

□

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

**«КОМПЛЕКС РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНОЇ
ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ 220 КВ
ПІДСТАНЦІЇ «ВОЛОВЕЦЬ» – ПІДСТАНЦІЇ «СТРИЙ»»**

Виконав: студент IV курсу

групи Ен – 41 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Кацій Б. І.

(підпис)

(прізвище та ініціал)

Керівник: Бабич М. І.

(підпис)

(прізвище та ініціал)

Рецензент: Чабан А. В.

(прізвище та ініціал)

ДУБЛЯНИ 2024

□

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ ____ ” _____ 202__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кацію Богдан Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Комплекс релейного захисту повітряної лінії електропередачі 220 кВ підстанції «Воловець» – підстанції «Стрий»»

керівник роботи к.т.н., доцент Бабич М. І.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затвержені наказом Львівського НУП 641/к-с від 27.11.23 р.

2. Строк подання студентом роботи 14.06.24 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1 Характеристика об'єкта

2 Вибір електричних апаратів

3 Комплекс релейного захисту повітряної лінії

4 Охорона праці та навколишнього середовища

5 Економічна ефективність модернізації комплексу релейного захисту

Висновки

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | | Відмітка про виконання |
|---------|---|----------------|------------------|------------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв | |
| 1,2,3,5 | <i>Левонюк В. Р., к.т.н., доцент</i> | | | |
| 4 | <i>Городецький І. М., к.т.н., доцент</i> | | | |

7. Дата видачі завдання 27.11.23 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1 | <i>Виконання аналізу вихідних даних та характеристики об'єкта модернізації</i> | <i>27.11.2023 – 31.01.2024</i> | |
| 2 | <i>Вибір електричних апаратів та релейного захисту лінії електропередачі</i> | <i>1.02.2024 – 17.03.2024</i> | |
| 3 | <i>Обчислення струмів КЗ та уставок мікропроцесорного захисту лінії електропередачі</i> | <i>20.03.2024 – 21.04.2024</i> | |
| 4 | <i>Виконання структурно-функціонального аналізу процесу та розробка моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій</i> | <i>24.05.2024 – 5.05.2024</i> | |
| 5 | <i>Вивчення питання охорони навколишнього середовища та здійснення техніко-економічної оцінки прийнятих рішень</i> | <i>8.05.2024 – 19.05.2024</i> | |
| 6 | <i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i> | <i>22.05.2024 – 2.06.2024</i> | |
| 7 | <i>Завершення роботи в цілому</i> | <i>5.06.2024 – 14.06.2024</i> | |

Студент

Кацій Б. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Бабич М. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.06.24:4

Кацій Б. І. «Комплекс релейного захисту повітряної лінії електропередачі 220 кВ підстанції «Воловець» – підстанції «Стрий»». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 51 с текстової частини, 7 таблиць, 22 рисунки, 26 джерел посилань.

Метою кваліфікаційної роботи є покращення ефективності роботи комплексу релейного захисту повітряної лінії електропередачі 220 кВ ПС «Воловець» – ПС «Стрий».

Для досягнення мети, потрібно виконати наступні **завдання**: здійснити характеристику лінії електропередачі та підстанцій, які вона з'єднує; здійснити огляд та вибір основних електричних апаратів, мікропроцесорних захистів та вимірювальних трансформаторів; здійснити розрахунок струмів коротких замикань; виконати вибір уставок захистів лінії електропередачі.

У кваліфікаційній роботі запропоновано технічні рішення для модернізації комплексу релейного захисту повітряної лінії електропередачі ПС «Стрий» – ПС «Воловець». Розкрито загальні положення пересилання електричної енергії лініями електропередач та здійснення їх захисту. Здійснено характеристики підстанцій «Стрий» та «Воловець», а також лінії електропередачі, яка їх з'єднує. Здійснено огляд існуючих мікропроцесорних пристроїв релейного захисту повітряних ліній електропередач 220 кВ. Серед існуючих пристроїв вибрано пристрій *Siprotec* фірми *Siemens*. У програмному комплексі *CADeSIMU* здійснено розрахунок струмів коротких замикань та вибрано усі необхідні уставки захисту. Представлено обґрунтування економічної ефективності модернізації комплексу релейного захисту лінії електропередачі.

Ключові слова: релейний захист, мікропроцесор, модернізація, розрахунок, підстанція, комплекс.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 6 |
| 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА..... | 7 |
| 1.1 Загальні положення та характеристика лінії електропередачі..... | 7 |
| 1.2 Загальна характеристика ПС «Воловець»..... | 8 |
| 1.3 Загальна характеристика ПС «Стрий»..... | 12 |
| 2 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ..... | 17 |
| 2.1 Загальні вимоги до релейного захисту..... | 17 |
| 2.2 Огляд мікропроцесорних пристроїв релейного захисту повітряних ліній 220 кВ..... | 21 |
| 2.3 Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги 220 кВ | 22 |
| 3 КОМПЛЕКС РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ..... | 28 |
| 3.1 Вибір захистів повітряної лінії..... | 28 |
| 3.2 Розрахунок струмів коротких замикань..... | 28 |
| 3.3 Обчислення параметрів спрацювання струмових відсічок..... | 31 |
| 3.4 Обчислення параметрів АПВ..... | 35 |
| 3.5 Розрахунок параметрів захисту від мінімальної та максимальної напруги..... | 35 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА..... | 38 |
| 4.1 Структурно-функціональний аналіз виникнення небезпечних ситуацій | 38 |
| 4.2 Електробезпека при обслуговуванні пристроїв релейного захисту... | 39 |
| 4.3 Вплив електромагнітних полів на довкілля..... | 41 |
| 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСУ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ..... | 43 |
| 5.1 Аналіз технічних рішень..... | 43 |
| 5.2 Планування модернізації та укладання бюджету..... | 44 |
| 5.3 Обчислення сумарної вартості модернізації..... | 47 |
| ВИСНОВКИ..... | 49 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... | 50 |

ВСТУП

Нормальне функціонування електроенергетичних систем неможливе без відповідних пристроїв релейного захисту та автоматики, які забезпечують надійний захист та автоматизацію конкретних елементів цих систем. Релейний захист та автоматизація здійснюють відключення пошкодженого елемента від неушкодженої частини електричної мережі і перешкоджає розповсюдження аварії в енергосистемі. Окрім цього, релейний захист здатний виявляти аварійні режими роботи такої системи та з достатньою ефективністю відновлювати нормальну працездатність або живлення споживачів [1].

Нині роль інженера-електрика в галузі електропостачання, в суспільстві дуже велика. Особливо це актуально у зв'язку з появою досить великої кількості нових пристроїв релейного захисту та автоматики на основі аналогових та цифрових інтегральних мікросхем, мікропроцесорної елементної бази та цифрових контролерів. Ще більшої актуальності роль набула після енергетичного терору нашої країни внаслідок збройної агресії російської федерації.

Принципи побудови та функціонування не змінюється, релейний захист переважно стосується лише сфери їх технічної реалізації. Конкретно, актуальні нині такі елементи захисту як мікропроцесорні, напівпровідникові реле та термінали захисту, такі як електромеханічні реле, реально налаштувати фахівцю з паспорту пристрою для реалізації певних функцій.

Незалежно від того, які принципи покладено в основу пристроїв релейного захисту, для виявлення пошкоджень, система має знаходити несправні елементи та відокремлювати їх від справної частини електроенергетичної системи. Основну роль вирішенні цього завдання грає логіка взаємодії пристроїв і параметри їхнього спрацювання, що забезпечують реалізацію процедур взаємодії. Тому розрахунки, що виконуються з метою визначення точних значень параметрів спрацювання пристроїв релейного захисту, мають найвищу практичну значущість та створюють методичну базу для координації роботи пристроїв релейного захисту у загальній електроенергетичній системі.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА

1.1 Загальні положення та характеристика лінії електропередачі

Передача електричної енергії повітряними лініями електропередач (ПЛ) здійснюється проводами, які знаходяться на відкритому повітрі і підтримуються над землею на опорах за допомогою спеціальних кріплень (траверс), ізоляторів та інших пристроїв, які використовуються для кріплення, з'єднання та відгалуження проводів. Всі ці пристрої називають лінійною апаратурою повітряних ліній електропередачі. Повітряна лінія підводиться до лінійного порталу – конструкції, до якої через ізолятори підвішуються дроти. Від лінійного порталу до провідників лінії підключаються спуски до лінійних роз'єднувачів [2].

Найбільш поширеними видами пошкоджень повітряних ліній є обрив проводу, пошкодження ізолятора або іншого конструктивного елемента ПЛ.

Ці пошкодження діагностуються візуальним оглядом при обході лінії після аварійного відключення та усуваються здебільшого швидко, без необхідності застосування спеціалізованого обладнання, випробувальних установок та проведення земляних робіт. Виняток становлять випадки наявності пробую ізолятора на одній із опор.

У цьому випадку при зниженні діелектричної міцності ізолятора через нього протікатиме струм і на даній ділянці електроустановки буде зафіксовано наявність замикання на землю.

Ізоляція забезпечується гірляндами підвісних тарілчастих ізоляторів із загартованого скла.

Для зменшення кількості аварійних відключень, обумовлених атмосферною електрикою при грозах, ЛЕП оснащуються захисними тросами, що закріплюються на опорах вище проводів і призначеними для усунення прямих попадань блискавки у проводи. Вони являють собою спеціальні посилені сталевалюмінієві проводи невеликих перерізів з метою забезпечення роботи

високочастотних каналів диспетчерського зв'язку. Нині вже розроблені і та широко використовуються нові конструкції блискавкозахисних тросів із вмонтованими у їх трубчастий сердечник оптико-волоконних пучків, які забезпечують багатоканальний зв'язок [3].

Всі вище перелічені ознаки стосуються вибраного нами об'єкта кваліфікаційної роботи, зокрема повітряну лінію електропередачі 220 кВ ПС «Воловець» – ПС «Стрий».

Лінія виконана проводом АС-600/72, які виготовлені скручуванням декількох шарів круглих дротів, які зміцнені з сердечниками, що звиті з дротами канатної сталі. Використовуються лише одиночні дроти у кожній із трьох фаз.

Натяжні гірлянди збірних шин на відкритій частині підстанції прийняті одноконтурними з ізоляторів ПС-70.

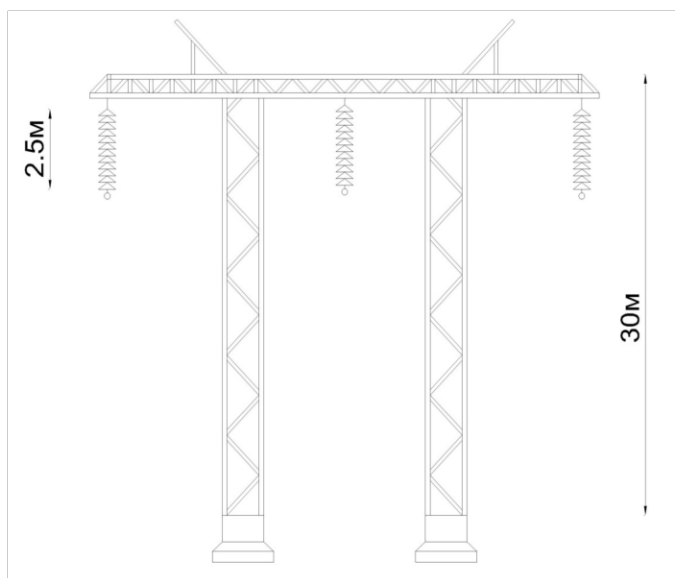


Рисунок 1.1 – Конструкція елементів ПЛ

Довжина лінії 220 кВ ПС «Воловець» – ПС «Стрий» становить 80 км; висота опори – 30 м, а довжина гірлянди підвішування – 2,5 м; Конструкція елементів ПЛ представлена на рис. 1.1.

