

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Проект трансформаторної підстанції для
ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ"

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

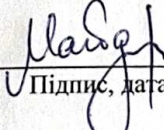
Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
4 курсу група ЕМ-21-1


Підпис


М.О. Каленюк
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

к.т.н., доц. П.С. Майдан
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

к.т.н., ст. викл. С.І. Пундик
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

к.т.н., доц. В.С. Неймак
Ініціали, прізвище

2 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

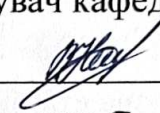
Шифр і назва

Спеціалізація _____

Освітня програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


2.06.2025

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Каленюк Максим Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Проект трансформаторної підстанції для ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ"

керівник роботи Майдан Павло Сергійович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи енергетичні характеристики силового обладнання та мережі

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічних та технологічних рішень. 2. Розробка проекту електричної підстанції для ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ". 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність трансформаторної підстанції для ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ". Загальні висновки. Перелік джерел посилань. Додатки

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

1. Обладнання ПС 110/10 кВ (ДО, А1). 2. Обладнання ПС 110/10 кВ (ДО, А1).

3 План-розріз ПС 110/10 кВ (ГК, А1). 4. Розрахункова та заступна схеми струмів КЗ (РР, А1). 5. Однолінійна схема ПС 110/10 кВ (ЕЗ, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

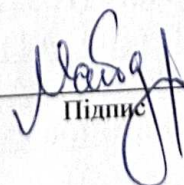
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз технічних та технологічних рішень		
2. Розробка проекту електричної підстанції для ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ"		
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність проекту трансформаторної підстанції для ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ"		
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

Студент


Підпис

М.О. Каленюк
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

П.С. Майдан
Ініціали, прізвище

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Енергетичний менеджмент

АНОТАЦІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Каленюк Максим Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

Тема роботи Проект трансформаторної підстанції для ПП
"ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ"

1. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____

2. Обсяг бакалаврської роботи: креслень 5 арк, сторінок записки 69

3. Характеристика розділів пояснювальної записки:

В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень. Було проведено дослідження та зіставлення характеристик основного обладнання підстанції для визначення доцільних варіантів вибору силових трансформаторів, комутаційної апаратури та засобів обліку та вимірювання електричної енергії. В другому розділі виконано розробку проекту електричної підстанції для ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ". На основі аналізу навантажувальних характеристик, розроблено графіки добового та річного навантаження. Виконано аналітичні розрахунки характеристик та підібрано необхідне силове обладнання для трансформаторної підстанції. В третьому розділі виконано необхідні розрахунки для підтвердження працездатності підстанції. Виконано розрахункову та заступну схему струмів короткого замикання, проведено перевірку на стійкість обраних струмопроводів, електричних апаратів, ізоляторів, обладнання для обліку та вимірювання електроенергії та власних потреб підстанції з урахуванням параметрів аварійного режиму обраного обладнання.

Підпис студента Максим Каленюк

" 2 " 06 2025 р.

РІШЕННЯ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ:

Протокол 1 від 12 06 2025 р.

Оцінка роботи ЕК 5,0/A


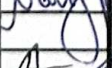
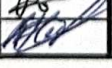

Рекомендації ЕК впровадження у виробництво

Особливі відмітки _____

Технічний секретар Антон Буряк
Підпис Антон Буряк
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

" 12 " 06 2025 р.

ЗМІСТ	с.
ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ.....	8
1.1 Аналіз та порівняння силових трансформаторів для підстанції.....	8
1.2 Аналіз та порівняння електричної апаратури та ізоляторів на підстанції (вимикачі, роз'єднувачі, розрядники).....	9
1.3 Аналіз та порівняння засобів обліку електроенергії та вимірювання на підстанції.....	14
Висновки до першого розділу.....	21
2 РОЗРОБКА ПРОЄКТУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПІДСТАНЦІЇ ДЛЯ ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ".....	23
2.1 Побудова графіків навантаження для проєктованої підстанції.....	23
2.2 Вибір силового трансформаторів підстанції для підприємства ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ".....	25
2.3 Вибір електричної апаратури та ізоляторів підстанції для підприємства ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ".....	25
2.4 Вибір струмопроводів на підстанції для підприємства ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ".....	27
2.5 Вибір засобів обліку, вимірювання та трансформаторів власних потреб для підприємства ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ".....	28
Висновки до другого розділу.....	31
3. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРОЄКТУ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ ДЛЯ ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ".....	32
3.1 Розрахунок електричних навантажень на підстанції.....	32
3.2 Розрахунок кількості та потужності силових трансформаторів.....	35
3.3 Розрахунок струмів короткого замикання.....	36

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Каленюк М.О.			Проект трансформаторної підстанції для ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ"	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Майдан П.С.					4	69
Реценз.						ХНУ, гр. ЕМ-21-1		
Н. Контр.		Пундик С.І.						
Затверд.		Неймак В.С.						

