

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механічної та електричної інженерії

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання курсового проекту
з навчальної дисципліни:

«Електричні станції і підстанції»

Освітньо-професійна програма
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

для здобувачів вищої освіти
галузь знань G Інженерія, виробництво та будівництво
спеціальність G3 Електрична інженерія
рівень вищої освіти перший (бакалаврський)



Полтава
2025

Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Електричні станції і підстанції» для здобувачів вищої освіти спеціальності G3 Електрична інженерія, рівня вищої освіти першого (бакалаврського). Семенов А., Бичков Я. Полтава: ПДАУ, 2025. 38 с.

Укладачі:

Семенов Анатолій, професор кафедри механічної та електричної інженерії, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

Бичков Ярослав, доцент кафедри механічної та електричної інженерії, кандидат технічних наук, доцент.

Рецензент:

Яхін Сергій, завідувач кафедри будівництва та професійної освіти, кандидат технічних наук, доцент.

Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Електричні станції і підстанції» Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка для здобувачів вищої освіти галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G3 Електрична інженерія рівня вищої освіти першого (бакалаврського) обговорені і схвалені на засіданні кафедри механічної та електричної інженерії 1 вересня 2025 р, протокол №1.

Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Електричні станції і підстанції» Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка для здобувачів вищої освіти галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності G3 Електрична інженерія рівня вищої освіти першого (бакалаврського) рекомендовано до друку Радою із якості вищої освіти спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» 1 вересня 2025 р, протокол №1.

1. Загальні положення

Курсове проектування з навчальної дисципліни «Електричні станції і підстанції» є самостійною інженерною роботою здобувачів вищої освіти та займає особливе місце в системі підготовки здобувачів вищої освіти за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Виконання проєкту закріплює та узагальнює знання, які здобувачі вищої освіти отримали під час аудиторних занять. У процесі курсового проектування здобувач вищої освіти виконує комплексну задачу з навчальної дисципліни «Електричні станції і підстанції», готуючись до виконання складнішого завдання – виконання кваліфікаційної роботи. Під час виконання цього курсового проєкту здобувач вищої освіти повинен опиратися на знання та навички, отримані під час вивчення таких навчальних дисциплін: вища математика, інженерна та комп'ютерна графіка, комп'ютерні технології та програмування, технічна механіка, електротехнічні матеріали, безпека життєдіяльності, електроніка та мікроконтролерна техніка, теоретичні основи електротехніки, електричні машини та апарати, електричні станції та підстанції, основи автоматики, основи електропостачання. Поряд з цим курсове проектування повинно навчити здобувачів вищої освіти роботі з довідковою літературою, державними та міжнародними стандартами, нормами, вміло поєднуючи їх з теоретичними знаннями, отриманими в процесі вивчення теоретичних положень відповідної навчальної дисципліни.

Мета курсового проектування «Електричні станції і підстанції» – зміцнення, поглиблення та узагальнення знань, отриманих при вивченні навчальної дисципліни «Електричні станції і підстанції» та набуття практичних навичок розрахунку та проектування електричних станцій і підстанцій.

Компетентності та програмні результати навчання для здобувача вищої освіти наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Компетентності та програмні результати навчання

<i>Загальні компетентності</i>
Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу
Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел
Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми
<i>Фахові компетентності</i>
Здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням систем автоматизованого проектування і розрахунків (САПР).
Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг.
Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами метрології, електричних вимірювань,

роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики.
Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу.
Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.
Здатність розробляти проекти електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування із дотриманням вимог законодавства, стандартів і технічного завдання.
<i>Програмні результати навчання:</i>
Знати і розуміти принципи роботи електричних систем та мереж, силового обладнання електричних станцій та підстанцій, пристроїв захисного заземлення та грозозахисту та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.
Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах
Обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками.
Знаходити необхідну інформацію в науково-технічній літературі, базах даних та інших джерелах інформації, оцінювати її релевантність та достовірність
Знати вимоги нормативних актів, що стосуються інженерної діяльності, захисту інтелектуальної власності, охорони праці, техніки безпеки та виробничої санітарії, враховувати їх при прийнятті рішень.
Розв'язувати складні спеціалізовані задачі з проектування і технічного обслуговування електромеханічних систем, електроустаткування електричних станцій, підстанцій, систем та мереж.
Застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні

У процесі виконання курсового проекту здобувач вищої освіти розвиває здібності до конструкторських рішень електричних станцій і підстанцій, інженерної творчості, раціоналізації та винахідництва, отримує навички роботи з довідковою літературою, вміння користуватись таблицями і графіками та розробляти технічну документацію.

На курсове проектування «Електричні станції і підстанції» відводиться 90 годин навчального навантаження, що відповідає 3 кредитам ЄКТС.

2. Тематика курсових проєктів

Враховуючи те, що навчальна дисципліна «Електричні станції і підстанції» вивчає будову та облаштування електричних станцій і підстанцій, у завданні на курсовий проєкт передбачається розробка структурної та функціональної схем електроустановки, на яких вказуються основні функціональні частини (розподільні пристрої, трансформатори, генератори) і зв'язки між ними. Структурна електрична схема залежить від складу устаткування (числа генераторів, трансформаторів), розподілу генераторів і навантаження між розподільними пристроями (РП) різної напруги й зв'язку між цими РП.

Орієнтовна тематика проєктів:

1. Проєктування електричної частини понижувальної підстанції з одним трансформатором 35/0,4 кВ для промислового підприємства (з потужністю знижувального трансформатора 63 кВА, 125 кВА, 200 кВА, 315 кВА, 500 кВА, 800 кВА, 1200 кВА, 1800 кВА, 2500 кВА, 3150 кВА, 5000 кВА).

2. Розроблення електричної частини двотрансформаторної понижувальної підстанції 35/0,4 кВ для живлення промислового підприємства: 63 кВА, 125 кВА, 200 кВА, 315 кВА, 500 кВА, 800 кВА, 1200 кВА, 1800 кВА, 2500 кВА, 3150 кВА, 5000 кВА).

3. Вибір і техніко-економічний аналіз обладнання понижувальної підстанції 35–110/6–10 кВ у системах електропостачання підприємств різного призначення (з потужністю силового трансформатора: 63 кВА, 125 кВА, 250 кВА, 400 кВА, 500 кВА, 800 кВА, 1000 кВА, 1250 кВА, 1600 кВА, 2000 кВА, 2500 кВА, 3200 кВА, 4000 кВА, 5000 кВА, 6300 кВА, 8000 кВА, 10000 кВА, 12500 кВА).

4. Оптимізація топології електричної мережі агропромислового комплексу з використанням понижувальної підстанції 35–110/6–10 кВ.

5. Проєктування системи резервного живлення фермерського господарства з використанням понижувальної підстанції 35–110/6–10 кВ.

6. Підвищення надійності та безпеки електропостачання підприємницького комплексу через удосконалення системи захисту й керування понижувальною підстанцією 35–110/6–10 кВ.

7. Використання відновлюваних джерел енергії (сонячних і вітрових установок) у системах електропостачання об'єктів на базі понижувальної підстанції 35–110/6–10 кВ.

8. Вплив вибору провідників і кабелів на втрати потужності та якість електроенергії в електричних мережах підприємств із понижувальною підстанцією 35–110/6–10 кВ.

9. Оцінювання стійкості та безперебійності електропостачання об'єктів агропромислового комплексу у разі аварійних режимів при живленні від понижувальної підстанції 35–110/6–10 кВ.

10. Впровадження систем моніторингу та діагностики обладнання понижувальної підстанції 35–110/6–10 кВ для підвищення ефективності технічного обслуговування.

3. Принцип обрання теми курсового проєкту

Тему здобувачі вищої освіти обирають самостійно за погодженням із призначеним керівником проєкту, спираючись на рекомендовану тематику. Здобувач вищої освіти може подавати власні пропозиції щодо тематики та особливостей компонування підстанцій у завданні до курсового проєкту на розгляд кафедри.

Обрані теми курсових проєктів затверджуються Протоколом засідання кафедри та закріплюються Завданням на курсовий проєкт (додаток А). Після затвердження теми курсового проєкту здобувач вищої освіти повинен розпочати її виконання.

Загалом виконаний курсовий проєкт має складатися з двох частин: розрахунково-пояснювальної записки та комплексу графічної документації.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна містити всі необхідні проєктні та перевірочні розрахунки, які мають бути розроблені та супроводжені розрахунковими схемами й необхідними ілюстраціями (за потреби), а також обґрунтування та пояснення щодо прийнятих конструктивних рішень та використаних стандартних виробів.

Графічна документація у проєкті має складатися з кресленика загального виду (схеми) електричної станції чи підстанції, а також креслеників електроустановок, що входять до їх складу.

4. Стадії розробки проєкту

Під час виконання курсового проєкту на підставі завдання (додаток А), що видається здобувачу вищої освіти керівником, встановлюються такі стадії розробки конструкторської документації:

- технічна пропозиція;
- ескізний проєкт;
- технічний проєкт;
- проєктна (конструкторська) документація.

Стадії розробки курсового проєкту реалізуються послідовно в порядку, наведеному вище. Вихідні дані для виконання кожної наступної стадії розробки випливають з результатів попередньої.

4.1. Завдання

До завдання на курсовий проєкт входять початкові дані для розрахунку, які залежать від конкретного виду електричної станції і підстанції. Наприклад:

1. Тип станції (генераційна, розподільча, трансформаторна тощо).
2. Потужність станції (у ватах або мегаватах).
3. Напруга на станції (у вольтах).
4. Топологія електромережі (трифазна).
5. Величина навантаження та його характеристики (рівень споживання електроенергії).
6. Використання відновлювальних джерел енергії (якщо є).

Ці параметри можуть відрізнятися для різних видів станцій (наприклад, газові теплові електростанції, вітрові ферми, гідроелектростанції, сонячні

електростанції, підстанції розподільчих мереж і т. д.), тому потрібно заздалегідь визначити, який конкретний тип станції або підстанції буде досліджуватись і які саме параметри і дані потрібні для виконання курсового проєкту.