1.2 Загальна характеристика ПС «Воловець»

В адміністративному відношенні підстанція «Воловець» розташована на поблизу селища міського типу Воловець. Підстанція розташована у висо-

когір'ї Українських Карпат, на південь від Вододільного хребта та на північ від масиву Полонина Боржава, у долині річок Вича та Волівчика, при підніжжі гір Темнатик та Плай, на висоті близько 500 м над рівнем моря.

Фрагмент однолінійної схеми розподільчих пристроїв 220 кВ підстанції Воловець представлено на рисунку 1.2.

Рисунок видалено керівником кваліфікаційної роботи з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 1.2 – Схема розподільчих пристроїв 220 кВ підстанції «Воловець»

Для забезпечення електропостачання працює головна понижувальна підстанція 220 кВ з підключеними двома повітряними лініями 220 кВ.

На даний момент, у рамках реконструкції, передбачається встановлення на майданчику підстанції двох спеціальних трансформаторів 220/10 кВ. Відтак, у нормальному режимі власні потреби матимуть самостійне джерело електропостачання від реконструйованої ПС 220 кВ.

Проектом реконструкції передбачаються:

- ✚ будівництво ВРП 220 кВ у відкритому виконанні з розташуванням обладнання на блокових конструкціях;
- ✚ спорудження ЗРП 10 кВ для підключення споживачів;
- ✚ спорудження загальнопідстанційного пункту керування (ЗПК);
- ✚ встановлення перемикальних пунктів;

Передбачено улаштування нового огороження території для запобігання несанкціонованого доступу на територію підстанції сторонніх осіб. Проектовані проїзди є технологічними і використовуватимуться для обслуговування технічних потреб підстанції.

У якості протипожежних заходів передбачено пожежні щити та ящики із піском, у районі розташування будівель ЦРП-3.

Відповідно до завдання з поділу електропостачання власних потреб 10 кВ забезпечення додаткових навантажень на ПС «Воловець» будівництво підстанції виконується у 2 етапи:

I етап. Частина електропостачання власних потреб 10 кВ шляхом виконання будівельних та монтажних робіт введення на ПС 220 кВ трансформатора 220/10 кВ 1Т (далі 16Т) [4].

II етап. Виконання будівельних та монтажних робіт введення на ПС 220 кВ трансформатора 220/10 кВ Т2 (далі 17Т), струмопроводу 10 кВ від нового 17Т до нового РП, загальне максимальне навантаження складе 27,0 МВт.

Розподільчі пристрої 220 кВ міститимуть:

- ✚ трансформатори струму з вимірювальними та релейними обмотками;
- ✚ вимикачі 220 кВ – елегазові колонкові з виносними трансформаторами струму, триполюсного виконання;
- ✚ обмежувачі перенапруг 220 кВ;
- ✚ роз'єднувачі 220 кВ трифазні, з електроруховими приводами на головних та заземлюючих ножах. Горизонтально-поворотного виконання, що полегшує обслуговування та підвищує автоматизованість підстанції;
- ✚ емнісні трансформатори напруги у лініях 220 кВ I контур та IV контур.

Ошиновка ВРУ-220 кВ гнучка і виконана сталевалюмінієвим дротом. У місці з'єднання ОСШ з лініями буде використана жорстка ошиновка.

Ізоляція обладнання прийнята для II ступеня забруднення атмосфери, у зв'язку з цим, обладнання та ізоляція ВРП 220 кВ прийнято з питомою ефективною довжиною шляху витоку не менше 2,5 см/кВ [5].

Міжполюсні відстані усіх установлюваних апаратів прийнято відповідно до рекомендацій заводів виробників та відповідно до ПУЕ. Приєднання проводів до пристроїв здійснюється з використанням відповідних апаратних затискачів, які пресуються.

Компонувальні рішення розподільчого пристрою 220 кВ відкритого виконання при розташуванні обладнання приймаються з урахуванням існуючої будівельної частини. Для приєднання ПЛ 220 кВ (I контур і IV контур) встановлюються лінійні портали 220 кВ ґратчастого типу. Компонування відкритого розподільчого пристрою традиційна з розташуванням апаратів на одному рівні.

На підстанції будуть встановлені два трифазні трансформатори ТРДН-80000/220 для зниження напруги мережі з 220 кВ на 10 кВ. Трансформатор потужністю 80 МВА напругою 220/10 кВ з розщепленою обмоткою низької напруги по 40 МВА. З урахуванням високої відповідальності, що висуваються до електропостачання технологічного обладнання, завантаження трансформаторів у номінальному режимі не повинно перевищувати 60 %. В аварійному режимі 100 %. Навантаження на власні потреби становитиме 27 МВт. Потужність трансформатора прийнята з урахуванням підключення в перспективі додаткового навантаження у межах 20 МВА [6].

У якості заземлювача на ОРУ використано заземлюючий пристрій у вигляді сітки з поперечних і поздовжніх заземлювачів з оцинкованої сталевий смуги 40x5 мм і вертикальних заземлювачів.

Горизонтальні заземлювачі прокладаються на глибині 0,5 – 0,6 м від поверхні землі та на відстані 0,8 – 1,0 м від фундаментів будівель та обладнання.

З'єднання елементів виконано зварюванням подвійним швом, зварні шви, розташовані у землі. Все нове обладнання, яке встановлюється, приєднується до контуру заземлення. Кожна стійка під обладнання 220 кВ та 10 кВ приєднується до заземлюючого пристрою.

Заземлення опор трубчастого струмопроводу виконується прокладкою протяжного заземлювача зі смугової оцинкованої сталі 40x5 в землі вздовж траси струмопроводу.

Для захисту обладнання ВРП 220 кВ від грозових перенапруг, які надходять з ліній та від небезпечних рівнів комутаційних перенапруг, передбачається за допомогою обмежувачів перенапруг, встановлених з високої сторони 80000/220 кВ. Для захисту мікропроцесорної апаратури передбачене екранування кабелів.

До споживачів підстанції входять споживачі I категорії. У нормальних режимах вони повинні забезпечуватися електроенергією від двох самостійних взаємно резервуючих джерел живлення, а перерва у їх електропостачанні при порушенні електропостачання від одного з джерел живлення може бути допущена лише на час автоматичного відновлення живлення.

1.3 Загальна характеристика ПС «Стрий»

Підстанція 220 кВ «Стрий» є однією із візитівок електричної мережі Львівської області. Вона була спроектована та побудована у рекордно короткі терміни спеціально для розв'язання проблеми забезпечення необхідних перетоків електричної енергії між енергосистемами України та Європейського Союзу. Фрагмент схеми підстанції представлено на рисунку 1.3.

Підстанція «Стрий» є енергооб'єктом нового покоління. На ній встановлено найсучасніше обладнання провідних світових фірм-виробників. Все обладнання підключено до автоматизованої системи управління технологічними процесами, яке дає змогу контролювати та керувати підстанцією з робочого місця оперативного персоналу [7].

Рисунок видалено керівником кваліфікаційної роботи з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 1.3 – Фрагмент однолінійної схеми відкритих розподільчих пристроїв підстанції «Стрий»

До ВРП 220 кВ підстанції підключаються три повітряні лінії 220 кВ: ПЛ 220 кВ на ПС «Львів, яка має відгалуження на ПС «Розділ» (1-й та 2-й контури) та ПЛ 220 кВ на Бурштинську ТЕС та на ПС «Воловець» із сумарними перетоками потужності 480 МВт.

На підстанції встановлено дві групи автотрансформаторів 3хАОДЦТН-167000/220 сумарною потужністю по 501 МВА з резервною фазою.

Позначення трансформатора АОДЦТН розшифровується так: А – автотрансформатор; О – однофазний; Д – з охолодженням повітряним дугтям; Ц – з примусовою циркуляцією оливи; Т – три обмотковий; «Н» – з регулюванням напруги під навантаженням (РПН).

Автотрансформатор призначений для забезпечення зв'язку електричних мереж напругою 220 і 110 кВ. До сторони низької напруги підключено навантаження власних потреб підстанції. Режим роботи загальної нейтралі – глухе заземлення.

Для захисту від струмів КЗ та перенапруг на ПС встановлено високовольтні елегазові вимикачі на напрузі 220 кВ – *GL317* (завод-виробник АЛСТОМ-АРЕВА, Франція), на напрузі 11 кВ – *HGF 1014* (завод-виробник АЛСТОМ-АРЕВА, Франція).

Для перетворення значень первинної напруги у стандартизоване значення, зручне для вимірювання та використання в пристроях РЗА, а також для відділення контурів та пристроїв РЗА від мережі високої напруги, що забезпечує доступність та безпеку їх обслуговування, на ПС встановлені ємнісні трансформатори напруги типу ТЕМР виробництва компанії *Trench* класу напруги 220 і 110 кВ: ТЕМР 220 і ТЕМР 110 і вимірювальний трансформатор струму типу ТГФМ-220 та ТГФМ-110.

На напрузі 220 та 110 кВ встановлено горизонтально-поворотні роз'єднувачі з підшипниковими пристроями, що не вимагають обслуговування протягом усього терміну служби та руховими приводами на головних та заземлювальних ножах.

Для компенсації реактивної потужності та підтримки параметрів якості електроенергії на шинах 220 кВ підстанції встановлено батарею статичних конденсаторів типу КБ-220-129600-УХЛ1. Батарея скомплектована із конденсаторних елементів типу КЕПФ-12-450-2.

Конденсаторна батарея представлена на рисунку 1.4 складається з шести блоків, по 2 блоки на фазу. Блок виконаний у вигляді металевої конструкції, розділеної опорними ізоляторами на 3 поверхи. Фаза батареї збирається за схемою чотириплечового моста в діагональ якого включений трансформатор струму небалансного захисту. Кожне плече складається з 24 конденсаторів (шість послідовно, чотири паралельно). Батарея комплектується конденсаторами типу КЕПФ-12-450-2УХЛ1. Конденсатори встановлені горизонтально, виводи конденсаторів з'єднані один із одним з виводами конденсаторної батареї гнучкою ошиновкою та алюмінієвими шинами, що забезпечують температурну компенсацію. Загальна шина двох плечей моста верхньої частини конденсаторної батареї закріплена на опорних ізоляторах і підключа-

ється до вимикача (з іншого боку до струмообмежувального реактора). Виведення кожного плеча в нижній частині конденсаторної батареї підключаються до виводів трансформатора струму НБЗ типу ТГФМ-220.

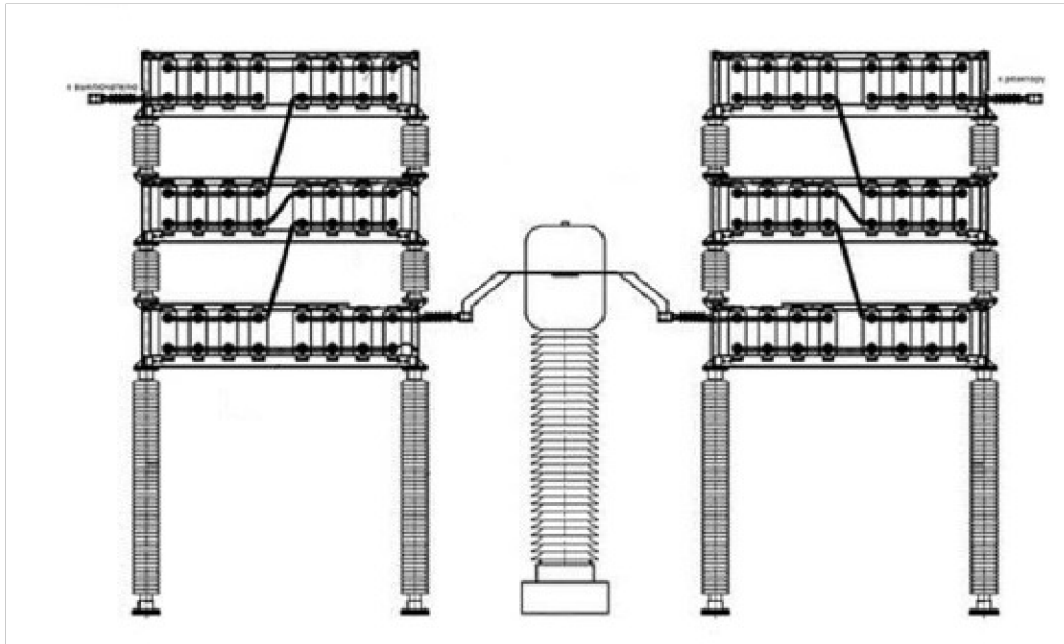


Рисунок 1.4 – Конструктивне виконання КБ-220-129600-УХЛ1

Власні потреби ПС живляться від трьох незалежних джерел: 1АТ, 2АТ та стороннє джерело живлення ПЛ 10 кВ від РП 10.