3.4 Розрахунок струмопроводів.....	42
3.5 Розрахунок і перевірка електричних апаратів високої напруги.....	45
3.6 Розрахунок ізоляторів на підстанції.....	47
3.7 Облік електроенергії та вимірювання на підстанції.....	48
3.8 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб.....	52
3.9 Розрахунок максимального струмового захисту РП 10 кВ для трансформаторної підстанції ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ".....	54
3.10 Компоновка та конструктивне виконання підстанції.....	58
Висновки до третього розділу.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	62
ДОДАТКИ	64

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змі.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Електроенергетика є однією з базових складових інфраструктури сучасного світу, адже вона забезпечує стабільне функціонування економіки та життєдіяльності населення. З урахуванням постійного зростання споживання електроенергії та зростаючих вимог до надійності її постачання, зростає значення ефективного проектування та експлуатації електричних підстанцій.

Підстанції з напругою 110/10 кВ виконують роль ключових елементів у системі електропостачання, оскільки вони трансформують електроенергію з високої напруги 110 кВ, що надходить від магістральних мереж, у середню напругу 10 кВ для подальшого розподілу до кінцевих користувачів. Завдяки цьому забезпечується безперебійне живлення міських районів, промислових об'єктів, а також критично важливих установ - лікарень, транспортних вузлів і стратегічних підприємств.

Сьогодні проектування електричної частини підстанцій вимагає не лише забезпечення високої надійності та ефективності, але й врахування аспектів автоматизації, взаємодії з системами моніторингу й керування, а також дотримання екологічних і техногенних стандартів. Підвищення ефективності енергосистем досягається через застосування сучасних технологій у галузі трансформаторного обладнання, автоматизованих систем захисту та керування, а також цифрових рішень. Це особливо важливо в умовах переходу до інтелектуальних енергетичних систем (smart grids), які дозволяють зменшити втрати електроенергії, швидше реагувати на аварійні ситуації та оптимізувати роботу всієї мережі.

Основна мета цієї бакалаврської роботи - розробити проєкт електричної підстанції 110/10 кВ для ПП "ІЗЯСЛАВМОЛПРОКУКТ" відповідно до сучасних стандартів, з урахуванням вимог до ефективності, надійності та безпеки енергопостачання. У межах роботи буде проведено обґрунтування вибору основного електрообладнання, створено однолінійну схему первинних з'єднань із зазначенням типів пристроїв, рівнів напруги, схем з'єднання, приладів обліку й контролю, а також побудовано план-розріз підстанції з відображенням основних монтажних розмірів та специфікації обладнання.

Актуальність обраної теми зумовлена потребою оновлення наявних енергетичних систем, підвищенням їх стійкості та продуктивності, а також необхідністю впровадження сучасних підходів до автоматизації та цифрової трансформації об'єктів енергетики.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1 Аналіз та порівняння силових трансформаторів для підстанції

Силові трансформатори з параметрами 16000/110 кВ є важливою роллю у структурі систем електропостачання, виконуючи функцію надійного перетворення електроенергії між різними рівнями напруги. Вибір певної моделі трансформатора базується на аналізі його технічних параметрів, вартості, умов експлуатації та ефективності.

У цьому розділі проведено порівняльний аналіз основних характеристик трансформаторів 16000/110 кВ різних типів та модифікацій.

Трансформатор ТДН 16000 кВА 110/11 кВ (ТДН-16000/110/11) характеристики [1]:

- потужність: 16000 кВА;
- напруга первинної обмотки ВН: 115 кВ;
- напруга вторинної обмотки НН: 11 кВ;
- номінальна частота: 50 Гц;
- втрати холостого ходу: 13 кВт;
- втрати короткого замикання: 79.5 кВт;
- струм холостого ходу: 0,002%;
- напруга короткого замикання: 10.5%;
- регулювання напруги ПБВ: $\pm 9 \times 1,78\%$;
- схема і група з'єднання обмоток: Ун/Д-11;
- габарити: 5000x3600x4820;
- повна маса: 32300 кг;
- маса масла: 8150 кг;
- транспортна маса: 27250 кг;
- регулювання напруги РПН: Так.