Технічна пропозиція

Призначення технічної пропозиції – провести аналіз роботи електричних станцій і підстанцій різних типів і може виглядати наступним чином:

- розробка проєкту нової станції (підстанції). Опис завдання: здобувачам вищої освіти доручається розробити проєкт станції (підстанції), включаючи розрахунки її потужності, вибір місця для будівництва, технічні специфікації та екологічні аспекти. Врахувати можливості використання накопичувачів енергії;

- аналіз ефективності сучасних електричних станцій. Опис завдання: здобувачам вищої освіти пропонується провести аналіз ефективності роботи електричних станцій різних типів, враховуючи їхню потужність, використання відновлювальних джерел енергії та екологічні показники. Визначити підходи до покращення ефективності станцій;

- оптимізація мережі електропередачі з використанням сховища енергії. Опис завдання: здобувачам вищої освіти потрібно розробити модель оптимізації мережі електропередачі з урахуванням сховища енергії (батарей, акумуляторів тощо). Дослідити вплив такої системи на надійність та стабільність мережі;

- розробка системи автоматизації для керування підстанціями. Опис завдання: здобувачам вищої освіти потрібно розробити систему автоматизації для керування електричними підстанціями, зокрема систему віддаленого керування та моніторингу;

- вплив кіберзагроз на безпеку електричних станцій і підстанцій. Опис завдання: здобувачам вищої освіти доручається дослідити потенційні кіберзагрози для електричних станцій і підстанцій і розробити стратегії захисту від кібератак;

- розробка системи моніторингу та діагностики обладнання на підстанціях. Опис завдання: здобувачі вищої освіти повинні створити систему моніторингу та діагностики для підстанцій, що дозволить вчасно виявляти несправності та планувати регулярне обслуговування;

- використання сонячних панелей для живлення підстанцій. Опис завдання: здобувачі вищої освіти мають розробити проєкт використання сонячних панелей для живлення електричних підстанцій та проаналізувати економічну вигідність такого рішення;

- дослідження впливу електричних станцій на навколишнє середовище. Опис завдання: здобувачі вищої освіти мають провести дослідження впливу електричних станцій на повітря, воду та ґрунт, а також розробити методи зменшення негативного впливу.

4.2. Ескізний проєкт

Розробляється на базі технічної пропозиції. Призначення ескізного проєкту – принципове розроблення електроустановки в загальних рисах конструкції, визначення основних параметрів.

Структура ескізного проєкту:

- 1) загальні види складальних одиниць, де показані принципові конструктивні рішення, будова та принцип роботи електроустановки та ін.;
- 2) розрахунки електроустановок, їх потужності та за іншими критеріям працездатності.

Ескізний проєкт після погодження з викладачем є базою для розроблення технічного проєкту.

4.3. Технічний проєкт

Розробляється на базі ескізного проєкту. Призначення технічного проєкту – визначення технічних параметрів та розробка конструкції електричної станції і підстанції, прийняття рішень щодо відносного розташування і взаємодії всіх ланок електроустановок.

4.4. Проєктна (конструкторська) документація

Розробляється на базі технічного проєкту.

Структура робочої документації:

- пояснювальна записка з розрахунками;
- кресленик загального виду (схеми) електричної станції чи підстанції;
- кресленики окремих електроустановок.

4.5. Позначення конструкторських документів

У навчальному курсовому проєкті позначення конструкторських документів (з урахуванням ДСТУ 3321:2003) складаються з таких частин:

- позначення пояснювальної записки:

КП.ЕСП.ГЗЕІбд_25.02.00.000 ПЗ, де «КП» – курсовий проєкт, «ЕСП» – назва навчальної дисципліни, «ГЗЕІбд_25» – шифр групи, «02» – номер здобувача вищої освіти за списком групи, «00» та «000» – переписати без змін, «ПЗ» – пояснювальна записка).

5. Методичні рекомендації щодо виконання курсового проєкту

При проектуванні електроустановки перед розробкою головної схеми складається структурна (функціональна) схема видачі електроенергії (потужності), на якій наводяться основні функціональні частини електричної установки (розподільні пристрої, трансформатори, генератори) і зв'язки між ними. Структурна (функціональна) електрична схема залежить від складу устаткування (числа генераторів, трансформаторів), розподілу генераторів і навантаження між розподільними пристроями (РП) різної напруги й зв'язку між цими РП.

Для вибору електричної схеми розподільного пристрою необхідно знати кількість приєднань (ліній, трансформаторів, генераторів) до РП кожного класу напруги.

Вибір схеми електричних з'єднань підстанції є визначальним фактом при її проектуванні, визначає повний склад елементів і зв'язків між ними. Обрана схема є вихідною при складанні принципових схем електричних з'єднань, схем власних потреб, вторинних з'єднань тощо.

Схема електричних з'єднань підстанції повинна відповідати наступним вимогам:

- мати достатню надійність електропостачання;
- мати можливість розширення підстанції;
- оперативна гнучкість та маневреність електричної схеми;
- бути енергоощадною.

Рекомендується за можливістю використовувати типові блочно-модульні принципи з урахуванням сучасних схемних рішень.

Згідно завдання студенту задається певний тип підстанції (за способом приєднання до електричної мережі) це тупикова, відпаєчна, прохідна (транзитна) або вузлова підстанція.

Двотрансформаторні підстанції обладнані автоматичною (з вимикачем і роз'єднувачами) або неавтоматичною (без вимикача) перемичкою на стороні високої напруги, в залежності від необхідності дії протиаварійної автоматики.

Прохідні (транзитні) підстанції вмикаються в розсічку лінії, як правило з двостороннім живленням і здійснюють через себе транзит електроенергії в межах енергосистеми. Тут дві секції шин високої напруги додатково з'єднуються між собою ще й ремонтною перемичкою, яка в нормальному режимі відключена, а транзит потужності здійснюється через перемичку з секційним вимикачем.

До схем вузлових підстанцій ставляться підвищені вимоги з точки зору надійності. Як правило, в цьому випадку застосовують схеми з багатократним приєднанням ліній (кільцеві схеми, схема 3/2 вимикача на ланцюг, схеми шини - трансформатор, та ін.).

На середній напрузі підстанцій (35-150 кВ) рекомендується використання таких схем:

- одинарна секціонована система шин (як правило при напрузі 35 кВ);
- одинарна секціонована система шин з обхідною (110-150 кВ), до шести приєднань;
- дві робочі і обхідна система шин (110-150 кВ), шість і більше приєднань.

На стороні низької напруги (6-10 кВ) необхідно застосовувати одинарну секціоновану систему збірних шин. При цьому секційний вимикач при роботі двох трансформаторів відключений з метою обмеження струмів короткого замикання.

Після вибору силових трансформаторів й схеми електричних з'єднань підстанції намічають декілька (2-3) варіантів електричної частини підстанції, котрі підлягають техніко-економічному порівнянню.

За другий варіант можливо прийняти підстанцію з іншою схемою електричних з'єднань й розглянути надійність обох схем, або ту саму схему, але з трансформаторами більшої потужності. В цьому випадку варіанти будуть рівнонадійними.

5.1 Вибір кількості приєднань згідно категорії електроприймачів (забезпечення надійності електропостачання)

На початковому етапі проектування слід вирішити задачу визначення кількості ЛЕП. Рекомендується користуватися спрощеною методикою вибору.

Згідно з вимогами споживачі першої категорії повинні мати не менше двох незалежних джерел живлення: дві лінії, два трансформатори, два генератори з автоматичним вмиканням резервного (АВР); другої категорії – рекомендується два джерела, але припустимо й одне (після техніко-економічного обґрунтування). Цим визначається мінімальне число ліній зв'язку з системою: для електростанцій та підстанцій, що живлять споживачів першої категорії – не менше двох, решти підстанцій – варіант з одною лінією та одним трансформатором.

5.2 Вибір основного електрообладнання.

До основного електрообладнання належать синхронні генератори, трансформатори та синхронні компенсатори. У курсовому проєкті слід застосовувати найновіше електрообладнання. Для цього рекомендується користуватися каталогами, а також довідниками та навчальними виданнями останніх років видання.

Трансформатори підстанцій

На підстанціях усіх категорій з вищою напругою 35...750 кВ встановлюють здебільшого два трансформатори. Установка більшої кількості трансформаторів потребує техніко-економічного обґрунтування. Дозволяється установка на підстанції одного трансформатора для живлення споживачів другої та третьої категорій при техніко-економічному обґрунтуванні та наявності резерву трансформаторів у системі або при умові забезпечення резервування живлення споживачів за зв'язками вторинної напруги з іншими джерелами живлення.

При двох трансформаторах потужність кожного трансформатора вибирається з урахуванням завантаження його не більш 70 % максимального навантаження підстанції у нормальному режимі роботи та допустимого післяаварійного тривалого перевантаження згідно з ДСТУ 2103-92, 2104-92, 2105-92, не більше, як в 1,4 рази для трансформаторів з системами охолодження М, Д, ДЦ та Ц.

Застосування триобмоткових трансформаторів доцільне, якщо навантаження на боці нижчої напруги трансформатора не менше (15...20) % навантаження на боці середньої напруги.

Знижувальні трансформатори потужністю 25 МВА та вище (при $U = 6; 10$ кВ) виконуються з розщепленою на дві гілки обмоткою НН. Кожна гілка такого трансформатора розрахована на половину потужності, тому опір

трансформатора при короткому замиканні майже у 2 рази вище, ніж у звичайного двообмоткового трансформатора.

Промисловість почала випускати знижувальні трансформатори з додатковим охолодженням магнітопроводу (осердя - НД, НДЦ, при вмиканні якого потужність трансформатора зростає у 1,6 рази (до потужності наступного ступеня стандарту: з 10 до 16 МВА і т.д.). Застосування таких трансформаторів на районних підстанціях та підстанціях промислових підприємств дозволить значно збільшити надійність електропостачання.

На великих вузлових підстанціях, які з'єднують мережі двох суміжних напруг 110 кВ та вище (110/220; 150/330; 220/500 та ін.) застосовують лише автотрансформатори, що мають більш високі техніко-економічні показники у порівнянні з триобмотковими трансформаторами аналогічної потужності.