На ПС прийнято постійний оперативний струм. Для живлення пристроїв РЗА та приводів вимикачів встановлено дві акумуляторні батареї. Акумуляторні батареї малообслуговуються, закритого виконання, номінальною ємністю 500 А год, із 104 елементів, з терміном служби не менше 15 років. Для кожної АБ передбачений щит постійного струму та по два зарядно-підзарядні агрегати. Встановлення акумуляторних батарей в ОПУ передбачається на сейсмостійких стелажах.

Захисти автотрансформатора 1АТ (2АТ) поділяються на основні та резервні.

До основних захистів автотрансформатора відносяться:

- газований захист бака автотрансформатора;
- газований захист РПН;
- диференціальний струмовий захист автотрансформатора;
- контроль ізоляції вводів 220 кВ;

- ✚ диференціальний струмовий захист ошиновування 220 кВ;
- ✚ диференціальний струмовий захист ошиновування 110 кВ;
- ✚ диференціальний струмовий захист ошиновування 10 кВ;
- ✚ технологічні захисти автотрансформатора.

Основні захисту реагують на внутрішні пошкодження автотрансформатора, ошиновки 220 кВ, 110 кВ та 10кВ і діють на відключення АТ з усіх сторін без витримки часу і без пуску АПВ.

До резервних захистів автотрансформатора відносяться:

- ✚ дистанційний захист 220 кВ;
- ✚ дистанційний захист 110 кВ;
- ✚ захист від замикань на землю 220 кВ;
- ✚ захист від замикань на землю 110 кВ;
- ✚ максимальний струмовий захист сторони 10 кВ.

Резервні захисти призначені для резервування основних захистів автотрансформатора та захисту АТ від зовнішніх пошкоджень у мережі 220 кВ і діють на відключення АТ з усіх боків з витримкою часу та пуском АПВ.

Дуговий захист призначений для швидкої ліквідації коротких замикань, що можуть виникнути в будь-якому місці. Всі комірочки РУСН-10 оснащені дуговим захистом. Для цього в кабельній комірці, комірці з викочуванням та комірці збірних шин встановлено фототиристри, які реагують на спалахи електричної дуги при коротких замиканнях (КЗ). Ліквідація КЗ відбувається відключенням ділянки електричного контура, залежно від цього де виникло КЗ [8].

2 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

2.1 Загальні вимоги до релейного захисту

У загальному випадку до релейного захисту, який діє при пошкодженнях на відключення, ставляться наступні чотири основні технічні вимоги [9]:

 Селективність.

Селективністю, чи вибірковістю, називається дія захисту, яка забезпечує відмикання лише пошкодженого елемента системи за допомогою його вимикачів. Існує два види селективності:

❖ Абсолютна селективність. Захист із абсолютною селективністю реагує на короткі замикання лише в зоні її дії, і не спрацюватиме при зовнішніх коротких замиканнях. Ця особливість дає змогу здійснювати захист без витримки часу.

❖ Відносна селективність. Захист із відносною селективністю реагує як на короткі замикання у зоні елемента, який захищається, так і в зоні суміжних елементів мережі. Для узгодженої дії захисту суміжних елементів у захистах таких типів використовують витримки часу. Відтак, захист із відносною селективністю працює повільніше за захист із абсолютною селективністю, при цьому здатна резервувати захист суміжних елементів мережі та проводити відключення у разі їх відмови.

Таким чином, вимога селективності є основною умовою для забезпечення безперебійного живлення споживачів. Селективна дія автоматики за наявності резервного живлення споживачів дає змогу виключити перерви у їхньому електропостачанні. За відсутності резервування навіть при селективній дії захисту можлива втрата живлення, оскільки пошкодження на ПЛ мають переважно тимчасовий характер. У такому випадку найефективнішим буде застосування АПВ [10].

Вимога селективності не повинна унеможлилювати дії резервних захисту у випадках відмови основних захистів або вимикачів суміжних елементів.

Швидкість відключення.

Найчастіше до релейної захисту, який діє при пошкодженнях на відключення, ставиться вимога швидкодії.

Це визначається такими основними міркуваннями:

- ❖ прискорення відключення пошкоджень підвищує надійність паралельної роботи генераторів у системі та дає можливість збільшити пропускну здатність повітряних ліній електропередачі;
- ❖ прискорення відключення пошкоджень зменшує час роботи споживачів при зниженій напрузі;
- ❖ прискорення вимкнення пошкоджень зменшує розмір руйнувань пошкодженого елемента. Зменшується час, який затрачається на проведення відновлювального ремонту та зменшується витрати на нього.
- ❖ прискорення вимкнення пошкоджень підвищує ефективність АПВ пошкоджених ліній електропередач.

Дозволений час відключення КЗ за умов збереження стійкості залежить від кількох обставин. Основною є величина залишкової напруги на шинах електростанцій та вузлових підстанцій енергосистеми. Чим менша залишкова напруга, тим гірші умови стійкості а, отже, швидше потрібно відключити КЗ. Найбільш важкими за умовою стійкості є трифазні КЗ [11].

У нових енергосистемах задля збереження стійкості потрібен дуже малий час відключення КЗ. Так наприклад на електропередачах 330 кВ, 500 кВ необхідно відключити пошкодження за 0,10 – 0,20 с після виникнення пошкодження, а в мережах 110 – 220 кВ – за 0,15 – 0,3 с. У розподільчих мережах 750 кВ короткі замикання відокремлені від джерела великими опорами, тому їх можна відключити з часом 1,5 – 3 с, так як вони не впливають на стійкість системи. Точна оцінка допустимого часу відключення проводиться за допомогою спеціальних розрахунків стійкості, які здійснюються з цієї метою.

У якості наближеного критерію необхідності застосування швидкодіючих захистів, Правила улаштування електроустановок рекомендують визначити залишкову напругу на шинах електростанцій та вузлових підстанцій

при трифазному КЗ у точці КЗ, які нас цікавлять. Якщо залишкова напруга виходить меншою за 60 % номінального значення, то для збереження стійкості слід застосовувати швидке відключення uszkodжень, тобто застосовувати швидкодіючий захист.

Для прикладу, можуть бути такі мінімальні тривалості відключення КЗ:

- на електропередачах 400 – 500 кВ – 0,1 – 0,12 с;

- на лініях 110 – 330 кВ, які відходять від сучасних потужних теплових станцій, з потужними турбогенераторами, що мають форсоване охолодження обмоток – 0,15 – 0,2 с;

- у мережах 110 – 330 кВ з турбогенераторами старої конструкції – 0,2 – 0,3 с.

Однак у деяких випадках простий та економічний захист не може одночасно задовольняти вимоги селективності та швидкодії. Тоді необхідно з'ясувати і порівняти, чи не порушується при селективних, але повільних відключеннях uszkodжень робота споживачів неушкодженої частини системи більшою мірою, ніж при неселективних, але швидких відключень пошкоджень.

- Чутливість.

Задоволення вимог необхідної чутливості у сучасних електричних мережах часто зустрічає низку серйозних труднощів. Релейний захист має бути досить чутливим до пошкоджень і ненормальних режимів роботи, які можуть виникнути на елементах електричної системи, що захищаються.

Наприклад, під час передаванні великих потужностей у райони споживання, які віддалені на сотні кілометрів, використовуються мережі високої напруги з великою пропускну здатністю окремих ЛЕП. При цьому струм КЗ у пошкоджених лініях при врахуванні можливих мінімальних режимах роботи станцій та пошкоджень через великі перехідні опори (електрична дуга) можуть бути порівнянними, або навіть меншими за максимальні струми КЗ. Це призводить до відмови від застосування простих струмових захистів і змушує переходити на більш складні та дорогі типи захисних пристроїв. Тому з урахуванням досвіду експлуатації та рівня техніки до захисту ставляться

мінімальні вимоги щодо чутливості. Чутливість захисту має бути такою, щоб вона діяла при КЗ у кінці встановленої для неї зони у мінімальному режимі системи та при замиканнях через електричну дугу.

🚧 Надійність.

Захист повинен правильно та безвідмовно діяти на відключення вимикачів обладнання при всіх його пошкодженнях та порушеннях нормального режиму роботи, на дію при яких він призначений і не діяти у режимах, за яких його робота не передбачається. На рисунку 2.1 представлено приклад такого випадку.

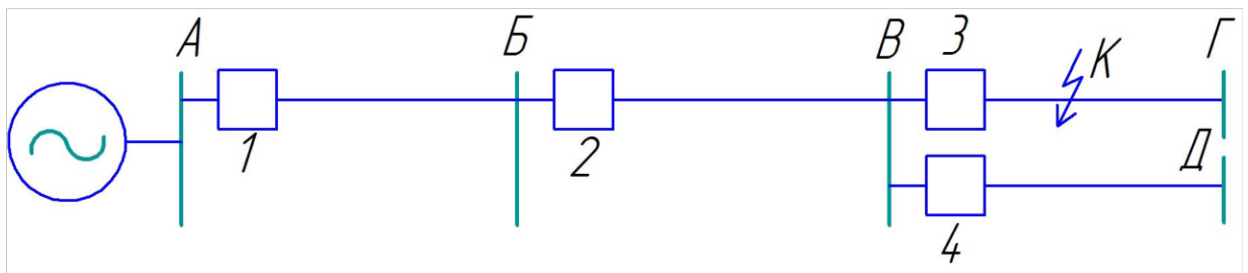


Рисунок 2.1 – Схема до пояснення вимог надійності

Наприклад, при КЗ у точці *K* та відмові захисту В3 спрацьовує захист В2, внаслідок чого замість погашення однієї підстанції Г ми знеструмимо три підстанції Г, Д, В, а при неправильній роботі у нормальному режимі захисту В1 втратять живлення споживачі чотирьох підстанцій Б, В, Г, Д. Таким чином, необхідно розуміти, що має спрацьовувати лише захист пошкодженої лінії. Захист непошкоджених ліній та інших елементів системи (генераторів, трансформаторів) можуть при цьому робити дію, але не спрацьовувати. Спрацьовування захисту неушкоджених елементів повинно бути лише у випадку, якщо вони призначені діяти як резервні при відмові захисту або вимикача пошкодженої лінії. Основними передумовами, які забезпечують як надійність спрацьовування, так і надійність неспрацьовування є висока якість використовуваних реле, що характеризується їх принципом дії, конструкцією та технологією виконання, висока якість допоміжних пристроїв та правильне ведення експлуатації. Однак є фактори, які протилежно впливають на дві розглянуті сторони надійності. Чим більша мінімальна кількість реле та ін-

ших елементів, яка повинна брати участь у спрацьовуванні захисту, тим менша надійність її спрацьовування.

Беручи до уваги вищевикладене, у даний час максимальне спрощення схем захисту слід вважати основною вимогою до релейного захисту. Вимога надійності є дуже важливою. Відмова у роботі чи неправильна дія захисту завжди призводить до додаткових відключень тощо [12].