Другим трансформатором на розгляд було взято трансформатор ТДТН 16000 кВА [2]:

- потужність: 16000 кВА;
- номінальна частота: 50 Гц;
- напруга первинної обмотки ВН: 115 кВ;
- напруга вторинної обмотки НН: 11 кВ;
- втрати холостого ходу: 14 кВт;
- напруга короткого замикання: 10.5%;
- струм холостого ходу: 0,002%;
- втрати короткого замикання: 100 кВт;
- повна маса: 38500 кг;
- транспортна маса: 33100 кг;
- маса масла: 12500 кг;
- регулювання напруги ПБВ: $\pm 9 \times 1,78\%$;
- регулювання напруги РПН: Так;
- схема і група з'єднання обмоток: У_н/У_н/Д-0-11;
- габарити: 5850x3790x5025.

За результатами порівняння буде визначено найбільш доцільний варіант трансформатора з огляду на технічну ефективність, економічну вигідність та відповідність перспективам розвитку енергетичної інфраструктури.

1.2 Аналіз та порівняння електричної апаратури та ізоляторів на підстанції (вимикачі, роз'єднувачі, розрядники)

Обладнання, яке встановлюється на підстанціях потрібне для забезпечення стабільності, безпеки та ефективності функціонування всієї енергосистеми. Серед основних апаратів, що використовуються для комутаційних операцій, захисту і керування мережею, можна виокремити: вимикачі, роз'єднувачі та пристрої захисту від перенапруг.

Аналіз основних характеристик [17]:

Вимикачі - це апарати, призначені для вмикання та вимикання електричних ланцюгів під навантаженням. Вони здатні самостійно розривати коло в разі виникнення аварій, функціонуючи як у звичайному режимі, так і при короткочасних перевантаженнях. Основні типи:

- масляні - використовуються переважно на застарілих підстанціях, потребують частого технічного обслуговування та мають значні габарити;
- повітряні - не надто поширені через великі втрати енергії при гасінні електричної дуги;
- елегазові (SF_6) - характеризуються компактними розмірами, високою здатністю до комутації та мінімальними експлуатаційними витратами;
- вакуумні - найкраще підходять для мереж середньої напруги, мають тривалий ресурс роботи та невисокі витрати на обслуговування.

Роз'єднувачі - це пристрої, що дозволяють створити видимий розрив у колі з метою безпечного обслуговування обладнання або зміни схеми підключення. Вони функціонують лише при відсутності навантаження. Їх поділяють на [17]:

- лінійні - монтуються у відкритих розподільчих пристроях (ВРП);
- секційні - використовуються для розділення електричних кіл на секції;
- земляні ножі - забезпечують безпечне заземлення відключених ділянок мережі.

Розрядники - захисне обладнання, призначене для обмеження імпульсних перенапруг, які можуть бути спричинені грозовими розрядами чи комутаційними процесами. Типи [17]:

- класичні трубчасті розрядники - застосовуються на старих підстанціях, мають обмежену ефективність;
- оксидно-цинкові (безіскрові) - сучасні розрядники, що відзначаються високою швидкодією, стійкістю до багаторазових спрацювань та низьким вимогам до обслуговування.

Ізолятори виконують функцію електричного розділення та механічної підтримки провідних частин від конструкцій, що заземлені. На підстанціях класу

напруги 10 кВ застосовуються різні види ізоляторів, які різняться за формою, матеріалами виготовлення та технічними характеристиками.

Види ізоляторів, які використовуються на підстанціях напругою 10 кВ [17]:

- Штиреві - кріпляться безпосередньо до опорних конструкцій та підтримують струмопровідні шини або дроти.

- Підвісні - використовуються переважно у лініях електропередач, але можуть встановлюватись і на відкритих розподільчих пристроях (ВРП) підстанції.

- Прохідні - призначені для введення струмопровідних частин в обладнання (наприклад, у трансформатори або комутаційні апарати).

- Опорні - забезпечують ізоляцію та механічну підтримку струмоведучих частин у відкритих та закритих розподільчих пристроях.

Матеріали виготовлення ізоляторів [17]:

1. Фарфорові (керамічні):

- відзначаються високою механічною міцністю;
- мають добру стійкість до температурних перепадів і ультрафіолетового випромінювання.

