Т2, чутливість зростає більш ніж у шість разів, швидкість дії при вдвічі збільшується від струму спрацьовування втричі (слід звернути увагу, що швидкість усунення аварії також залежить від загального часу вимкнення автоматичних вимикачів). Функціональність також розширена завдяки вбудованому осцилоскопу, реєстратору подій аварій та сервісним функціям. Стає можливим інтегрувати РЗА у систему телемеханіки та автоматизовану систему управління процесами, щоб створити автоматизовану робочу станцію (АРС). Усе це економить час на аналіз аварій і усунення наслідків, скорочує час періодичних перевірок релейного захисту та автоматизації.

3. Проведений розрахунок струмів короткого замикання, а також встановлених точок релейного захисту та автоматизації може використовуватися для уточнення та коригування існуючих встановлених точок на діючих підстанціях.

4. У результаті проведеного економічного аналізу встановлено, що модернізація релейного захисту трансформаторної підстанції 110/10 кВ шляхом заміни реле РНТ-565 на сучасний мікропроцесорний пристрій РЗЛ-05.Т2 є технічно та економічно доцільною. Загальні капітальні витрати на впровадження становлять 60 тис. грн, а річна економія експлуатаційних витрат — 11 тис. грн. Розрахунковий термін окупності складає близько 5,5 років, що підтверджує ефективність

					КРБ.141EE60_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

запропонованої модернізації.

5. Використання сучасного мікропроцесорного релейного захисту дозволяє підвищити надійність роботи підстанції, покращити якість електропостачання та забезпечити більш високий рівень автоматизації технологічних процесів.

6. Дотримання вимог охорони праці під час експлуатації та модернізації головної знижувальної підстанції 110/10 кВ є необхідною умовою забезпечення безпеки персоналу, надійної роботи електрообладнання та запобігання аварійним ситуаціям. Реалізація організаційних і технічних заходів електробезпеки, пожежної безпеки та виробничої санітарії дозволяє мінімізувати ризики виробничого травматизму та підвищити ефективність роботи підстанції.

7. У процесі модернізації релейного захисту і автоматики трансформаторної підстанції 110/10 кВ необхідно враховувати вимоги екологічної безпеки та мінімізувати негативний вплив електрообладнання на навколишнє середовище.

8. Застосування сучасних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту дозволяє підвищити надійність роботи підстанції, знизити ймовірність аварійних ситуацій, зменшити енергоспоживання та покращити екологічні показники об'єкта.

					КРБ.141EE6d_31[1].04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58