2.2 Огляд мікропроцесорних пристроїв релейного захисту повітряних ліній 220 кВ

У якості основного захисту двоконтурної лінії електропередач 220 кВ ми вибираємо мікропроцесорний пристрій *Siprotec* виробництва фірми *Simens*. Це нове покоління цифрових пристроїв релейного захисту, яке характеризується найвищим рівнем модульності, гнучкості та інтелектуальності. Основна лінійка цих пристроїв включає апаратну та програмну частини з модульною архітектурою, а також потужний інженерний інструмент *DIGSI5*. Вона ідеально підходить для завдань захисту, керування, контролю та вимірювання в електроенергетичних системах. *Siprotec Simens* вже десятки років користується попитом на енергетичному ринку як ефективне і повне сімейство цифрових пристроїв релейного захисту та периферійних пристроїв виробництва компанії *Simens*. Загальний вигляд модуля *Siprotec Simens* представлено на рисунку 2.2.

Мікропроцесорний пристрій релейного захисту *Siprotec Simens* можна застосовувати абсолютно у будь-яких мережах середньої та високої напруги.

Siprotec призначений для захисту, керування та контролю повітряних та кабельних ліній електропередач у всіх типах мереж. Він підходить для захисту дуже завантажених ліній електропередач та багатокінцевих ліній, у яких необхідні одно-, двох-, та трифазні відмикання.



Рисунок 2.2 – Модуль *Siprotec Simens*

Диференціальний струмовий захист пристрою забезпечує оптимальну чутливість до пошкоджень через великий перехідний опір та надійний вибір пошкодженої фази. Пристрій може мати функції оперативного керування та оперативних блокувань, включаючи взаємодію із функцією контролю синхронізму, що дає змогу інтегрувати різні рівні керування [13].

Додаткова логіка, яка конфігурується користувачем за допомогою графічного інструментарію, забезпечує можливість специфічного застосування, наприклад, реалізації автоматичного вимкнення роз'єднувачів у схемах з кількома вимикачами, увімкнення кільцевих схем вимикачів, логіку АВР, тощо. Послідовна передача даних оптичними каналами зв'язку забезпечує стійкість до перешкод, а гнучкість застосування робить цей пристрій найкращим рішенням як для нових установок, так і модернізації існуючих.

2.3 Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги 220 кВ

Наведені вище вимоги до трансформаторів струму відповідають рекомендаціям ПУЕ. Для роботи релейного захисту застосовують обмотки трансформаторів струму класу 0,5 та 1,0, для яких нормується гранична кратність

струму КЗ. Підключення релейного захисту до обмоток для вимірювань не-припустиме.

Трансформатори струму повинні відповідати таким вимогам:

- ✚ забезпечувати спрацювання при КЗ на початку зони, яка захищається в умовах підвищеної похибки трансформатора струму;

- ✚ забезпечувати допустиму напругу на виводах вторинної обмотки трансформаторів струму при КЗ у зоні, яка захищається.

Вибір розрахункового струму:

- ✚ точна робота захисту забезпечується при похибці обмоток трансформаторів струму 1,0 менше 10 % у режимі КЗ з розрахунковим первинним струмом.

- ✚ значення розрахункового первинного струму вибирається по-різному для різних типів релейного захисту:

- ❖ для струмових захистів із незалежною характеристикою витримки часу, зокрема без витримки часу, $I_{РОЗР} = 1,4 I_{СЗ}$. У цих захистах достатньо забезпечити надійну та точну роботу при струмі спрацювання захисту. При ближчих КЗ із вищими значеннями первинних струмів вимірний струм завжди буде більшим за уставку спрацювання, незважаючи на велику похибку;

- ❖ для дистанційного захисту лінії з одностороннім живленням $I_{РОЗР}$ приймається рівним найбільшому значенню струму КЗ в кінці першої зони захисту.

По при те, що до завдань кваліфікаційної роботи не входить вибір вимірювальних трансформаторів, ми маємо це зробити, оскільки без відповідного сучасного обладнання мікропроцесорний пристрій працювати не буде.

Ми вибираємо трансформатор струму ТФНД-220. Загальний вигляд трансформатора струму представлено на рисунку 2.3 [14].



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд трансформатора струму

Трансформатори струму ТФНД призначені передачі сигналу виміральної інформації приладам вимірювання, захисту, автоматики, сигналізації та керування електричними контурами змінного струму частотою 50 Гц.

Принцип дії трансформаторів струму засновано на законі електромагнітної індукції. Струм первинної обмотки трансформатора створює змінний магнітний потік у магнітопроводі, внаслідок чого у вторинній обмотці створюється струм, пропорційний первинному струму.

Трансформатор струму виконаний на опорній конструкції. Виводи первинної обмотки розташовані на верхній частині трансформаторів. У якості первинної обмотки використовується шина або кабель. Виводи вторинної обмотки розташовані на корпусі трансформатора та закриваються захисною кришкою з метою обмеження доступу до вимірювального контура.

До трансформаторів струму ставляться високі вимоги щодо точності. Зазвичай, трансформатор струму виконують із двома та більше групами вторинних обмоток: одна використовується для підключення пристроїв захисту, інша, точніша – для підключення засобів обліку та вимірювання (наприклад, електричних лічильників).

Важливим параметром трансформаторів струму є коефіцієнт трансформації та клас точності.

Коефіцієнт трансформації трансформатора струму визначає номінал вимірювання струму та показує при якому первинному струмі у вторинному контурі протікатиме певний стандартний струм (найчастіше це 5 А, рідко 1 А). Первинні струми трансформаторів струму визначаються з низки стандартизованих номінальних струмів.

Коефіцієнт трансформації трансформатора струму зазвичай записується у вигляді відношення номінального первинного струму до номінального вторинного як дробу, наприклад: 75/5 (при протіканні в первинній обмотці струму 75 А – 5А у вторинній обмотці, замкнутій на вимірювальні елементи). Позначення трансформатора струму типу ТФНД розшифровується так: «Т» – трансформатор струму; «Ф» – у фарфоровому покритті; «Н» – для зовнішнього встановлення; «Д» – з обмоткою для диференціального захисту.

Щодо вимірювальних трансформаторів напруги, то до них ставляться такі вимоги [15]:

- ✚ вимірювання опору ізоляції обмотки ВН трансформаторів напруги здійснюється мегомметром при напрузі 2500 В;

- ✚ вимірювання опору ізоляції вторинних обмоток, а також з'єднувальних обмоток каскадних трансформаторів напруги здійснюється мегомметром при напрузі 1000 В;

- ✚ виміряні значення опору ізоляції повинні бути не менше 300 МОм для основної ізоляції та 50 МОм для вторинної обмотки;

- ✚ випробування ізоляції обмотки ВН підвищеною напругою частоти 50 Гц здійснюється для трансформаторів напруги з ізоляцією всіх виводів обмотки ВН цих трансформаторів на номінальну напругу;

- ✚ тривалість випробування трансформаторів напруги – 1 хв;

- ✚ значення випробувальної напруги для ізоляції вторинних обмоток разом із приєднаними до них контурами приймається рівним 1 кВ.

- ✚ тривалість застосування випробувальної напруги – 1 хв;

- ✚ при введенні в експлуатацію трансформаторів напруги олива має бути випробувана відповідно до сучасних вимог;

чим менше навантажена вторинна обмотка трансформатора напруги (чим більший опір у контурі вторинної обмотки), тим фактичний коефіцієнт трансформації K_T є ближчим до номінального значення. Це особливо важливо при підключенні до вторинного контура вимірювальних приладів, оскільки коефіцієнт трансформації впливає на точність вимірів. Залежно від навантаження той самий трансформатор напруги може працювати у різних класах точності: 0,5; 1; 3.

У кваліфікаційній роботі, для реалізації релейного захисту повітряної лінії електропередачі, будемо використовувати трансформатор напруги НКФ-220. Загальний вигляд трансформатора напруги НКФ-220 представлено на рисунку 2.4



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд трансформатора напруги НКФ-220

Трансформатор напруги НКФ-220 призначений для підключення електричних вимірювальних приладів та захисних пристроїв у високовольтних електричних мережах змінного струму частотою 50 Гц із заземленою нейтраллю.

Трансформатори напруги виконані у вигляді двох блоків: верхнього та нижнього, встановлених один на одного, які електрично пов'язані. Кожен

блок складається з активної частини, поміщеної в ізоляційну покришку, залиту трансформаторною оливою та встановлену на основу. Активна частина складається з магнітопроводу із насадженими на його стрижні обмотками. Обмотки трансформатора поділяються на обмотку ВН (первинну), обмотки НН (вторинні: основну та додаткову), а також вирівнювальні та з'єднувальні. Вирівнювальні обмотки слугують для зниження магнітного розсіювання. З'єднувальні обмотки здійснюють електромагнітний зв'язок між магнітопроводами верхнього та нижнього блоків трансформатора [16].

Лінійний ввід A первинної обмотки знаходиться у верхній частині трансформатора, а заземлювальний вивід X , та виводи вторинних обмоток a , x , a_D , x_D розташовані на основі трансформатора. Трансформатори призначені для роботи у трифазній групі.

Коефіцієнт трансформації трансформатора напруги визначає номінал вимірювання напруги та показує при якій первинній напрузі у вторинному контурі буде певне стандартне значення напруги 100 В. Первинне значення трансформаторів напруги визначається із низки стандартних класів напруги. Відтак, при класі первинної напруги 220 кВ – вторинне (перетворене) буде становити 100 В.

Позначення трансформатора напруги НКФ-220 розшифровуються так: «Н» – трансформатор напруги; «К» – електромагнітний каскадний; «Ф» – порцелянове покриття; 220 – значення найбільшої робочої напруги первинної обмотки.

3 КОМПЛЕКС РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ

3.1 Вибір захистів повітряної лінії

Для ліній у мережах 220 кВ із ефективно заземленою нейтраллю повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від багатофазних замикань. За необхідності здійснення швидкодіючого АПВ на лінії має бути встановлений швидкодіючий захист, який забезпечує відключення пошкодженої лінії без витримки часу з обох сторін. При відключенні з витримкою часу пошкоджень, зі струмами, які у кілька разів перевершують номінальний, можливе неприпустимий перегрів провідників [17].

У якості основного захисту буде застосовано дистанційний захист.




У якості додаткового захисту використовуватиметься струмова відсічення без витримки часу та струмовий захист нульової послідовності.

Пристрої АПВ повинні передбачатися для швидкого відновлення живлення споживачів або міжсистемних та внутрішньосистемних зв'язків шляхом автоматичного включення вимикачів, відключених пристроями релейного захисту.

3.2 Розрахунок струмів коротких замикань

Під час обчислення струмів короткого замикання порівняємо дані отримані під час проходженні практики та дані з обчислень за допомогою програмного забезпечення *CADeSIMU*.

CADeSIMU – це інструмент для ефективного обслуговування, керування та розрахунків релейного захисту. Програма дає змогу:

-  створювати моделі енергосистем;
-  розраховувати діючі значення струмів та напруг;
-  аналізувати та вибирати захисти.

Загальна схема фрагмента досліджуваної електроенергетичної системи представлена на рисунку 3.1.

Рисунок видалено керівником кваліфікаційної роботи з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.1 – Схема фрагмента досліджуваної електроенергетичної системи

У якості вихідних даних, використано параметри кабельних та повітряних ліній 220 кВ, тип (характер) навантаження, які були отримані під час проходження практики. На рисунку 3.2 представлено фрагмент схеми, який було закладено у програмний комплекс *CADeSIMU* та здійснено необхідні моделювання.

Рисунок видалено керівником кваліфікаційної роботи з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.2 – Аналізований фрагмент електричної мережі

Визначаємо значення струму трифазного короткого замикання за допомогою *CADeSIMU* . Результати обчислення струму КЗ представлено на рисунку 3.3.