Промисловість випускає як двообмоткові ($S_{ном} \leq 400$ МВА), так і триобмоткові автотрансформатори ($S_{ном} \leq 250$ МВА) у трифазному (до 330 кВ) або однофазному виконанні. Третя обмотка призначена для живлення місцевого навантаження (разом з навантаженням власних потреб) та приєднання компенсувальних пристроїв (напругою від 6 до 35 кВ).

Оскільки схеми підстанцій є стандартними, для проведення ТЕР при проєктуванні підстанції необхідно вибрати два варіанти потужностей трансформаторів (автотрансформаторів) таким чином, щоб сума потужностей двох трансформаторів або потужність одного (2-ї та 3-ї для споживачів категорій) не була меншою за сумарну потужність споживачів різних класів напруги.

При навчальному проєктуванні трансформатор (автотрансформатор) стандартної потужності з необхідною напругою обмотки ВН чи СН наводиться у завданні.

Конкретну модель трансформатора слід підібрати за каталогами пропозицій сучасних трансформаторів вітчизняних та закордонних виробників, застосовуючи маркування, наведене на рис.1.

5.3 Розрахунок струмів короткого замикання

Основною причиною аварійних режимів в електроустановках є трифазні, двофазні та однофазні замикання на землю, і однофазні короткі замикання. Розрахунки аварійних режимів при проєктуванні підстанції необхідні для вибору під станційної апаратури і перевірки струмоведучих частин на їх термічну і електродинамічну стійкість, а також для вибору релейного захисту і заземлюючих пристроїв.

За розрахунковий вид короткого замикання для вибору електричних апаратів й струмопроводів приймається трифазне коротке замикання. Попередньо необхідно скласти розрахункову схему, що відповідає максимальному значенню струму короткого замикання в намічених точках мережі на стороні високої ($K1$) і низької напруги ($K2$) трансформаторної підстанції рис. 2. При цьому необхідно пам'ятати, що секційний вимикач на стороні 6-10 кВ завжди вимкнений при роботі обох силових трансформаторів, а секційний вимикач на стороні 35-330 кВ може бути у ввімкненому стані (в

залежності від типу підстанції).



Рисунок 1. Структура умовного позначення типу трансформатора.

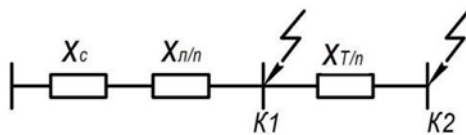


Рис.2 Схема заміщення для розрахунку струму КЗ

За розрахунковою схемою складається схема заміщення, в якій вказуються джерела живлення й усі елементи ланцюга короткого замикання своїми реактивними опорами. Для спрощення розрахунків активними опорами схеми можливо знехтувати.

На рис. 2 x_c , x_l , x_T індуктивні опори відповідно системи, лінії високої напруги, трансформатора. Розрахунок струмів КЗ виконується в умовних одиницях.

Слід зазначити, що вибір виду розрахункового струму КЗ залежить від поставленої мети. Наприклад, розрахунковим видом струму КЗ при виборі та перевірці апаратів і провідників зазвичай є трифазний струм КЗ, Рідше (в

мережах 110 кВ і вище) однофазний струм КЗ.

У цьому розділі варто розглянути розрахунок струмів трифазного короткого замикання напругою вище 1 кВ.

При розрахунках струмів КЗ допускається не враховувати:

- зсув по фазі ЕДС різних синхронних машин і зміну їх частоти обертання, якщо тривалість КЗ не перевищує 0,5 с.;

- струми намагнічування силових трансформаторів і автотрансформаторів;

- насиченість магнітних систем електричних машин;

- поперечна ємність повітряних ліній електропередачі напругою 110-220 кВ, якщо їх довжина не вище 200 км, і напругою 330-500 кВ, якщо їх довжина не перевищує 150 км;

- вплив активних опорів різних елементів вихідної розрахункової схеми на амплітуду періодичної складової струмів КЗ, якщо активна складова результуючого еквівалентного опору розрахункової схеми відносно точки КЗ не вище 30 % від індуктивної складової результуючого рівномірного опору.

На схемі показані трансформатори з розщепленими обмотками (рисунок 4, а).

Методика проведення розрахунку струмів короткого замикання для електричної схеми (рисунок 3) містить наступні розрахунки.

Еквівалентна схема розміщення буде мати вид, представлений на рисунку 4, б. Приймаємо потужність короткого замикання системи $S_k = 500$ МВА. Повітряна лінія довжиною 5 км з $x_{\text{пит}} = 0,4$ Ом/км.

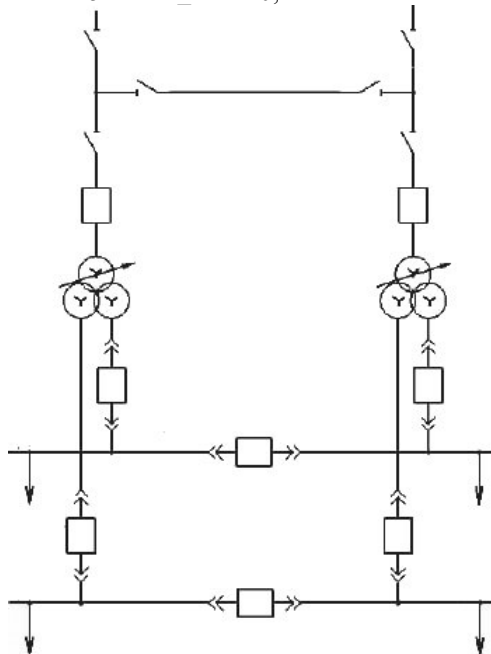
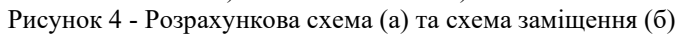


Рисунок 3 - Спрощена електрична схема підстанції



Таблиця 2 – Технічні дані для розрахунків

Тип	$S_{\text{НОМ.Т, кВА}}$	Дані з каталогу					
		$U_{\text{НОМ}}$ обмоток, кВ		$u_{\text{К, \%}}$		$P_{\text{К, кВт}}$	$P_{\text{Х, кВт}}$
		ВН	НН	ВН–НН	НН1–НН2		
1	2	3	4	5	6	7	8

Розрахунок струмів короткого замикання для спрощення виконуються у відносних одиницях. Для переходу від реальних фізичних величин до відносних значень попередньо вибираються базисні величини. За базисне значення потужності S_6 приймають або сумарне значення потужності всіх джерел живлення, або число, кратне 10. У цьому розрахунку за базисну потужність можна прийняти $S_6 = 100$ МВА, за базисну напругу U_6 – напругу того ступеня, на яку розраховуємо струм короткого замикання, що дорівнює середній номінальній напрузі U_{cp} (кВ) відповідно до шкали середньої номінальної напруги: 0,23; 0,4; 0,69; 3,15; 6,3; 10,5; 21; 37; 115; 230; 347; 525; 787; 1200. У точці К1 на стороні ВН базисна напруга дорівнює $U_{cp} = U_6$, а на стороні НН у точках К2 та К3 $U_6 = 0,4$ кВ.

Знаходимо у відносних одиницях опору схеми заміщення.

1. Опір системи:

$$x_{*б.,с.} = \frac{S_б}{S_к} \quad (5.1)$$

де $S_б$ – базисна потужність;

$S_к$ – потужність КЗ.

2. Опір повітряних ліній :

$$x_{*б.,л.} = x_{пит.} \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{ср}^2} \quad (5.2)$$

де $x_{пит.}$ - питомий (погонний) індуктивний опір лінії, Ом/км;

l - довжина повітряних ліній

$U_{ср}$ - середня номінальна напруга на стороні ВН

3. Опір трансформатора:

$$x_{*б.,Тв.} = \frac{U_{к.в.}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{ном.Т}} \quad (5.3)$$

де $U_{к.в.} = u_{к.ВН-НН} - 0,25 \cdot u_{к.НН1-НН2}$ - напруга короткого замикання між обмотками

$S_{ном.Т}$ – номінальна потужність трансформатора

$$x_{*б.,Тн1.} = \frac{U_{к.Н1.}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{ном.Т}} \quad (5.4)$$

де $U_{к.Н1.} = U_{к.Н2.} = 0,5 \cdot u_{к.НН1-НН2}$

Для короткого замикання в точці K_1 знаходимо:

- результуючий опір до точки K_1 :

$$x_{*рез.(б)} = x_{*б.,с.} + x_{*б.,л.} \quad (5.5)$$

де $x_{*б.,с.}$ – з формули (4.1)

$x_{*б.,л.}$ – з формули (4.2)

- базисний струм в точці K_1 :

$$I_б. = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б.} \text{ кА} \quad (5.6)$$

Оскільки енергосистема пов'язана з точкою короткого замикання безпосередньо, то значення періодичної складової струму короткого замикання від системи при трифазному струмі короткого замикання для будь-якого моменту часу можна вважати рівним $I_{п,t} = I_{п,o} = \text{const}$.

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму короткого замикання в точці К1 визначимо:

$$I_{п.,о.} = \frac{E_{*б}''}{x_{*рез(б)}} \cdot I_{б.} \text{ кА} \quad (5.7)$$

де $E_{*б}''=1$ – середнє значення надперехідної ЕРС для енергетичнох системи;

$x_{*рез(б)}$ – з формули (4.5)

$I_{б.}$ - з формули (4.6)

Ударний струм короткого замикання у точці К₁ слід визначати за формулою:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п.,о.} \cdot k_{уд.} \text{ кА} \quad (5.8)$$

де $k_{уд.} = 1,8$ – ударний коефіцієнт

$I_{п.,о.}$ - з формули (4.7)

Потім проводиться розрахунок струмів короткого замикання на стороні нижчої напруги в точках К2 та К3. Значення, отримані для цих точок, будуть однаковими, тому розглянемо лише розрахунок у точці К2

Результуючий опір до точки К2:

$$x_{*рез.(б)} = x_{*б.,с.} + x_{*б.,л.} + x_{*б.,Тв} + x_{*б.,Тн1.} \quad (5.9)$$

де $x_{*б.,с.}$ – з формули (4.1)

$x_{*б.,л.}$ – з формули (4.2)

$x_{*б.,Тв}$ – з формули (4.3)

$x_{*б.,Тн1.}$ – з формули (4.4)

Базовий струм у точці К2:

$$I_{б.} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{б.}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \text{ кА} \quad (5.10)$$

Початкове значення періодичної складової трифазного струму короткого замикання в точці К2 визначимо за формулою:

$$I_{п.,о.} = \frac{E_{*б}''}{x_{*рез(б)}} \cdot I_{б.} \text{ кА} \quad (5.11)$$

де $x_{*рез(б)}$ – з формули (4.9)

$I_{б.}$ – з формули (4.10)

Ударний струм короткого замикання у точці К2 визначимо за формулою:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п.,о.} \cdot k_{уд.} \text{ кА} \quad (5.12)$$

де $k_{уд.} = 1,8$ – ударний коефіцієнт

$I_{п.о.}$ – з формули (5.11)

Отримані дані слід занести у таблицю 3.