Недоліки: велика маса, крихкість при механічних ударах, схильність до пошкоджень при накопиченні забруднень.

2. Скляні:

- відрізняються високою електричною міцністю;
- при руйнуванні фрагменти залишаються безпечними завдяки гартованій структурі скла;

- менш стійкі до механічних впливів порівняно з композитними.

3. Полімерні (композитні):

- легкі, стійкі до забруднень і агресивного середовища (особливо актуально для промислових регіонів);

- мають високу гідрофобність, що знижує ймовірність протікання струму по поверхні при високій вологості.

- Недоліки: з часом матеріал може старіти під впливом ультрафіолету та забруднень, вимагає контролю стану.

Порівняння та аналіз оптимального обладнання [17].

Під час аналізу вимикачів, роз'єднувачів і розрядників враховувалися технічні параметри, умови експлуатації, надійність та економічна доцільність.

Аналіз показав, що:

- елегазові вимикачі мають найкращі характеристики для високовольтних пі-
дстанцій завдяки високій комутаційній здатності та низьким втратам.

- вакуумні вимикачі є кращими для середньої напруги через їхню довговіч-
ність та екологічність.

- оксидно-цинкові розрядники найбільш ефективні для обмеження перенап-
руг, викликаних зовнішніми або внутрішніми впливами.

Вибір вимикачів на напругу 110 та 10 кВ.

Таблиця 1.1 - Елегазові вимикачі 110 кВ [3,4]

Тип елегазового вимикача	GL312	120-SFM-32B
Ном. робоча напруга, кВ	110	110
Макс. робоча напруга, кВ	145	145
Ном. струм, А	до 3150	до 3150
Ном. струм відключення, кА	40	40
Ном. струм динамічної стійко- сті, кА	100	100
Ном. струм термічної стійко- сті, кА	40	40

Таблиця 1.2 - Вакуумні вимикачі 10 кВ [5]

Тип елегазового вимикача	ВРС-10	ВРЗ
Ном. струм, А	630-4000	2000-3150
Ном. напруга, кВ	6; 10	6; 10
Ном. струм динамічної стійкості, кА	52; 63; 80; 102	80; 102
Ном. струм вимкнення, кА	20; 25; 31.5; 40	31.5; 40
Комутаційний ресурс, циклів УВ про ном. струмах вимкнення	100; 50; 40	50
Комутаційний ресурс, циклів УВ про ном. струмах	50000; 30000	30000

Порівняння роз'єднувачів РНДЗ-2-110/1000УХЛ1 та РГ-110/1000УХЛ1 [6].

Роз'єднувач РНДЗ-2-110/1000УХЛ1 має наступні характеристики:

- найбільша робоча напруга: 126 кВ;
- номінальна напруга: 110 кВ;
- час протікання струму термічної стійкості для головних ножів: 3 сек;
- час протікання струму термічної стійкості для ножів, що заземлюють: 1 сек;
- номінальний струм: 1000 А;
- струм електродинамічної стійкості: 40 кА;
- струм термічної стійкості: 16 кА.

Роз'єднувач РГ-110/1000УХЛ1 має наступні характеристики:

- номінальна напруга: 110 кВ;
- струм електродинамічної стійкості: 80 кА;
- струм термічної стійкості: 31,5 кА;
- номінальний струм: 1000 А;
- найбільша робоча напруга: 126 кВ;
- час протікання струму термічної стійкості для ножів, що заземлюють: 1 сек;
- час протікання струму термічної стійкості для головних ножів: 3 сек.

Проведемо огляд та порівняємо розрядники на напругу 110 та 10 кВ.

Таблиця 1.3 - Вибір розрядника для нейтралі силового трансформатора [7]

Показник	ОПН-П-110/56/10/550 УХЛ1	ОПН-П-110/73/10/400 УХЛ1
Найбільша робоча напруга мережі, кВ	126	126
Ном. напруга мережі, кВ	110	110
Пропускна спроможність обмежувача, А	550	400
Номінальна напруга обмежувача, кВ	70	96
Найбільш тривало допустима робоча напруга, кВ	56	73

Аналіз показав, що для підстанцій 10 кВ, розташованих у звичайних кліматичних умовах, ефективним рішенням залишаються фарфорові або скляні ізолятори завдяки перевірній надійності та довговічності. Проте в умовах підвищеного за-

бруднення або агресивного середовища доцільно використовувати полімерні ізолятори, які забезпечують більшу стійкість до впливу зовнішніх факторів та знижують витрати на обслуговування. Вибір типу ізолятора має здійснюватися з урахуванням конкретних умов експлуатації підстанції, а також економічної доцільності впровадження сучасних матеріалів та технологій.