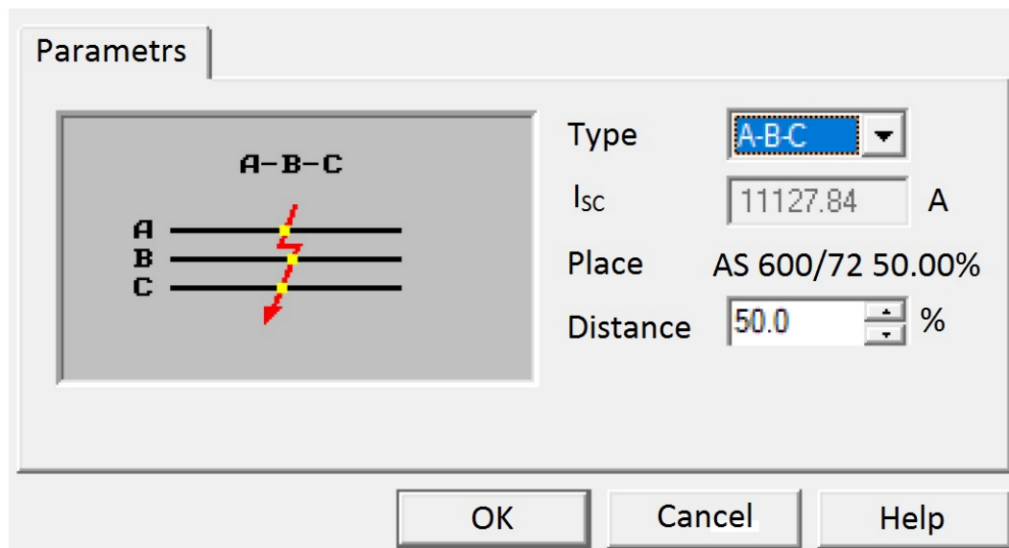


Рисунок 3.3 – Струм трифазного короткого замикання

Аналогічно визначаємо значення струму однофазного короткого замикання за допомогою *CADeSIMU* . Результати обчислень представлено на рисунку 3.4.

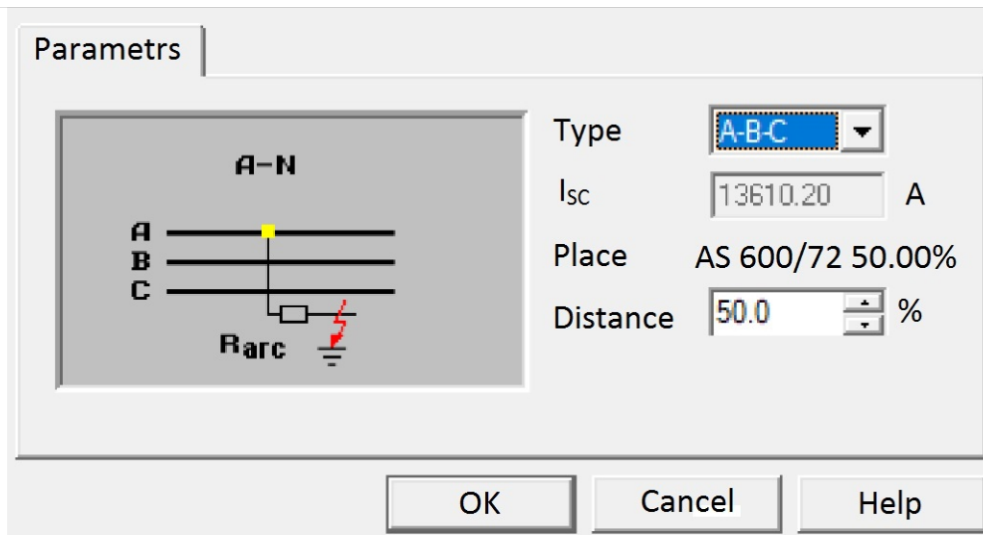


Рисунок 3.4 – Визначення струму ОКЗ

Оскільки лінії I та IV контуру паралельні, то параметри короткого замикання будуть однакові. Порівняємо отримані дані, з даними, які отримано під час проходження передкваліфікаційної практики.

Розрахункові струми КЗ на шинах 220 кВ ПС «Воловець» становлять:

✚ максимальний режим роботи мережі при живленні Д-85, Д-88 від ПС 220 кВ «Стрий»:

- ❖ струм трифазного короткого замикання: $I^{(3)} = 11088 \text{ A}$;
- ❖ струм однофазного короткого замикання: $3 I_0^{(1)} = 13545 \text{ A}$.

✚ мінімальний режим роботи мережі при живленні Д-85, Д-88 від ПС 220 кВ «Стрий»:

- ❖ струм трифазного короткого замикання: $I^{(3)} = 9300 \text{ A}$;
- ❖ струм однофазного короткого замикання: $3 I_0^{(1)} = 11368 \text{ A}$.

Обчислення струмів КЗ будемо здійснювати за таких припущень:

- ❖ трифазна система вважається симетричною;
- ❖ не враховуються перехідні опори у місці КЗ, тобто, коротке замикання вважається металевим;
- ❖ протягом усього процесу КЗ еквівалентні ЕРС системи збігаються за фазою;

- ❖ насичення магнітних систем не враховується, що дає змогу не враховувати постійні індуктивні опори усіх елементів короткозамкнутого контура, що не залежать від струму;
- ❖ намагнічуючими струмами силових трансформаторів нехтуємо;
- ❖ ємність всіх елементів короткозамкнутого контура, включаючи повітряні та кабельні лінії, не враховуються;
- ❖ значення надперехідних індуктивних опорів по поздовжній та поперечній осях синхронної машини не відрізняються [18].

Обчислені струми короткого замикання для I контуру представлені в таблиці 3.1, а струми короткого замикання для IV контуру у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Струми КЗ лінії ПС «Стрий» – ПС «Воловець»

| Точка КЗ | Режим КЗ | Призначення лінії | Параметри схеми заміщення | | | Струми КЗ, кА | | | Ударний струм |
|----------|----------|----------------------|---------------------------|-------|-------|---------------|-------|----------|---------------|
| | | | R | X | Z | I'' | I_0 | I_{CO} | i_y |
| К1 | max | Система | 2,2 | 9,55 | 9,79 | 11,08 | 11,08 | 11,08 | 28,2 |
| | min | Система | 2,61 | 11,46 | 11,75 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 23,7 |
| | max | Результативний струм | | | | 11,08 | 11,08 | 11,08 | 28,2 |
| | min | Результативний струм | | | | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 23,7 |

Аналізуючи таблицю, бачимо що усі розрахунки збігаються з обчисленнями проведеними у *CADeSIMU*.

3.3 Обчислення параметрів спрацювання струмових відсічок

Для організації релейного захисту лінії нам потрібно розрахувати такі захисти [19]:

- ⚡ дистанційний захист;
- ⚡ струмовий захист нульової послідовності;
- ⚡ струмова відсічка (без витримки часу);
- ⚡ АПВ.

У таблиці 3.2 представлено параметри лінії.

Таблиця 3.2 – Параметри лінії електропередачі

| Параметр | Значення |
|---|-----------------------|
| Марка проводу | АС-600/72 |
| Довжина лінії l , км | 82 |
| Допустима тривала потужність P_{\max} , МВА | 400 |
| Активний опір, Ом | 2,18 |
| Реактивний опір, Ом | 9,55 |
| Повний опір, Ом | 9,79 |
| Допустимий тривалий струм I_{\max} , А | 1050 |
| Погонна ємнісна провідність b_0 , См/км | $2,701 \cdot 10^{-6}$ |
| Номинальний струм $I_{НОМ}$, А | 350 |

Розрахунок уставок захисту будемо здійснювати у програмному комплексі *CADeSIMU*. Розглянемо дистанційний захист лінії 220 кВ ПС «Воловець» – ПС «Стрий».

I ступінь за уставкою спрацьовування охоплює 80 % довжини лінії, яка захищається (це основний ступінь, який працює при КЗ на лінію). Вибрана уставка представлена на рисунку 3.5.

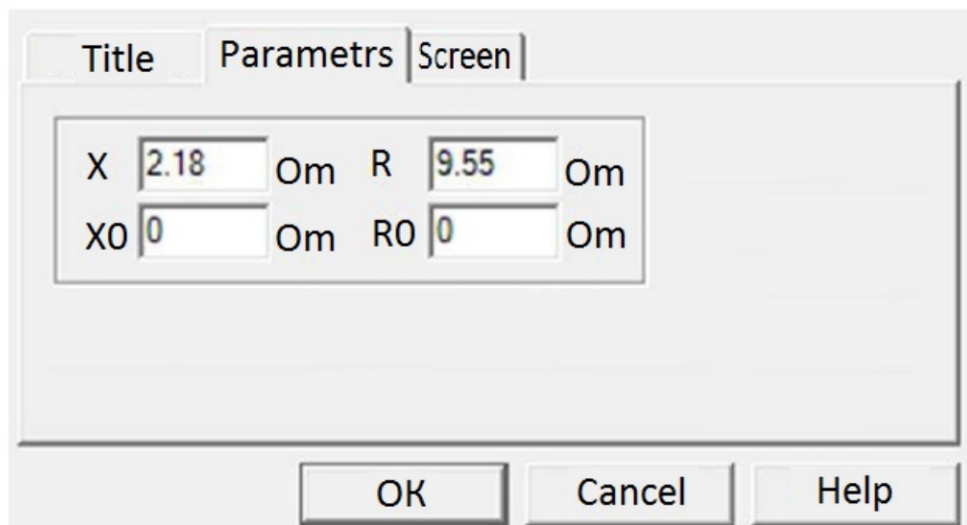


Рисунок 3.5 – Вибір I ступеня дистанційного захисту

Вибираємо уставку 10 Ом, при $t = 0$ с.

Уставка спрацьовування II ступеня захищає всю лінію та шини своєї та протилежної підстанції. Є резервною по відношенню до першого ступеня і має витримку часу. Розрахунок та обрана уставка представлена на рисунку 3.6.

| Parameter | Value | Unit |
|-----------|-------|------|
| X | 2.18 | Ohm |
| R | 9.55 | Ohm |
| Z1 | 10 | Ohm |
| t | | s |

Рисунок 3.6 – Вибір II ступеня дистанційного захисту

Рекомендована уставка 30,4 Ом, при $t = 1,2$ с.

Розглянемо струмовий захист нульової послідовності лінії 220 кВ ПС «Воловець» – ПС «Стрий». Для захисту електричних мереж із ефективно заземленою нейтраллю від замикань на землю застосовують максимальні струмові захисту нульової послідовності. Ці захисту виконуються багатоступеневими. Оскільки лінія має довжину 80 км, розрахуємо 2 ступені. У разі недостатньої чутливості можемо ввести додатковий ступінь захисту [20].

Перший ступінь, який діє без витримки часу, охоплює 40 – 60 % довжини лінії, а інші щаблі вже мають витримки часу.

| Degree | Kots | Current | Time | On/Off |
|-----------------|------|---------|------|--------------------------|
| 1I ₀ | 1.3 | 1365 A | 0 s | <input type="checkbox"/> |
| 2I ₀ | | | | <input type="checkbox"/> |

Рисунок 3.7 – Уставка I ступеня струмового захисту нульової послідовності

Розраховуємо уставку для першого ступеня, при цьому для отримання максимального значення струму I_0 відключають трансформатори на шинах

приймальної підстанції. Проведений розрахунок у програмному комплексі *CADeSIMU* за уставкою першого ступеня представлено на рисунку 3.7, а для уставки спрацьовування II ступеня струмового захисту нульової послідовності при короткому замиканні на шинах підстанції – на рисунку 3.8.

| Degree | Kots | Current | Time | On/Off |
|-----------------|------|----------|-------|--------------------------|
| 1I ₀ | 1.3 | 1365 A | 0 s | <input type="checkbox"/> |
| 2I ₀ | 1.3 | 1774.5 A | 1.3 s | <input type="checkbox"/> |

OK Cancel Help

Рисунок 3.8 – Уставка II ступеня струмового захисту нульової послідовності

Також, у програмному комплексі *CADeSIMU*, було здійснено перевірку правильності вибору уставок захисту від струмів нульової послідовності. Результати перевірки чутливості захисту представлено на рис. 3.9.

| I _{k min0} | Current | Time |
|---------------------|----------|-------|
| 9300 A | 1774.5 A | 1.3 s |

OK Cancel Help

Рисунок 3.9 – Перевірка чутливості захисту від струмів нульової послідовності

| Degree | Current | Time | I _{w.p} | On/Off |
|--------|---------|------|------------------|-------------------------------------|
| 1I | 350 A | 0 s | 510 A | <input checked="" type="checkbox"/> |

OK Cancel Help

Рисунок 3.10 – Результати обчислення струмового захисту

Бачимо, що захисті від струмів нульової послідовності володіє необхідною чутливістю та буде працювати справно.