Таблиця 3 – Розрахункові значення струмів короткого замикання

№ п/п	Завдання	Відповідь
1	$I_{п.о.}$ в точці К ₁	
2	$I_{п.о.}$ в точці К ₂	
3	$i_{уд}$ в точці К ₁	
4	$i_{уд}$ в точці К ₂	

6. Вибір електричних апаратів

Вибір апаратів для установки, що проектується, починається з визначення за заданою електричною схемою розрахункових умов, а саме розрахункових робочих струмів приєднань і струмів КЗ.

Розрахункові величини зіставляються з відповідними номінальними параметрами апаратів. Для всього обладнання, яке буде вибираним в курсовому проєкті, будуть вказані посилання на сайт виробника.

6.1 Вибір високовольтних вимикачів

За розрахунковими даними вибирається високовольтний вимикач певного типу технічні дані якого заносяться у таблицю 4.

Таблиця 4 – Технічні дані високовольтного вимикача

Найменування параметру	Значення
1 Номінальна напруга , кВ	$U_{ном}$
2 Найбільша робоча напруга, кВ	$U_{роб}$
3 Номінальний струм за частотою 50 (60) Гц, А	$I_{ном}$
4. Номінальний струм відключення, кА	$I_{від.ном}$
5 Нормовані параметри струму включення, кА: а) початкове чинне значення періодичної складника б) найбільший пік	$I_{вкл.норм.}$ $i_{вкл.норм.}$
Нормовані параметри наскрізного КЗ, кА: а) найбільший пік (струм електродинамічної стійкості) б) середньоквадратичне значення струму під час його протікання (Струм термічної стійкості для проміжку часу 3 с) в) початкове чинне значення періодичної складника	$i_{пр.с.}$ I_T $I_{пр.с.}$

Найменування параметру	Норма
7 Нормований процентний зміст аперіодичної складової, %, не більше	$\beta_{\text{нор}}$
8. Власний час включення, мс, не більше	$\tau_{\text{вл.вкл}}$
9. Власний час відключення, мс	$\tau_{\text{вл.від}}$
10. Повний час відключення, мс, не більше	$\tau_{\text{пов.вл.від}}$
11. Беззатоктова пауза при АПВ, с, не менше	$\tau_{\text{паузи}}$
12. Механічний ресурс, циклів ВО	N
13. Комутаційний ресурс, циклів ВО: - при номінальному струмі - при номінальному струмі відключення	$N_{\text{ном}}$ $N_{\text{ном відкл.}}$
14. Маса вимикача, кг (без трансформатора струму)	M

Вимикач вибирається за такими параметрами:

1) номінальний напруги: $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{мер.ном.}}$;

2) номінальному тривалому (робочому) струму:
 $I_{\text{роб}} \leq I_{\text{ном}}; I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$

$$I_{\text{роб}} = \frac{S_{\text{Тном.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}; \quad (5.13)$$

$$I_{\text{max}} = 1,4 \frac{S_{\text{Тном.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} \quad (5.14)$$

3) швидкодії відключення:

а) на симетричний струм відключення: $I_{\text{п.,}\tau} \leq I_{\text{від.ном.}}$; де в розрахунках використовується $I_{\text{п.,}\tau} = I_{\text{п.,}0} = 2$

б) на відключення аперіодичної складової струму КЗ, але з початку знайдемо:

$$\tau = \tau_{\text{рз}} + \tau_{\text{вл.від}} \quad (5.15)$$

де $\tau_{\text{рз}} = 0,01$ с – час дії релейного захисту; $\tau_{\text{вл.від}}$ – власний час відключення вимикача

$$i_{\text{а.,}\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п.,}0} \cdot e^{-\tau/T_{\text{а}}} = \text{кА} \quad (5.16)$$

де $i_{\text{а.,}\tau}$ – номінальне допустиме значення аперіодичної складової у струмі, що відключається для часу

$T_{\text{а}} = 0,03$ – постійна часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання

$$i_{\text{а.ном}} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{\beta_{\text{нор}}}{100} \right) \cdot i_{\text{від.ном}} \text{ кА} \quad (5.17)$$

$\beta_{\text{нор}}$ нор – нормоване значення вмісту аперіодичної складової у струмі, що відключається (%), яке визначається за кривою з довідників або встановлюється заводом-виробником;

За отриманими розрахунками

$$i_{a,\tau} = XX, XX \text{ кА} \leq i_{a,\text{норм}} \text{ кА} \quad (5.18)$$

Оскільки умови а) і б) виконуються, то умову в) можна не перевіряти.

в) якщо умова $I_{п,\tau} \leq I_{\text{від.норм}}$ дотримується, але при цьому $i_{a,\tau} \leq i_{a,\text{норм}}$, то перевірку по відключаючій здатності проводять по повному струму КЗ:

$$(\sqrt{2}I_{п,\tau} + i_{a,\tau}) \leq \sqrt{2}I_{\text{від.норм}}(1 + \frac{\beta_{\text{нор}}}{100}) \quad (5.19)$$

4) включаюча здатність $I_{п.о.} \leq I_{\text{вкл.норм.}}, i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{вкл.норм.}} :$

$$I_{п.о.} = 2 \leq I_{\text{вкл.норм.}} \text{ кА} \quad (5.20)$$

$$i_{\text{уд.}} = 5,09 \text{ кА} \leq i_{\text{вкл.норм.}} \text{ кА} \quad (5.21)$$

де $I_{\text{вкл.норм.}}$ – нормоване діюче значення періодично складової струму включення вимикача;

$I_{п.о.}$ – початкове значення періодичної складової струму короткого замикання;

$i_{\text{вкл.норм.}}$ – нормоване миттєве значення струму включення вимикача (береться за каталогом);

$i_{\text{уд.}}$ – значення ударного струму короткого замикання;

5) граничного наскрізного струму КЗ – на електродинамічну стійкість:

$$I_{п.о.} = 2 \leq I_{\text{пр.с.}} \quad (5.22)$$

$$i_{\text{уд.}} = 5,96 \leq i_{\text{дин.с}} = i_{\text{пр.с.}} \quad (5.23)$$

де $I_{\text{пр.с.}}$ – діюче значення граничного наскрізного струму КЗ (за довідником);

$i_{\text{пр.с.}}$ – амплітудне значення граничного наскрізного струму КЗ (за довідником);

б) тепловому імпульсу – на термічну стійкість: $B_k \leq I_T^2 \cdot \tau_T$ при умові $t_{\text{відкл.}} > t_T$; якщо $t_{\text{відкл.}} < t_T$, то $B_k \leq I_T^2 \cdot t_{\text{відкл.}}$

$$t_{\text{відкл.}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{пов.вл.від}} \quad (5.24)$$

$$B_k = I_{п.о.}^2 (t_{\text{відкл.}} + T_a), A^2 \cdot \text{с} \quad (5.25)$$

$$I_T^2 \cdot t_{\text{відкл}}, A^2 \cdot c \quad (5.26)$$

де I_T – граничний струм термічної стійкості за довідником;

$t_T = 3$ – тривалість протікання струму термічної стійкості у довіднику.

Оскільки в деяких випадках $t_{\text{відкл.}} > t_T$, то умова перевірки на термічну стійкість може мати наступний вид:

$$B_K = XX, XX A^2 \cdot c \leq I_T^2 \cdot t_{\text{відкл}}, A^2 \cdot c; \quad (5.27)$$

7) Напрузі, що відновлюється:

$$u_B \leq u_{\text{в.норм}} \quad (5.28)$$

де $u_{\text{в.норм}}$ – нормоване значення власної напруги, що відновлюється, на контактах вимикача при відключенні короткого замикання в ланцюгу; u_B – власна напруга, що відновлюється, на контактах вимикача при відключенні розрахункового короткого замикання в ланцюгу.

Отримані результати занести у таблицю 5

Таблиця 5 – Умови вибору і перевірки вимикача.(приклад).

Вимикач серії ВР		
Розрахункові дані	Дані з каталогу	Умови праці
$U_{\text{ном}} = XX \text{ кВ}$	$U_{\text{мер.ном.}} = 12 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{мер.ном.}} ;$
$I_{\text{роб}} = XX \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{роб}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\text{max}} = XX \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\text{п.,т}} = XX \text{ кА}$	$I_{\text{від.ном}} = 25 \text{ кА}$	$I_{\text{п.,т}} \leq I_{\text{від.ном}}$
$I_{\text{п.,о}} = XX \text{ кА}$	$I_{\text{від.ном}} = 25 \text{ кА}$	$I_{\text{п.,о}} \leq I_{\text{від.ном}}$
$i_{\text{а.,т}} = XX \text{ кА}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{а.,т}} \leq i_{\text{а.ном}}$
$I_{\text{п.о.}} = XX \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с.}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}} \leq I_{\text{пр.с.}}$
$i_{\text{уд.}} = XX \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с.}} = 50 \text{ кА}$	$i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{пр.с.}}$
$i_{\text{уд.}} = XX \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с.}} = 50 \text{ кА}$	$i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{вкл.норм.}}$
$B_{\text{к.розр}} = XX \cdot 10^6 A^2 \cdot c$	$B_{\text{к.вим}} = 40 \cdot 10^6 A^2 \cdot c$	$B_{\text{к.розр}} \leq B_{\text{к.вим}}$

Таким чином, вибраний вимикач повністю задовольняє усім умовам вибору і перевірки.