Наступним кроком потрібно здійснити обчислення та підбір параметрів спрацювання струмової відсічки. На рисунку 3.10 представлено діалогове вікно з обчисленими уставками спрацювання струмової відсічки.

3.4 Обчислення параметрів АПВ

Основним призначення АПВ є відновлення живлення для об'єктів електроенергетичної системи. Обов'язкова умова існування АПВ – відсутність заборони здійснення повторного ввімкнення.

Однією із причин, яка викликала зупинку роботи об'єкта може бути несправність на повітряній лінії. До основних типів несправності відносяться короткі замикання, схлести проводів, які відбулися під час сильного вітру, зледеніння проводів, перекриття повітряної ізоляції, тощо, або якщо на об'єкт миттєво подається живлення. Він залишається під напругою, продовжуючи працювати, а споживач продовжує отримувати електроенергію безперервно [19].

Робота АПВ відбувається із затримкою часу. На лінії 220 кВ час спрацювання АПВ становить 0,15 с. Час дії пристрою залежить також від перерізу та матеріалу проводів, чим менший переріз проводів, тим менший повітряний проміжок між проводами, тим успішніше спрацювання АПВ. Затримка часу необхідна для повернення діелектричної міцності ізоляції повітряного проміжку у середовищі горіння дуги.

3.5 Розрахунок параметрів захисту від мінімальної та максимальної напруги

Захист від мінімальної напруги використовується разом з іншими системами, які контролюють стан електричної мережі. Основним завданням та-

кого захисту є забезпечення роботи відповідального обладнання при короткочасних пониженнях напруги [18].

У нашому випадку, під час спрацювання захисту мінімальної напруги на панель оператора буде виведено попередження. Дані розрахунків представлено на рисунку 3.11.

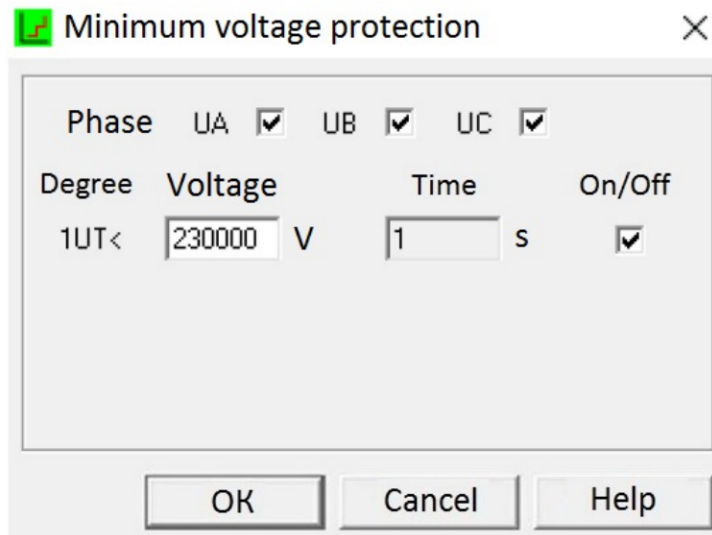


Рисунок 3.11 – Розрахунок спрацювання захисту мінімальної напруги

Перенапруги в електричних мережах становлять серйозну загрозу для будь-якого електроустаткування. Проблема полягає в тому, що дивлячись на природу виникнення цього ефекту, повністю виключити його прояв неможливо. У зв'язку з цим було розроблено кілька рішень для захисту електрообладнання, що дають змогу мінімізувати негативні наслідки підвищення напруги.

Під цим терміном мається на увазі підвищення напруги в електричній мережі або на лінії електропередачі понад встановлену норму. Вона обмежена на 5 % допустимого та 10 % гранично-допустимого відхилення.

Перенапруги небезпечні тим, що можуть не лише вивести з ладу прилади, які підключені до мережі, а й зруйнувати ізоляцію електрообладнання. В останньому випадку створюється загроза для людського життя та виникнення серйозних аварійних ситуацій.

Залежно від факторів, які спричинили підвищення рівня напруги, відхилення прийнято розділяти на такі види перенапруг:

✚ зовнішні перенапруги, які відбулися внаслідок стороннього впливу на енергосистему. Тут можуть виступати природні та техногенні фактори. Як приклад природного впливу можна навести таке атмосферне явище, як розряд блискавки чи магнітні бурі.

✚ перенапруги, спричинені внутрішніми процесами в енергосистемі. До таких відносяться аварії, комутації, різкі скидання навантаження, тощо.

Грозові перенапруги викликаються грозовими розрядами, які припали на ЛЕП. у результаті спостерігаються різкі кидки напруги у лінії, при цьому норма може бути перевищена на порядок і більше. Час тривалості грозових імпульсів рідко наближається до 10 мс.

Незважаючи на такий короткий час, величина електричного розряду настільки висока, що підключене до мережі електроустаткування виходить з ладу незалежно від рівня ізоляції.

Для запобігання перенапругам зі сторони енергосистеми буде використано захист максимальної напруги. Отримані дані розрахунків представлено на рисунку 3.12.

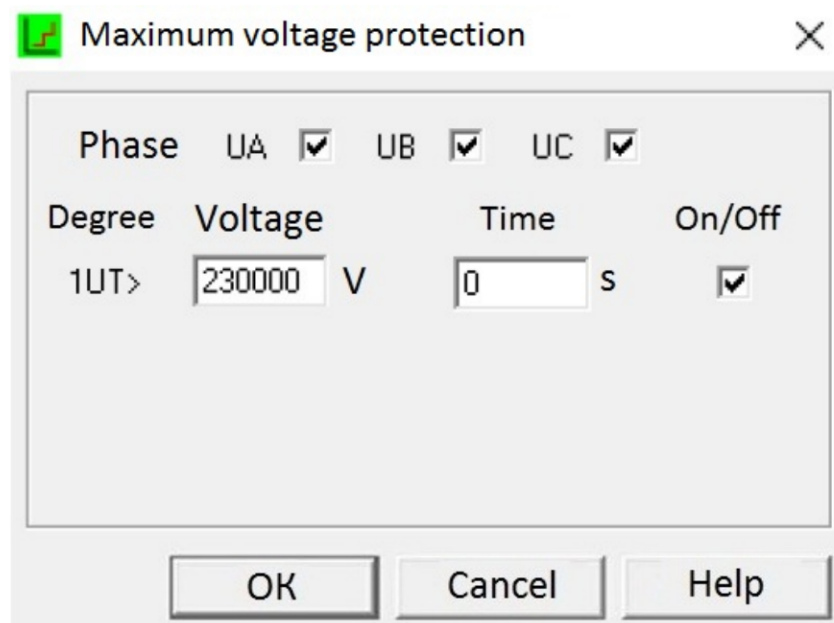


Рисунок 3.12 – Напруга спрацювання захисту максимальної напруги
Рекомендована уставка 252 кВ при $t = 0,5$ с.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Структурно-функціональний аналіз виникнення небезпечних ситуацій

Розробка та вживання ефективних заходів запобігання аварійним і травмонебезпечним ситуаціям можливі лише при завчасному виявленні тих небезпек, з яких починаються процеси їх формування. Оскільки небезпечні умови не завжди завчасно можна виявити, а для вивчення небезпечних дій іноді потрібно багато часу, щоб зібрати статистичний матеріал, то і методи виявлення цих небезпек повинні бути відповідно диференційовані [21].

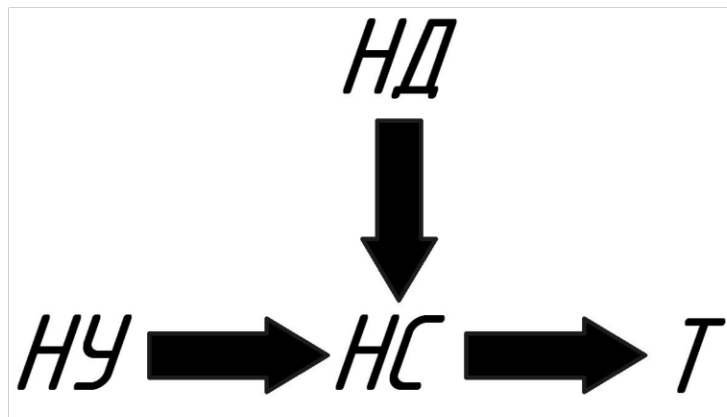


Рисунок 4.1 – Аналіз процесу формування небезпечної ситуації при проведенні ремонту устаткування підстанції: НУ – небезпечна умова (не викнено живлення); НД – небезпечна дія (нехтування правилами ТБ); НС – небезпечна ситуація (ураження струмом); Т – травма.

На рисунку 4.1 представлено схему аналізу процесу формування небезпечної ситуації при проведенні ремонту устаткування підстанції. Бачимо, що при виникненні усіх описаних чинників виникне травма. У даному випадку основним заходом запобігання небезпечної ситуації є проведення додаткових інструктажів із техніки безпеки.

На рисунку 4.2 представлено схему аналізу процесу формування небезпечної ситуації при виконанні робіт на свердлильному верстаті. Бачимо, що при виникненні усіх описаних чинників виникне травма. У даному випадку основними заходами запобігання небезпечної ситуації є організація по-

стійного контролю за станом свердлильного верстату та розробка пристрою, який блокує кнопку «пуск» при небезпечному розмірі зазору.

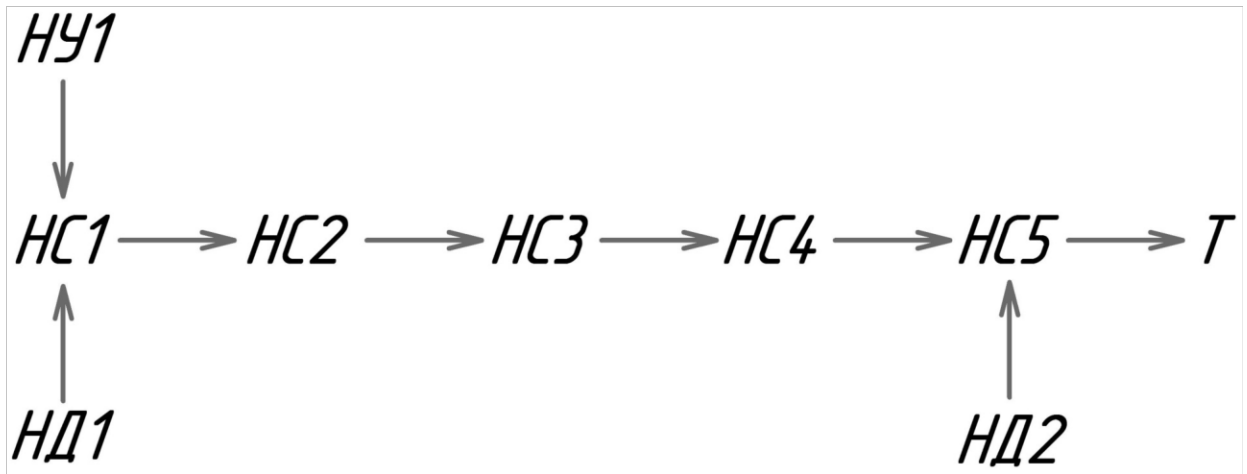


Рисунок 4.2 – Аналіз процесу формування небезпечної ситуації при виконанні робіт на свердлильному верстаті: НУ1 – небезпечна умова (зазор між підручником та свердлом перевищує допустимий); НД1 – небезпечна дія (при свердлінні робітник неправильно тримає деталь); НД2 – небезпечна дія (робітник знаходиться у небезпечній зоні); НС1 – небезпечна ситуація (захоплення деталі свердлом); НС2 – затягування; НС3 – заклинення; НС4 – заклинення; НС5 – викидання осколків; Т – травма.

4.2 Електробезпека при обслуговуванні пристроїв релейного захисту

При виконанні робіт з технічного обслуговування пристроїв РЗА слід звернути особливу увагу на такі вказівки [22]:

а) тимчасові схеми, які збираються для налагодження обладнання (зняття характеристик, осцилографування тощо), повинні виконуватися на спеціальних столах. Забороняється застосовувати столи з металевією робочою поверхнею або з металевим обрамленням. Ізоляція з'єднувальних провідників не повинна бути пошкодженою;

б) тимчасові лінії живлення мають бути виконані ізольованим проводом (кабелем), надійно закріплені, а у місцях проходження людей повинні бути підняті на висоту не менше 2,5 м;

в) живлення тимчасових схем для перевірок та випробувань має виконуватись через автоматичний вимикач із позначенням включеного та відключеного.

ченого положень. Послідовно з вимикачем у контур живлення встановлюється комутаційний пристрій з видимим розривом контура (штепсельний роз'єм). При знятті напруги зі схеми першим вимикається вимикач, потім штепсельний роз'єм;

г) складання тимчасових схем для електричних випробувань, перемикання проводів у схемі, перестановку приладів та апаратів у ній забороняється здійснювати без зняття напруги і створення видимого розриву мережі живлення;

д) при перервах і закінченні робіт з технічного обслуговування, персонал, який виконував роботи, повинен відключити лінію тимчасового живлення зі створенням видимого розриву;

е) металеві корпуси переносних приладів, апаратів повинні бути заземлені та занулені;

ж) при використанні в роботі комплектних випробувальних пристроїв повинні бути передбачені заходи, що запобігають доступу до виводів, які знаходяться під напругою. При підключенні випробувального пристрою до контурів, які можуть бути заземлені (контури струму, напруги), необхідно переконатися у відсутності гальванічного зв'язку між вхідними та вихідними затискачами пристрою. За наявності такого зв'язку слід тимчасово відключити заземлення. У всіх випадках необхідно ретельно ознайомитися з правилами безпеки під час користування випробувальним пристроєм;

з) робоче місце має бути зручним та достатньо освітленим відповідно до вимог (13, п. 1.4.12) та СНіП 23-05-95. «Природне та штучне освітлення».

і) при виконанні робіт слід суворо стежити, щоб ліва і права руки не торкалися одночасно елементів або точок схеми, що знаходяться під напругою 36 В і більше, і заземлених предметів і апаратів (заземлених корпусів панелей, приладів, стендів, батарей центрального опалення та ін.);

к) за наявності у схемах пристроїв РЗА конденсаторів, у випадку необхідності роботи в цих контурах, конденсатори повинні бути розряджені;

л) вимірювання слід проводити сухими руками в одязі з опущеними рукавами, кільця та металеві браслети повинні бути зняті;

м) роботи в контурах та пристроях РЗА мають проводитися за виконавчими схемами. Робота без схем, з пам'яті, забороняється.

З метою забезпечення безпеки робіт у діючих електроустановках вживають такі організаційні заходи: призначають осіб, відповідальних за організацію та проведення робіт; оформляють наряд чи розпорядження; організують допуск до проведення робіт та нагляд за їх проведенням; здійснюють перерви у роботі та встановлюють час закінчення робіт [23].

Право видачі нарядів на проведення робіт у діючих електроустановках надається електротехнічному персоналу, що має кваліфікаційну групу не нижче IV (електроустановки до 1000 В), на основі розпорядження головного механіка.

Без наряду, за розпорядження, переданим безпосередньо або по телефону, можуть виконуватися роботи без зняття напруги далеко від струмовідних частин, які знаходяться під напругою, короткочасні та невеликі за обсягом роботи зі зняттям та без зняття напруги з електроустановки, що виконуються оперативним персоналом чи під його наглядом. Розпорядження фіксуються у оперативному журналі.

4.3 Вплив електромагнітних полів на довкілля

Електрична енергія – найвагоміше відкриття людства, без якого цивілізації в її сьогоденнішому вигляді не існувало б. Цей вид енергії широко використовується людством, але у палки є два кінця. Електромагнітне поле (електромагнітне випромінювання) завжди виникає при русі вільних електронів в провіднику, тому передача електричної енергії супроводжується інтенсивним електромагнітним випромінюванням.

В певних випадках електромагнітне випромінювання має більш пагубний вплив на живий організм, ніж радіаційне випромінювання. Справа у тому, що радіаційний фон був на нашій планеті завжди і в певні часи (а місцями і зараз) його рівень був вище ніж в Чорнобильській зоні відчуження. Рівень же електромагнітного поля землі з кожним роком тільки зростає, що пов'язано з

людською діяльністю. На території СНД загальна протяжність тільки ЛЕП-500 кВ перевищує 20000 км (окрім ЛЕП-150, ЛЕП-300, ЛЕП-750). Лінії електропередач і деякі інші енергетичні установки створюють електромагнітні поля промислових частот (50 Гц) в сотні раз вище середнього рівня природних полів. Напруженість поля під ЛЕП може сягати десятків тисяч В/м. Найбільша напруженість поля спостерігається в місцях максимального провисання дротів, в точці проекції крайніх дротів на землю і в п'яти метрах від її зовні від повздожньої вісі траси: наприклад, для ЛЕП-330 кВ – від 3,5 до 5 кВ/м, для ЛЕП - 500 кВ – від 7,6 до 8 кВ/м, для ЛЕП-750 кВ – від 10 до 15 кВ/м.

Негативний вплив електромагнітних полів на людину і на ті або інші компоненти екосистем прямо пропорційний потужності поля і часу опромінення. Несприятливий вплив електромагнітного поля, що створюється ЛЕП, виявляється вже при напруженості поля, що дорівнює 1 кВ/м. У людини порушується робота ендокринної системи, обмінні процеси, функції головного та спинного мозку і ін. [24].

Нині, за даними екологів та лікарів-гігієністів відомо, що всі діапазони електромагнітного випромінювання впливають на здоров'я і працеспроможність людей і мають віддалені наслідки. Вплив електромагнітних полів на людину в силу їх значної розповсюженості більш небезпечний, ніж радіація. Електричні поля промислової частоти оточують людину цілодобово, завдяки випромінюванню від електропроводки, освітлювальних приладів, побутових електроприладів, ліній електропередач тощо. Енергетичне навантаження від електромагнітних випромінювань в промисловості і побуті зростає постійно у зв'язку зі стрімким розширенням мережі джерел фізичних полів електромагнітної природи, а також зі збільшенням їх потужностей. Людина нездатна фізично відчувати електромагнітне поле, що її оточує, проте воно викликає зменшення її адаптивних резервів, зниження імунітету, працеспроможності, під його впливом у людини розвивається синдром хронічної втоми, збільшується ризик захворювань. Особливо небезпечною є дія електромагнітних випромінювань на дітей, підлітків, вагітних жінок та осіб з послабленим здоров'ям.



5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСУ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

5.1 Аналіз технічних рішень

Залежно від фінансових та технічних можливостей, існує декілька варіантів модернізації релейного захисту на підстанціях. Щоб оцінити економічну ефективність модернізації потрібно проаналізувати технічні рішення з точки зору ефективності використання ресурсів. Зокрема, потрібно оцінити різні типи релейного захисту, такі як мікропроцесорні (які рекомендовані для вибору), аналогові та електромеханічні. Це дасть змогу переконатися, що мікропроцесорні пристрої є кращим вибором порівняно зі старішими типами релейного захисту. Для проведення детального аналізу, який необхідно здійснювати систематично через постійний розвиток ринку обладнання, використовуватиметься оцінювальна карта (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Порівняльна оцінка технічних рішень

| Критерії оцінювання | Значення | Оцінка | | | Конкурентність | | |
|--|----------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| | | $B_{\text{мпр}}$ | $B_{\text{ан}}$ | $B_{\text{ел/м}}$ | $K_{\text{мпр}}$ | $K_{\text{ан}}$ | $K_{\text{ел/м}}$ |
| Технічні критерії оцінки ресурсоефективності | | | | | | | |
| 1 Зручність впровадження | 0,07 | 5 | 4 | 1 | 0,4 | 0,24 | 0,07 |
| 2 Надійність | 0,3 | 5 | 3 | 2 | 1 | 0,7 | 0,5 |
| 3 Зручність в експлуатації | 0,02 | 4 | 3 | 3 | 0,05 | 0,04 | 0,04 |
| 4 Можливість | 0,05 | 1 | 2 | 5 | 0,05 | 0,09 | 0,3 |
| 5 Безпека | 0,2 | 5 | 3 | 2 | 0,6 | 0,4 | 0,3 |
| 6 Якість інтерфейсу | 0,03 | 5 | 2 | 2 | 0,2 | 0,05 | 0,05 |
| 7 Необхідність ресурсів пам'яті | 0,02 | 5 | 2 | 1 | 0,06 | 0,03 | 0,02 |
| 8 Функціональна потужність | 0,03 | 5 | 4 | 1 | 0,2 | 0,09 | 0,03 |
| 9 Простота експлуатації | 0,2 | 2 | 3 | 4 | 0,3 | 0,7 | 0,5 |
| 10 Можливість приєднання до ЕОМ | 0,2 | 5 | 2 | 1 | 0,6 | 0,3 | 0,2 |
| Економічні критерії ефективності | | | | | | | |
| 1 Конкурентноспроможність | 0,05 | 5 | 3 | 1 | 0,3 | 0,13 | 0,05 |
| 2 Рівень проникнення на ринок | 0,05 | 5 | 3 | 2 | 0,3 | 0,13 | 0,09 |
| 3 Ціна | 0,2 | 3 | 3 | 4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| 4 Прогнозований термін експлуатації | 0,08 | 5 | 4 | 3 | 0,36 | 0,29 | 0,22 |
| Всього | 1 | 60 | 41 | 32 | 3,9 | 2,7 | 2,2 |

Порівнювання конкурентних рішень обчислюється за виразом:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

де K – конкурентність; B_i – значення показника; B_i – бал i -го показника.

В результаті проведеного аналізу було встановлено, що мікропроцесорне реле отримало найвищу оцінку ($K = 3,9$). Це можна пояснити тим, що це реле виготовлене за сучасними технологіями, які дозволяють використовувати його спільно з програмним забезпеченням і персональними комп'ютерами, що значно підвищує ефективність та зручність в експлуатації. Розглядаючи загальну картину, можна побачити, що запропоноване мікропроцесорне реле перевершує конкурентів за всіма параметрами. Мікропроцесорне реле складається обчислювальних пристроїв та мікросхем, що ускладнює процес ремонту у випадку поломки порівняно з електромеханічними реле.

5.2 Планування модернізації та укладання бюджету

Для здійснення модернізації необхідно здійснити ряд робіт, що складаються з таких кроків [25]:

- ✚ формування структури робіт;
- ✚ планування тривалості робіт;
- ✚ формування переліку учасників кожної роботи;
- ✚ укладання графіку виконання робіт.