6.2 Вибір роз'єднувачів

На підставі розрахунку трифазного короткого замикання $I_{\text{п.о.}}$, кА, $i_{\text{уд.}}$, кА, зробити вибір та перевірку роз'єднувача, що встановлюється на стороні вищої напруги силового трансформатора. За основу вибору беремо номінальну потужність силового трансформатора.

За каталогами обираємо роз'єднувач зовнішньої установки, параметри якого наводимо у вигляді в таблиці 6.

Таблиця 6 Технічні дані роз'єднувача

Найменування параметру	Номінал
Напруга	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$
Номінальний струм	$I_{\text{ном}}, \text{А}$
Струм електродинамічної стійкості	$i_{\text{пр.с.}}, \text{кА}$
Струм термічної стійкості	$I_T, \text{кА}$
Тривалість протікання струму термічної стійкості	$t_T, \text{с}$
Країна виробник	—
Спосіб монтажу	—
Місце установки	Зовнішній/внутрішній
Максимальна робоча напруга	$U_{\text{max}}, \text{кВ}$
Кількість опорних ізоляторів	шт.
Кількість полюсів	шт.
Комутаційна зносостійкість	кількість циклів

Роз'єднувачі вибираються за такими параметрами:

1) номінальний напругі:

$$U_{\text{мерж.ном.}} \leq U_{\text{ном}}, \text{кВ} \quad (5.29)$$

2) номінальному тривалому (робочому) струму: $I_{\text{роб}} \leq I_{\text{ном}} ;$

$$I_{\text{роб}} = \frac{S_{\text{Тном.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \text{А} \quad (5.30)$$

3) електродинамічної стійкості: $i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{дин}} = i_{\text{пр.с.}}$

4) термічної стійкості – за умови $t_{\text{відкл.}} > t_T$ $B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$ якщо $t_{\text{відкл.}} < t_T$, то $B_K \leq I_T^2 \cdot t_{\text{відкл.}}$, де час відключення короткого замикання $t_{\text{відкл.}}$:

$$t_{\text{відкл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{пов.вл.від}}, \text{с} \quad (5.31)$$

$$B_K = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{відкл}} + T_a), \text{А}^2 \cdot \text{с} \quad (5.32)$$

$$I_T^2 \cdot t_{\text{відкл}}, \text{А}^2 \cdot \text{с} \quad (5.33)$$

де I_T – граничний струм термічної стійкості за довідником;

$t_T = 3$ - тривалість протікання струму термічної стійкості за довідником. Отримані результати слід оформити у вигляді таблиці 7.

Таким чином, вибраний роз'єднувач повністю задовольняє усім умовам вибору і перевірки

Таблиця 7 – умови вибору та перевірки роз'єднувача

Роз'єднувача РДЗ-35/1000 УХЛІ		
Розрахункові дані	Дані каталога	Умови праці
$U_{\text{ном}} = \text{XX кВ}$	$U_{\text{мерж.ном.}} = \text{xx кВ}$	$U_{\text{ном}} \leq \text{або} \geq U_{\text{мерж.ном.}}$
$I_{\text{роб}} = \text{XX А}$	$I_{\text{ном}} = \text{xx}$	$I_{\text{роб}} \leq \text{або} \geq I_{\text{ном}}$
$i_{\text{уд.}} = \text{XX кА}$	$i_{\text{пр.с.}} = \text{xx кА}$	$i_{\text{уд.}} \leq \text{або} \geq i_{\text{пр.с.}}$
$B_{\text{к.роз}} = \text{XX} \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к.вим}} = \text{xx} \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к.роз}} \leq \text{або} \geq B_{\text{к.вим}}$

6.3 Вибір трансформатора струму

На підставі розрахунку трифазного короткого замикання п.5.3 зробити вибір та перевірку роз'єднувача, що встановлюється на стороні вищої напруги силового трансформатора. Номінальна потужність трансформатора вказана у завданні. До трансформатора струму підключається амперметр.

Як приклад можна вибрати трансформатор струму з порцеляноюю покриття, вторинна обмотка якого має ланцюговий тип, сам трансформатор маслозаповнений типу РФЗМ. Параметри вибраного трансформатора заносяться в таблицю 8.

Таблиця 8 – Технічні характеристики трансформатора струму

Найменування параметру	Норма
Номінальна напруга	$U_{\text{ном}}$
Номінальний струм первинної обмотки	$I_{1\text{ном}}$
Номінальний струм вторинної обмотки	$I_{2\text{ном}}$
Струм термічної стійкості	I_T
Струм електродинамічної стійкості	$i_{\text{дин.}}$
Тривалість протікання струму термічної стійкості	t_T
Номінальна вторинне навантаження при $\cos\varphi = 0.8$	S_2
Клас точності	S

Трансформатор струму (ТС) вибирається за такими умовами:

- 1) номінальній напрузі: $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{мерж.ном.}}$;
- 2) номінальному тривалому (робочому) струму $I_{\text{роб}} \leq I_{1\text{ном}}$:

$$I_{\text{роб}} = \frac{S_{\text{Тном.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} \text{ А} \quad (5.34)$$

де $I_{\text{роб}}$ – номінальний розрахунковий (робочий) первинний струм (навантаження) трансформатора струму;

$I_{1\text{ном}}$ – номінальний первинний струм трансформатора струму (за каталогами). Номінальний первинний струм повинен бути якомога ближче до робочого струму установки, оскільки недовантаження первинної обмотки призводить до збільшення похибок.

- 3) електродинамічної стійкості $i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{дин.}}$:

4) термічної стійкості $B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$:

$$t_{\text{відкл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{пов.вл.від}}, \text{ с (5. 34)}$$

$$B_K = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{відкл}} + T_a), A^2 \cdot \text{с (5. 35)}$$

$$I_T^2 \cdot t_T, A^2 \cdot \text{с (5. 36)}$$

5) конструкції та класу точності (наприклад трансформатор струму маслозаповнений з порцеляновою покриттю, клас точності 0,2S);

6) вторинному навантаженні $Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}$, для подальших розрахунків знадобиться наступні величини: R_K ($R_K = 0,05$ Ом – при 2–3 приладах, $R_K = 0,1$ Ом – за більшої кількості приладів) ρ – питомий опір матеріалу дроту ($\rho = 0,0175$ Ом·мм²/м – для проводів із мідними жилами, $\rho = 0,0283$ Ом мм²/м – для проводів із алюмінієвими жилами) l_p – розрахункова довжина, яка залежить від схеми з'єднання трансформаторів струму (при включенні в одну фазу $l_p = 2l$; при включенні, у неповну зірку (дві фази) $l_p = \sqrt{3}l$; при включенні у повну зірку (в три фази) $l_p = l$).

Рекомендовано підключати один амперметр, який вибирається за каталогами. У залежності від споживаної потужності $S_{\text{прил}}$, ВА вибирається $R_K = 0,05$ Ом, $l_p = l$. Монтаж слід проводити мідними дротами ($\rho = 0,0175$ Ом·мм²/м – для проводів із мідними жилами),

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{S_2}{I_2^2}, \text{ Ом (5. 37)}$$

де $Z_{2\text{ном}}$ – номінальний повний опір навантаження (допустиме навантаження) вторинної обмотки трансформатора струму у вибраному класі точності;

Z_2 – вторинне навантаження трансформатора струму.

Індуктивний опір струмових ланцюгів невеликий, тому $Z_2 \approx R_2$:

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пр}} + R_K, \text{ (5. 38)}$$

де R_K – перехідний опір контактів

$$R_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_p}{S} \text{ (5. 39)}$$

де $R_{\text{пр}}$ опір проводів,

Для різних приєднань приймається приблизна довжина та подається у вигляді таблиці 9.

$R_{\text{прил}}$ – опір приладів, підключених до трансформатора струму:

$$R_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_2^2}, \text{ Ом} \quad (5.40)$$

де $S_{\text{прил}}$ – повна потужність, яка споживається підключеними приладами (береться з довідника або каталогу для кожного приладу). А;

I_2 - струм вторинної обмотки трансформатора струму.

Таблиця 9 – Довжина з'єднувальних проводів

Типи з'єднань	Довжина в метрах
Усі ланцюги ГРУ 6–10 кВ, крім ліній споживачам	XX, м
Лінії 6-10 кВ до споживачів	XX, м
Ланцюги генераторної напруги блочних станцій	XX, м
Усі ланцюги РП 35 кВ	XX, м
Усі ланцюги РП 110 кВ	XX, м
Усі ланцюги РП 220 кВ	XX, м
Усі ланцюги РП 330–500 кВ	XX, м

Щоб трансформатор струму працював у вибраному класі точності, необхідно витримати умову:

$$R_{\text{прил}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{к}} \leq Z_{2\text{ном}}, \quad (5.41)$$

Знаючи $R_{\text{пр}}$, можна визначити переріз з'єднувальних проводів:

$$S = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}} \text{ мм}^2, \quad (5.42)$$

де ρ – питомий опір матеріалу дроту: $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ – для проводів із мідними жилами, $\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ – для проводів із алюмінієвими жилами;

l_p – розрахункова довжина, $l_p = l$, м

За умовою міцності перетин для мідних жил має бути не менше $2,5 \text{ мм}^2$, для алюмінієвих – $4,0 \text{ мм}^2$. Перетин більше 6 мм^2 зазвичай не застосовується.

Монтаж зазвичай виконується мідними проводами, і через умову міцності слід вибирати переріз проводу $S \geq 2,5 \text{ мм}^2$

Усі розрахункові дані заносимо у таблицю 10.