Одержані результати розподілу виконавців та переліку робіт представлено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Перелік робіт із розподілом виконавців

| Етапи | № з/п роботи | Зміст | Виконавець |
|---------------------------------|--------------|--|------------|
| Розроблення технічного завдання | 1 | Планування роботи | Керівник |
| | 2 | Затвердження технічної документації | Керівник |
| Вибір типу релейного захисту | 5 | Вибір та оцінка матеріального забезпечення | Інженер |
| | 4 | Розробка структурної | Інженер |

| | | | |
|--|----|---|----------|
| | | схеми об'єкта, який буде захищається | |
| | 3 | Характеристика об'єкта | Інженер |
| Практичний та теоретичний аналіз роботи | 7 | Вибір виконання РЗ | Керівник |
| | 6 | Підбір пристроїв РЗ | Керівник |
| | 9 | Обчислення параметрів РЗ | Інженер |
| | 8 | Планування ненормальних і аварійних режимів | Інженер |
| | 11 | Техніко-економічні обчислення | Інженер |
| | 10 | Безпека | Керівник |
| Розроблення технічної документації | 12 | Укладання пояснювальної записки | Інженер |
| Оцінка та узагальнення отриманих результатів | 13 | Оцінка ефективності отриманих результатів | Керівник |

Розрахунок очікуваної трудомісткості робіт проводимо за формулою:

$$t_{оци} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макси}}{5}, \quad (5.2)$$

де $t_{мини}$ – мінімально можлива трудомісткість роботи; $t_{макси}$ – максимально можлива трудомісткість роботи; $t_{оци}$ – очікувана трудомісткість виконання роботи.

На підґрунті очікуваної трудомісткості робіт обчислюється тривалість кожної роботи, яка вимірюється у робочих днях T_p , за виразом:

$$T_{pi} = \frac{t_{оци}}{Ч_i}, \quad (5.3)$$

де $Ч_i$ – кількість виконавців, які виконують роботу на цьому етапі.

Далі, тривалість кожного етапу роботи переводиться з робочих днів в календарні дні. Це здійснюється для зручності побудови графіків. Для цього використовується наступний вираз:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (5.4)$$

де $k_{кал}$ – коефіцієнт календарності.

Розрахунок коефіцієнта календарності проводимо за таким виразом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вих}} - T_{\text{св}}}, \quad (5.5)$$

де $T_{\text{вих}}$ – кількість вихідних днів у році; $T_{\text{св}}$ – кількість святкових днів у році.

Результати обчислень виглядають так [26]:

$$t_{\text{оч}} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{maxi}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ люд-год};$$

$$T_p = \frac{t_{\text{оч}}}{\mathcal{U}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дні};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вих}} - T_{\text{св}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,23;$$

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,23 = 2,55 \approx 3 \text{ дні}.$$

Усі проведені розрахунки зводимо у таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Показники термінів покращання релейного захисту

| Назва роботи | Трудоємність робіт | | | | | | Тривалість T_p (робочі дні) | | Тривалість T_k (календарні дні) | |
|--|----------------------------|---------|----------------------------|---------|---------------------------|---------|-------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|
| | t_{min} , люд·дні | | t_{max} , люд·дні | | $t_{\text{оч}}$, люд·дні | | Керівник | Інженер | Керівник | Інженер |
| | Керівник | Інженер | Керівник | Інженер | Керівник | Інженер | | | | |
| Планування роботи | 3 | | 5 | | 4 | | 4 | | 5 | |
| Характеристика об'єкта | | 3 | | 4 | | 4 | | 4 | | 9 |
| Розробка структурної схеми об'єкту, який буде захищатися | | 4 | | 9 | | 6 | | 6 | | 8 |
| Затвердження технічної документації | 1 | | 2 | | 2 | | 2 | | 3 | |
| Підбір та вивчення матеріального забезпечення | | 5 | | 8 | | 7 | | 7 | | 9 |
| Вибір виконання релейного захисту | 5 | | 8 | | 7 | | 7 | | 9 | |
| Підбір пристроїв релейного захисту | 4 | | 8 | | 6 | | 6 | | 8 | |
| Обчислення параметрів релейного захисту | | 2 | | 4 | | 8 | | 8 | | 10 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Планування ненормальних і аварійних режимів | | 2 | | 3 | | 4 | | 2 | | 2 |
| Планування аварійних режимів | | 3 | | 6 | | 5 | | 5 | | 6 |
| Безпека | | 3 | | 7 | | 5 | | 5 | | 6 |
| Техніко-економічні обчислення | 2 | | 3 | | 3 | | 3 | | 5 | |
| Укладання пояснювальної записки | | 1 | | 3 | | 2 | | 2 | | 5 |

Використовуючи таблицю 5.3 можемо створити графік Ганта.

Розраховані значення витрат для виконання модернізації релейного захисту виступають основою для формування бюджету проекту, який під час укладання договору із замовником буде визначатися проектантом як найнижча межа витрат.

Задля уникнення перевантаження кваліфікаційної роботи техніко-економічними розрахунками, одержані результати обчислень витрат представимо у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Отримані результати обчислення витрат

| № | Назва статті | Сума, грн |
|-------------|--------------------------------------|---------------|
| 1 | Матеріальні затрати | 360 |
| 2 | Амортизація | 2630 |
| 3 | Відрахування до не бюджетних фондів | 30442 |
| 4 | Затрати на основну заробітну плату | 100254 |
| 5 | Затрати на додаткову заробітну плату | 12042 |
| 6 | Накладні витрати | 23302 |
| Сума | | 169032 |

Аналізуючи таблицю 5.4 бачимо, що сумарне значення витрат становить 169 тис. грн.

5.3 Обчислення сумарної вартості модернізації

Розраховуємо вартість апаратури релейного захисту для модернізації комплексу релейного захисту лінії електропередачі ПС «Стрий» – ПС «Воловець». Вартість мікропроцесорних пристроїв та інших пристроїв проводимо за прас-листом їх виробників. Результати вибору представлені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Вартість апаратури релейного захисту лінії електропередачі ПС «Стрий» – ПС «Воловець»

| Назва | Тип | Ціна, грн | Кількість, шт | Сума, грн |
|---|----------------------------|-----------|---------------|--------------|
| Мікропроцесорний блок релейного захисту | <i>Siprotec Simens</i> | 34000 | 2 | 68000 |
| Автотрансформатор струму | <i>AT – 33</i> | 1700 | 3 | 5100 |
| Лампи освітлювальні | <i>СКЛ – 14В</i> | 190 | 1 | 190 |
| Реле-фільтр зворотної послідовності | <i>РСН – 14</i> | 3900 | 2 | 7800 |
| Розширювач потоків до БМРЗ | <i>ПТ – 12</i> | 4000 | 1 | 4000 |
| СУМА: | | | | 85100 |

Розраховуємо фінальну вартість модернізації комплексу релейного захисту лінії електропередачі ПС «Стрий» – ПС «Воловець» із додатково врахувавши 10 % вартості обладнання на монтаж пристроїв за виразом [25]:

$$C = C_{\text{п}} + C_0 + C_0 \cdot 10\%; \quad (5.6)$$

$$C = 169032 + 85100 + 85100 \cdot 0,1 = 262642 \text{ грн,}$$

де $C_{\text{п}}$ – вартість проектування; C_0 – вартість обладнання;

Аналізуючи результати розрахунків бачимо, що сумарне значення вартості модернізації комплексу релейного захисту лінії електропередачі ПС «Стрий» – ПС «Воловець» складає **262 тис грн.**

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі запропоновано основні технічні рішення для модернізації комплексу релейного захисту повітряної лінії електропередачі ПС «Стрий» – ПС «Воловець». Отримані у роботі результати узагальнено такими висновками:

1. Розкрито загальні положення пересилання електричної енергії лініями електропередач та здійснення їх захисту. Здійснено характеристики підстанцій «Стрий» та «Воловець», а також лінії електропередачі, яка їх з'єднує.

2. Висвітлено загальні вимоги до релейного захисту ліній електропередач 220 кВ. Здійснено огляд існуючих мікропроцесорних пристроїв релейного захисту повітряних ліній електропередач 220 кВ. Серед існуючих пристроїв вибрано пристрій *Siprotec* фірми *Siemens*. Також, для належної сумісної роботи вимірювальних пристроїв та захисту, запропоновано використати трансформатори струму ТФНД-220 та напруги НКФ-220.

3. Серед можливих пропонованих пристроєм захистів, вибрано необхідні для захисту лінії електропередачі. У програмному комплексі *CADeSIMU* здійснено розрахунок струмів коротких замикань та вибрано усі необхідні уставки захисту.

4. Також, у кваліфікаційній роботі, виконано розділ «Охорона праці та навколишнього середовища». У ньому проведено аналіз виникнення небезпечних ситуацій, наведено правила електробезпеки при обслуговуванні пристроїв релейного захисту та розкрито питання впливу електромагнітних полів на довкілля.

5. Представлено обґрунтування економічної ефективності модернізації комплексу релейного захисту лінії електропередачі. Зокрема, здійснено аналіз технічних рішень, планування модернізації, укладання бюджету та визначення сумарної вартості модернізації, яка склала 262 тис грн.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Харків: Вид-во «Точка», 2012. 340 с.
2. Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Супрун О. Д. Проектування систем електропостачання залізниць. Харків: УкрДУЗТ, 2019. 291 с.
3. Орлович А. Ю., Плешков П. Г., Козловський О. А. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання: навч. посіб. Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. 272 с.
4. Левонюк В. Основи електропостачання: методичні вказівки для виконання курсової роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львів: ЛНУП, 2023. 43 с.
5. Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Основи електропостачання. Львів: Львівська політехніка, 2005. 324 с.
6. Лушкін В. А., Абраменко І. Г., Барбашов І. В., Черкашина В. В., Шутенко О. В. Загальна характеристика та розрахунок режимів розподільних мереж: навчальний посібник. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2013. 193 с.
7. Бахор З. М., Журахівський А. В. Проектування підстанцій електричних мереж. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 308 с.
8. Василега П. О. Електропостачання. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 415 с.
9. Каталог продукції ВАТ «Рівненський завод високовольтної апаратури».
10. Хохулін Б. К. Пристрої захисного вимкнення в мережах низької напруги. Львів: ЛвЦНТІ, 2000. 91 с.
11. Панченко С. В., Блиндюк В. С., Баженов В. М. Релейний захист і автоматика: навч. посібник. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 250 с.
12. Яндульський О. С., Дмитренко О. О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 102 с.

13. Козярьський Д. П., Майструк Е. В., Козярьський І. П. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем: навчальний посібник. Чернівці: Чернівецький нац. ун., 2019. 133 с.
14. Махлін П. В., Костенко С. Ю., Кузьменко О. П. Інтелектуальні пристрої релейного захисту та автоматики: навч. посібник. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. 256 с.
15. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підручник. Вінниця: Нова Книга, 2011. 656 с.
16. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник. Львів: В-во НУ»ЛП», 2009. 488 с.
17. Колісник М. О. Надійність програмних засобів мікропроцесорних пристроїв управління систем телекомунікації: навч. посібник. Харків: Укр-ДАЗТ, 2012. 167 с.
18. Кирик В. В. Електричні мережі та системи. Київ: Політехніка, 2014. 132 с.
19. Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Супрун О. Д. Проектування систем електропостачання залізниць. Харків: УкрДУЗТ, 2019. 291 с.
20. Орлович А. Ю., Плешков П. Г., Козловський О. А. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання: навч. посіб. Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. 272 с.
21. Арламов О. Ю. Безпека життєдіяльності та цивільний захист: конспект лекцій. Київ: В-во НТУУ «КПІ», 2018. 93 с.
22. Тимочко В. О., Городецький І. М., Березовецький А. П., Мазур І. Б. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Львів: Сполом, 2022. 376 с.
23. Бондаренко В. О., Ганус О. І., Старков К. О., Шевченко С. Ю. Охорона праці в електроенергетиці: навчальний посібник. Харків: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2014. 286 с.
24. Лук'янова Л. Основи екології: навч. посіб. Київ: Вища шк., 2000. 327 с.
25. Мірошник О. О., Черкашина В. В., Мороз О. М., Черемісін М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності на прикладах задач електроенергетики. Харків: ФЛП Панов А. Н., 2018. 214 с.
26. Бандурка О. М., Ковальов Є. В., Садиков М. А., Маковоз О. С. Економіка підприємства. Харків: ХНУВС. 2017. 192 с.