Таблиця 10 – умови і перевірка трансформатора струму ТФЗМ-35

Розрахункові дані	Дані каталогу	Умови вибору
$U_{\text{ном}}, \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}, \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{мер.ном.}}$
$I_{\text{роб}}, \text{ А}$	$I_{\text{роб}}, \text{ А}$	$I_{\text{роб}} \leq I_{\text{ном}}$

$i_{уд}, A$	$i_{уд}, A$	$i_{уд.} \leq i_{дин.}$
$B_{к,роз} A^2 \cdot c$	$B_{к,роз} A^2 \cdot c$	$B_{к,роз} \leq B_{к,ТС}$
$R_{пр} \leq 0,53 \text{ Ом}, R_{к} = 0,05 \text{ Ом}, Z_{2ном} = 0,6 \text{ Ом}, R_{прил} = 0,02 \text{ Ом}, \text{дроти з мідними жилами } S \geq 2,5 \text{ мм}^2$		

6.4. Вибір обладнання на стороні 0,4 кВ

Ввідно-розподільчі щити – це багатофункціональне обладнання на напругу 0,4 кВ, розроблене з урахуванням специфічних вимог до систем електроживлення мереж з активним струмовим навантаженням від 100 до 630 А і кількістю ліній, що відходять від 10 до 40. В одному корпусі поєднані системи захисту з боку трансформатора (введення) і з боку споживачів, облік, автоматичне введення резерву, компенсація реактивної потужності.

Під час вибору щитів варто навести обґрунтування та звернути увагу на особливості за якими було обрано саме їх:

- габарити;
- безпека персоналу;
- системи контролю якості електроенергії;
- захист від підвищеної/зниженої напруги, асиметрії або змішування фаз;
- можливість проведення оперативних перемикачів.

7. Розрахунок блискавкозахисту підстанції

Будівля і спорудження підстанції з достатнім ступенем надійності повинні захищатися відводами від уражень прямими ударами блискавок.

Блискавковідводи бувають стрижневі та тросові. Стрижневі застосовуються для захисту від прямих ударів блискавки у будівлі, тросові – для захисту ліній електропередач.

Розрахунок захисту від прямих ударів блискавки полягає у визначенні зон захисту, типів захисту та параметрів.

За типом блискавкозахист може бути наступним:

- однострижневий;
- двострижневий однакової або різної висоти;
- багаторазовий стрижневий;
- одиночний тросовий;
- багаторазовий тросовий.

Параметрами блискавкозахисту є:

h – повна висота стрижневого блискавковідведення, м;

h_0 – висота вершини конуса стрижневого блискавковідводу, м;

h_x – висота споруди, що захищається, м;

r_0, r_x – радіуси захисту на рівні землі і на висоті споруди, що захищається відповідно, м;

h_c – висота середньої частини подвійного стрижневого блискавковідводу, м;

$2r_c$, $2r_x$ – ширина середньої частини зони подвійного стрижневого блискавковідведення на рівні землі і на висоті об'єкта, що захищається відповідно, м; L – відстань між двома стрижневими блискавковідводами, м.

Якщо захист об'єкта забезпечується найпростішими блискавковідводами (одиначним стрижневим, одиночним тросовим, подвійним стрижневим, подвійним тросовим, замкнутим тросовим).

7.1. Зона захисту одиночного стрижневого блискавковідводу

Стандартною зоною захисту одиночного стрижневого блискавковідводу висотою h є круговий конус висотою $h_0 < h$, вершина якого збігається з вертикальною віссю блискавковідводу (рис. 5). Габарити зони визначаються двома параметрами: висотою конуса h_0 і радіусом конуса лише на рівні землі r_0 .

Наведені нижче розрахункові формули (таблиця 11) застосовуються для блискавковідводів на висоті до 150 м.

Таблиця 11 – Розрахунок зони захисту одиночного стрижневого блискавковідводу

Надійність захисту	Висота блискавка-відведення h , м	Висота конуса h_0 , м	Радіус конуса r_0 , м
0,9	від 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	від 100 до 150	$0,85h$	$[1,2 - 10^{-3}(h - 100)]h$
0,99	від 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	від 30 до 100	$0,8h$	$[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$
	від 100 до 150	$[0,8 - 10^{-3}(h - 100)]h$	$0,7h$
0,999	від 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	від 30 до 100	$[0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h$	$[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$
	від 100 до 150	$[0,65 - 10^{-3}(h - 100)]h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h - 100)]h$

Опираючись на габаритні розміри елементів підстанції, необхідно вибрати висоту блискавковідведення h , а надійність захисту вибрати з власних міркувань 0,99. Отже висота конуса буде дорівнювати $h_0 = 0,8 h$, м, а радіус

конуса дорівнює $r_0 = 0,8 h$, м.

Для зони захисту необхідної надійності (рис. 5) радіус горизонтального перерізу r_x на висоті $h_x = 4$ м визначається за формулою:

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0}, \text{ м}$$

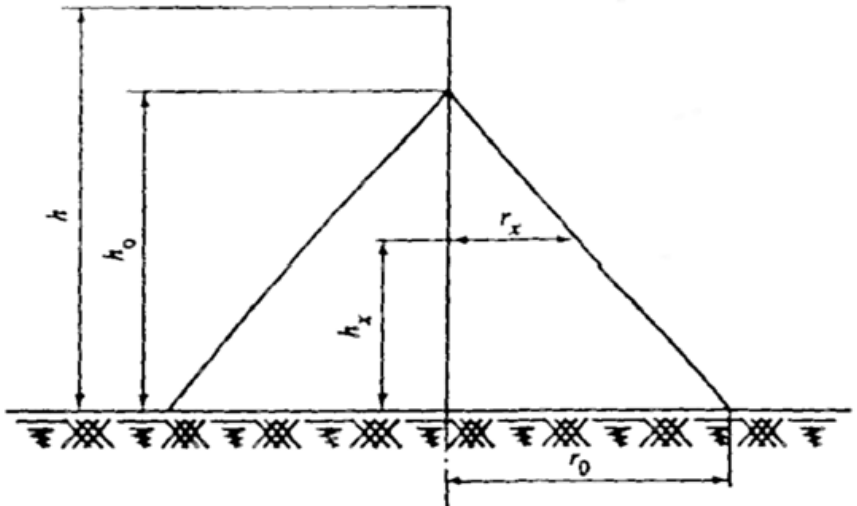


Рисунок 5 – Зона захисту одиночного стрижневого блискавковідводу

8. Конструктивне виконання підстанції

В цьому розділі курсового проекту необхідно дати підсумок і основні висновки своєї роботи, а саме коротко охарактеризувати спроектовану підстанцію, описати особливості процесу розподілу електроенергії, надати характеристику вибраному обладнанню і їх конструктивних особливостей, обґрунтувати, чому саме ці, а не інші технічні рішення прийнято при проектуванні.

9. Правила оформлення

Оформлення текстових документів технічного проекту має відповідати вимогам ДСТУ 3008:2015 «Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання» з урахуванням можливих відхилень від них, пов'язаних зі специфікою проектування в умовах навчального процесу.

Виконання пояснювальної записки – важливий етап оформлення конструкторської документації, у процесі якого здобувачі вищої освіти набувають навичок чіткого, лаконічного та аргументованого викладання в належній послідовності розрахунків електричних станцій і підстанцій, окремих електроустановок тощо.

Пояснювальна записка повинна містити титульну сторінку, зміст із зазначенням розташування розділів в тексті, технічне завдання на проектування, вступ, основний текст і список використаної літератури.

Титульна сторінка виконується стандартним шрифтом за зразком, наведеним (додаток Б). Вона є першою сторінкою пояснювальної записки.

Завдання на проектування вміщує вихідні дані, завдання та обсяг виконуваної роботи. Його розташовують перед змістом.

У змісті подають назви всіх розділів, підрозділів та пунктів пояснювальної записки, вказуючи номери сторінок (сторінка 1 – титульна сторінка, не проставляється), на яких вони розміщені.

Вступ містить відомості про призначення та можливу галузь застосування електроустановки, її конструктивні особливості, мету та завдання проектування.

Основний текст пояснювальної записки має розкривати конкретний зміст роботи та відображати одержані результати.

Наближений перелік питань, які слід розкривати в пояснювальній записці курсового проекту та рекомендована послідовність їх викладення наведені в додатку А).

Висновки мають складатися з оцінки результатів курсового проектування з погляду їх відповідності вимогам завдання на проектування. Вони не повинні носити конотаційний характер («розраховано», «вибрано» і т.п.) інформація кожного пункту висновків повинна бути аналітично-оціночною.

Список використаної літератури має містити всі використані джерела. Всі дані, прийняті з підручників, навчальних посібників, довідників тощо повинні бути підтвердженими посиланнями на відповідне джерело.

9.1 Титульна сторінка пояснювальної записки

Структура-титульної сторінки:

- повна назва міністерства;
- повна назва вищого навчального закладу;
- назва факультету;
- назва кафедри, де виконується проєкт;
- назва документа;
- тема проєкту (відповідно до завдання);
- курс, група, прізвище та ім'я здобувача вищої освіти;
- прізвище та ім'я керівника проєкту;
- дата підписання документа;
- місто та рік виконання проєкту.

Приклад оформлення титульної сторінки пояснювальної записки подано в додатку Б.

9.2 Оформлення пояснювальної записки

Пояснювальну записку оформляють відповідно до вимог державних стандартів (ЄСКД) до текстових документів з одної сторони стандартного аркуша паперу формату А4 (210×297) у відповідності із вимогами ДСТУ 3008:2015. У відповідних графах форми основних написів (рисунки 2, 3) послідовно вказують:

- (1) - назву об'єкту;
- (2) - позначення документа;
- (3) - позначення матеріалу деталі (графу заповнюють тільки на кресленнях деталей);
- (4) - літеру, присвоєну документу (в навчальних проєктах літера «Н»);
- (7) - порядковий номер аркуша;
- (8) - загальне число аркушів (вказується на першому аркуші);
- (9) - коротка назва організації, яка випустила документ (аббревіатура ПДАУ), індекс академічної групи.

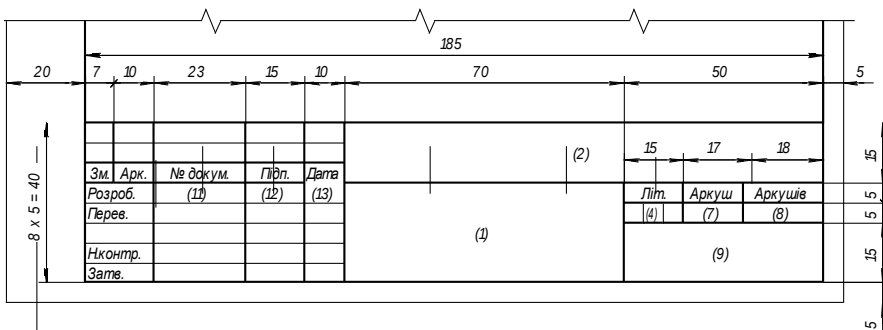


Рисунок 2 – Основний напис першого аркуша текстового документу

Текст записки може бути друкований або написаним від руки синім, фіолетовим чи чорним чорнилами. Закреслення чи виправлення не допускаються.

Відстань від рамки до тексту на початку рядка має бути не менше 5 мм, а у кінці – не менше 3 мм. Відстань до рамки зверху та знизу має бути 10-15 мм.

Текст записки викладається від третьої особи множини або в безособовій формі. Термінологія та визначення, використані в записці, мають бути однозначними та відповідати встановленим стандартам, а за їх відсутності – загальноприйнятим для науково-технічної літератури.

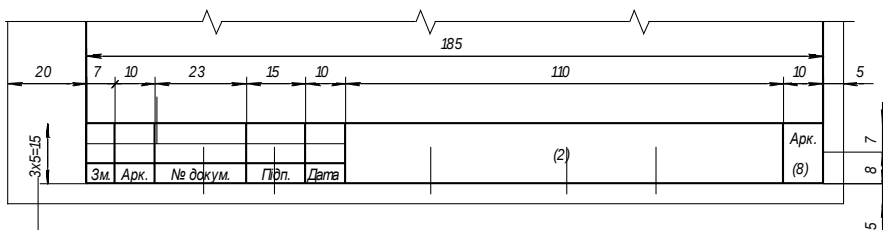


Рисунок 3 – Основний напис наступних аркушів текстового документу

Скорочення слів у тексті, на рисунках та в таблицях за винятком загальноприйнятих в науково-технічній літературі це допускається.

Нумерація таблиць та рисунків в записці має бути наскрізною, нумерація сторінок пояснюваної записки також наскрізна з урахуванням ілюстрацій і таблиць. На титульній сторінці номер не ставлять, але в загальну нумерацію він входить.

9.3 Оформлення розрахунків

Виконуючи розрахунки, слід пояснювати, на основі якого критерію працездатності прийнято рішення, вибрані відповідні величини. Пояснення до розрахунків мають бути лаконічними, але вичерпними.

Умовні літерні та графічні позначення всіх величин у виконанні відповідних розрахункових схем повинні відповідати встановленим стандартам, а у формулах – встановленим стандартом або рекомендаціям, що міститься у технічній літературі.

Всі розрахунки оформляються за визначеним планом. Заголовок відповідного розділу (підрозділу) повинен містити в собі коротку, але достатню інформацію про об'єкт і характер розрахунку.

Всі потрібні для розрахунків формули мають бути представлені спочатку в загальному вигляді в інтерпретації відповідного літературного джерела з прийнятими в останньому розмірностями величин (літерне позначення) з посиланням на джерело. У разі використання класичних, добре відомих формул посилання на джерело необов'язкове. Формули розміщують по середині рядка.

Розшифрування (експлікація) літерних позначень (символів), що входять до формули, має бути наведено безпосередньо після формули із зазначенням розмірностей величин. Значення кожного параметра дають з нового рядка у послідовності, наведеної у формулі. Перший рядок експлікації починається словом «де» без двокрапки після нього. В кожному рядку розшифрування розмірність вказується після коми, що йде за текстовим поясненням, а закінчується кожний рядок (окрім останнього) крапкою з комою. Символи, що повторно наводяться у формулах, не розшифровуються.

Формули нумерують послідовно арабськими цифрами, номер ставиться праворуч від формули на рівні її рядка в круглих дужках.

Допускається нумерація формул в межах розділу із зазначенням номера розділу та через крапку номеру формули, наприклад, (1.2).

У формули підставляють числові значення параметрів у відповідних одиницях величин, але без їх зазначення, після чого – остаточний результат із зазначенням одиниці вимірювання отриманої величини. Проміжні обчислення, скорочення цифр тощо при цьому не допускаються. Кількість підставлених у формулу цифр має суворо відповідати кількості символів у формулі загального виду.

У разі виконання однотипних за методикою розрахунків у записці наводять розрахунок з формулами та докладними поясненнями тільки в першому випадку, для решти ідентичних розрахунків пояснення опускаються і додаються тільки вихідні дані, розрахункові схеми, вибір коефіцієнтів тощо. Якщо таких розрахунків кілька – остаточні розрахунки зводять до таблиці.

Висновки роблять за кожним розрахунком, в окремих випадках – загальний висновок (в разі наявності кількох однотипних розрахунків або розрахунків за кількома варіантами тощо).

9.4 Оформлення ілюстрацій та таблиць

Ілюстрації в записці (ескізи, схеми, графіки, епюри) можна виконувати як за допомогою ПК, так і від руки в довільному масштабі, забезпечуючи чітке уявлення про вузол (деталь) тощо. Всі розміщені в записці ілюстрації, якщо їх більше однієї, підлягають наскрізній нумерації, наприклад, «Рисунок 2 – Ескіз електроустановки». Допускається нумерація рисунків в межах розділу із зазначенням номера розділу та через крапку номера рисунка, наприклад, «Рисунок 1.2 – ...».

Всі ілюстрації в записці повинні мати під рисунком підписи а в разі потреби – розшифрування позицій, тощо. Ілюстрації слід розмішувати по можливості безпосередньо за текстом, із посиланням на них.

У вигляді таблиць, як правило, оформляють цифровий матеріал. Якщо таблиць в записці більше однієї, вони підлягають наскрізній нумерації. Над таблицею із абзацного відступу розміщують напис із заголовком таблиці, що пояснює її суть, наприклад, «Таблиця 1 – Результати розрахунку». Допускається нумерація таблиць в межах розділу із зазначенням номера розділу та через крапку номера таблиці, наприклад, «Таблиця 1.1 ...».

Розміщують таблиці безпосередньо за текстом з посиланням на них. Посилання подають повністю, наприклад: «у таблиці 3» або у разі повторного нагадування «див. таблицю 3».

9.5 Оформлення списку використаних джерел

Джерела літератури у подаються у **списку використаних джерел** згідно з ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» або ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Бібліографічний запис, бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання».

9.6 Загальні вимоги щодо оформлення курсового проєкту

Зброшуровану розрахунково-пояснювальну записку із додатками (специфікаціями) та аркуші креслеників складають для зберігання у папці що повинна мати титульну сторінку курсового проєкту.

Титульну сторінку папки курсового проєкту виконують відповідно Додатку А. Дана форма призначена для оформлення курсового проєкту і фіксування результатів його захисту.

Аркуші креслеників всіх форматів слід складати гармонікою. Аркуші креслеників після складання повинні мати основний напис на лицьовій стороні складеного аркуша.

10. Порядок захисту курсового проєкту

Виконаний і зареєстрований на кафедрі курсовий проєкт (відповідно до розкладу захисту) подається комісії, що призначається кафедрою і складається з викладачів

кафедри, в тому числі й керівника проєкту. Підставою до захисту курсового проєкту є розроблені кресленики та оформлена розрахунково-пояснювальна записка, а також заповнений керівником лист оцінювання (додаток).

Процедура захисту складається з доповіді автора проєкту (до десяти хвилин), запитань з боку комісії по суті роботи і відповідей здобувачів вищої освіти на них.

У доповіді потрібно викласти:

- загальну характеристику електроустановки ;
- відомості про основні розрахунки;
- дані про принципові конструктивні рішення.

11. Критерії та шкала оцінювання курсового проєкту

Оцінювання виконання курсового проєкту здійснюється за 100-бальною системою із подальшим переведенням до національної системи оцінок та шкали ECTS. Загальна кількість умовних балів складається із суми балів, відповідно до листа оцінювання, та балів, що нараховуються комісією при захисті проєкту (додаток В).

11.1 Критерії оцінювання курсового проєкту.

У оцінці виконання курсового проєкту враховується наступне:

- якість оформлення записки, виконання креслеників та їх відповідність до вимог ЄСКД;
- повнота обґрунтування прийнятих рішень;
- розуміння здобувачами вищої освіти будови конструкції, окремих вузлів, їх призначення, принципу роботи;
- ерудиція здобувачів вищої освіти стосовно опрацьованої з даної теми літератури, вміння оперативно користуватись довідковою літературою;
- вміння презентувати виконану роботу;
- точні та вичерпні відповіді здобувачів вищої освіти під час захисту проєкту.

У разі виникнення комісією рішення про незадовільну оцінку (59 і менше балів) повторний захист проєкту не допускається. У такому випадку з дозволу деканату здобувач вищої освіти отримує нове завдання на проєкт або додаткове завдання до нього, що встановлюється кафедрою.

11.2 Формування та дотримання культури академічної доброчесності.

В усіх сферах освітньо-наукової діяльності здобувач вищої освіти має ґрунтуватися на базових цінностях та принципах академічної доброчесності.

Дотримання академічної доброчесності здобувачами вищої освіти передбачає:

- дотримання принципів, цінностей і правил академічної доброчесності в освітній та науковій діяльності;
- ставлення з повагою до усіх учасників освітньо-наукового процесу;
- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;

- самостійне виконання навчального завдання, крім випадків, коли його виконання передбачає участь декількох осіб або правилами виконання відповідних завдань дозволено отримання допомоги від інших осіб, використання допоміжних матеріалів та засобів, мережі Інтернет тощо (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей);

- посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;

- надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової, творчої) діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації. В освітньо-науковій діяльності здобувачів вищої освіти Університету є неприйнятним:

- використовувати в академічному творі частини, сформовані (згенеровані) комп'ютерними програмами, без зазначення цього факту та методики формування (генерування) або відсутності посилання на відповідну комп'ютерну програму чи її опис;

- пропонувати неправомірну вигоду під час оцінювання результатів діяльності та/або створення для окремої особи (групи осіб) переваг чи перешкод, не передбачених умовами та/або процедурами проходження оцінювання;

- порушувати принципи, цінності та правила академічної доброчесності, визначені Кодексом академічної доброчесності ПДАУ, локальними нормативними документами та чинним законодавством у сфері освіти.

За порушення академічної доброчесності до здобувачів вищої освіти Університету можуть бути застосовані такі види санкцій:

- повторне виконання відповідного освітнього компонента освітньої програми; - відкликання з розгляду робіт, автором яких є порушник і підготовка яких була здійснена з порушенням академічної доброчесності;

- проведення додаткової перевірки інших робіт авторства порушника;

- позбавлення порушника права брати участь у конкурсах на отримання іменних стипендій, грантів;

- обмеження участі порушника в наукових дослідженнях, виключення з окремих наукових проєктів тощо;

- позбавлення права брати участь у конкурсах, що їх проводить Університет для добору учасників академічної мобільності;

- позбавлення наданих Університетом пільг з оплати навчання;

- повідомлення суб'єкта, який здійснює фінансування навчання, потенційних роботодавців, батьків здобувача вищої освіти про вчинене правопорушення;

- виключення з рейтингу претендентів на отримання академічної стипендій;

- позбавлення стипендії;

- відрахування з Університету (крім осіб з особливими освітніми потребами).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бахор З. М. Проектування підстанцій електричних мереж : навч. посіб. // З. М. Бахор, А. Я. Яцейко ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2023. 303 с.
2. Буслова Н. В., Янковська О. М. Проектування електричних мереж. Курсовий проект: навч. посіб. для студ. другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійної програми «Електричні системи і мережі». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 39 с.
3. Циганов О. М. Основи електропостачання : конспект лекцій для здобувачів початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. уклад. : О. М. Циганов, В. А. Мардлзявко, А. Ю. Руденко. Миколаїв «МНАУ», 2023. 229 с.
4. Остапчук О. В. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад.: О. В. Остапчук, П. Л. Денисюк, Ю. П. Матеєнко. Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. 183 с.
5. Шевчук С. П. Електричні мережі та системи: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. П. Шевчук, О. В. Мейта. Електронні текстові данні (1 файл: 4,46 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 167 с.
6. Козирський В. В., Волошин С. М. Основи електропостачання: підручник. К.: ЦК «Компринт», 2021. 497с.
7. Давиденко Л. В. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Л. В. Давиденко, Н. В. Коменда, В. А. Давиденко, М. М. Євсюк – Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022. – 244с. – ISBN 978-617-672-247-2.
8. Мазепа С.С. Електрообладнання промислових підприємств : навч. посіб. / С. С. Мазепа, Я. Ю. Марущак, А. С. Куцик. 2-ге вид., стер. Львів : Магнолія, 2024. 258 с.
9. Зайцев М.О., Кучанський В.О., Гунько І.О. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустаткування. Монографія. Друкарня ФОП Гуляєва В.М., 2021.
10. ENTSO-E. Equipment reliability profile specification (Version 2.3). European Network of Transmission System Operators for Electricity, 2024.

11. Energy Group. Український виробник електротехнічного обладнання. Веб-сайт. URL: <https://eg-ltd.com.ua/production/> (дата звернення: 01.09.2025).

12. AMPERIA Веб-сайт. URL: <https://amperia.com.ua/ua/p712548978-transformator-maslyanyj-tmg.html> (дата звернення: 01.09.2025).

13. TEK Веб-сайт. URL: <https://ktek.com.ua/ua/p1577070892-transformator250-400.html> (дата звернення: 01.09.2025). 15. Український склад електрообладнання USEORG Веб-сайт. URL: <https://use.com.ua/ua/g69100864-transformatory-komplektnye-transformatornye> (дата звернення: 01.09.2025).

Допоміжна

1. Давиденко Л.В., Коменда Н.В., Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник. Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.

2. Квітка С.О. Силові електронні пристрої в системах керування: навчальний посібник для здобувачів вищої освіти. Мелітополь: Видавничополіграфічний центр «Люкс», 2021. 180 с.

3. Хілов В.С. Теоретичні основи електротехніки: підручник. Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2021. 433 с.

4. Кирик В.В. Електричні мережі. Підручник [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В. В. Кирик ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Електронні текстові дані (1 файл: 5,84 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. - 281 с.

5. Семенов А.О., Харак Р.М., Арендаренко В.М., Бичков Я.М. Розрахунок втрат електроенергії в розподільчих мережах при електропостачанні з використанням масляних та вакуумних вимикачів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. 2024. № 1 (8). с. 105-110.

6. Кулик В. В. та ін. Типові рішення при проектуванні електричних мереж напругою 110–330 кВ : навчальний посібник / В. В. Кулик, В. В. Тептя, О. Б. Бурикін, О. В. Сікорська. Вінниця : ВНТУ, 2018. 110 с.

7. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ: Мінрегіон України, 2016. 148 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра механічної та електричної інженерії

ЗАВДАННЯ

на курсовий проєкт з навчальної дисципліни:
«Електричні станції і підстанції»

здобувачеві вищої освіти 3 курсу G3E1Бд групи, освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Куш Дмитро Данилович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема Розрахунок електричної частини одностансформаторної понижувальної підстанції для промислового підприємства з напругою XX/XX кВ з потужністю знижувального трансформатора XX кВА.

Початкові дані: напруга XX/XX кВ, потужність знижувального трансформатора XX кВА, навантаження 75%.

2. Термін здачі проєкту на кафедрі не пізніше ніж «___» _____ 2024 р.

3. Перелік питань, що підлягають опрацюванню:

3.1 Детальний опис трансформатора.

3.2 Розробка функціональної схеми.

3.3 Розрахунок струмів короткого замикання.

3.4 Вибір реакторів та струмопроводів.

3.5 Вибір і перевірка електричних апаратів високої напруги.

3.6 Вибір роз'єднувачів, відокремлювачів, короткозамикачів.

3.7 Вибір розрядників та обмежувачів перенапруги.

3.8 Вибір ізоляторів.

3.9 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

3.10 Розробка графічної частини: електрична схема підстанції (А4); вид збоку чи вид згорі з розміщенням вибраного обладнання (А4).

Дата видачі завдання «___» _____ 2025 р.

Керівник курсового проєкту _____ Ярослав БИЧКОВ
(підпис) (власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання _____ Дмитро КУШ
(підпис здобувача вищої освіти) (власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Полтавський державний аграрний університет

Кафедра механічної та електричної інженерії

Курсовий проєкт

«Електричні станції та підстанції»

на тему «Розрахунок електричної частини однострансформаторної
понижувальної підстанції для промислового підприємства з напругою
XX/XX кВ з потужністю знижувального трансформатора XX кВА».

Виконав

здобувач вищої освіти Куц Д. Д.

освітній ступінь бакалавр

3 курсу, 1 групи

освітньо-професійної програми

«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

факультету інженерно-технологічного

денної форми навчання

Науковий керівник Бичков Я. М.

Полтава 2025

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут / факультет _____

Форма навчання _____

Спеціальність _____

Курс, група _____

Освітня програма _____

Л И С Т О Ц І Н Ю В А Н Н Я
курсової роботи (проскту)« _____ »
(назва)

здобувача вищої освіти _____

на тему _____

Обсяг курсової роботи (проскту) _____

Кількість використаних джерел _____

Загальна оцінка роботи (необхідне підкреслити, у разі потреби – доповнити): *актуальність теми розкрита – фрагментарно; на середньому рівні; у повному обсязі; ступінь втілення мети та виконання завдань дослідження – низький; середній; високий; повнота розкриття теми роботи у змісті – фрагментарно; на середньому рівні; у повному обсязі*

Загальна оцінка змісту та якості оформлення роботи (проскту) (потрібне підкреслити, у разі потреби – доповнити): *теоретичний розділ містить кількість критичних оцінок – недостатню, достатню; аналітичний розділ містить ознаки практичного дослідження: фрагментарно; на середньому рівні; у повному обсязі; проєктний розділ містить конкретні пропозиції та наукові розробки: фрагментарно; на середньому рівні; у повному обсязі; додатки пов'язані з матеріалом роботи: фрагментарно; на середньому рівні, у повному обсязі; висновки за результатами досліджень мають обґрунтування: недостатнє, відносно достатнє, достатнє; пропозиції мають характер – декларативний, певною мірою практичний, практичний*

Рівень оригінальності тексту (потрібне підкреслити): *високий, достатній, умовний, низький*

Результати оцінювання курсової роботи (проскту)

Критерії оцінювання курсової роботи (проскту)*	Макс. к-сть балів	Отримані бали
1. Оцінка змісту курсової роботи		
1. Обґрунтування актуальності обраної теми роботи, формулювання мети, завдання, об'єкта та предмета дослідження	5	
2. Відповідність змісту курсової роботи (проскту) темі та затвердженому плану	5	
3. Ступінь розкриття теоретичних аспектів проблеми, обраної для дослідження, та глибина і якість аналізу теоретичного матеріалу (наявність критичних узагальнень різних підходів до постановки та розв'язання проблеми відповідно до теми курсової роботи (проскту), коректність використання понятійного апарату, посилання, цитування)	10	
4. Якість практичного дослідження та його детальний аналіз з використанням наукових методів (аналітичних, статистичних, методів моделювання тощо) та новітніх інформаційних джерел	10	
5. Науковий підхід до виявлення проблем та обґрунтованість шляхів удосконалення та практична значущість висновків і пропозицій відповідно до досліджуваної теми	10	
6. Інші характеристики	9	
Разом	49	
2. Оцінка якості оформлення курсової роботи		
1. Ілюстративність роботи (наявність і відповідність таблиць, графіків, схем і списку використаних джерел чинним стандартам)	5	
2. Відповідність оформлення курсової роботи (проскту) встановленим вимогам і дотримання графіка виконання	5	
Разом	10	
3. Загальна кількість балів за виконання курсової роботи (до захисту)	59	

Висновки (потрібне підкреслити):

- рекомендувати до захисту без доопрацювання; _____

- рекомендувати до захисту за умови доопрацювання _____

- не рекомендовано до захисту, потрібно значно доопрацювати _____

Роботу перевірів _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада, П.І. викладача кафедри, що перевіряв курсову роботу (проскту))

« _____ » _____ 202_ р.

(підпис)