Таблиця 1.4 - Вибір ізолятора на напругу 10 кВ [7]

Тип ізолятора	Номинальна напруга, кВ	Випробовувальна напруга грозового імпульса, кВ	Мінімальна механічна руйнівна сила на згин, кН	Маса, кг
ІО-10-3,75 УЗ	10	80	3,75	1,35
ІО-10-3,75 І УЗ	10	80	3,75	1,4
ІО-10-3,75 ІІ УЗ	10	80	3,75	1,4

На основі отриманих результатів буде обґрунтовано вибір оптимальної електричної апаратури для забезпечення стабільної та безпечної роботи підстанції.

1.3 Аналіз та порівняння засобів обліку електроенергії та вимірювання на підстанції

Вимірювальні трансформатори струму та напруги - це частина енергосистеми, оскільки вони забезпечують точне вимірювання параметрів електричної мережі та сприяють стабільній роботі пристроїв релейного захисту й автоматики.

Вимірювальні трансформатори струму [17].

Трансформатори струму (ТС) служать для перетворення первинного струму до допустимого рівня, який є безпечним для засобів вимірювання та релейного захисту. Основні характеристики, що визначають їх ефективність [17]:

- тип ізоляції (масляні, сухі, газонаповнені);
- клас точності (0.2S, 0.5, 10P тощо);
- номінальний первинний та вторинний струм (наприклад, 1000/5 А);
- коефіцієнт безпеки (для запобігання перенапруженню вимірювальних приладів);

- конструкція (опорні, прохідні, вбудовані).

Основні типи ТС [17]:

- оптичні (електронні) - забезпечують високу точність і можливість цифрової інтеграції, що актуально для сучасних інтелектуальних підстанцій.

- електромагнітні - класичні трансформатори, що використовуються для більшості систем електропостачання;

Вимірювальні трансформатори напруги [17].

Трансформатори напруги (ТН) в свою чергу, знижують напругу до рівня, придатного для подальшого аналізу або контролю в колах релейного захисту. Основні параметри:

- максимально допустима тривала робоча напруга;

- тип ізоляції (електромагнітні, ємнісні, газові).

- номінальна первинна та вторинна напруга (наприклад, 110000/100 В);

- клас точності (0.2, 0.5, 3Р тощо);

Основні типи ТН [17]:

- Оптичні - перспективні для цифрових підстанцій завдяки високій точності та швидкодії.

- Електромагнітні - використовуються у стандартних системах енергопостачання.

- Ємнісні - застосовуються для високих напруг і забезпечують можливість дистанційного вимірювання.

Трансформатори власних потреб підстанції [18].

Трансформатори власних потреб (ТВП) забезпечують живленням допоміжні системи підстанції - до них належать пристрої автоматики, контролю, релейного захисту, а також освітлення та інші важливі елементи. Надійність та безперебійність роботи ТВП безпосередньо впливає на працездатність усього енергетичного об'єкта.

Основні вимоги до трансформаторів власних потреб [18]:

- висока надійність і безперервність роботи;

- захист від коротких замикань та перевантажень;
- забезпечення належної якості електроенергії на стороні низької напруги (стабільність напруги, мінімальні втрати потужності);
- відповідність нормам енергоефективності.
- компактні габарити, простота монтажу та обслуговування;

Основні типи трансформаторів власних потреб [18]:

1. Масляні трансформатори власних потреб використовують рідинне (масляне) охолодження.

Переваги: висока надійність, краща пожежна безпека при використанні спеціальних вогнестійких мастил, здатність працювати в умовах зовнішнього монтажу.

Недоліки: необхідність у регулярному контролі якості масла, більші витрати на обслуговування, ризик витоку масла.

2. Сухі трансформатори власних потреб використовують повітряне охолодження без рідких ізоляційних середовищ.

Переваги: підвищена пожежна безпека, екологічність, мінімальні вимоги до технічного обслуговування, можливість розміщення всередині приміщень без спеціальних заходів безпеки.

Недоліки: чутливість до запиленості та вологості, обмежена потужність у порівнянні з масляними аналогами.

Порівняння та вибір оптимального типу.

Для вибору оптимального вимірювального трансформатора слід враховувати такі фактори:

- Клас точності - для комерційного обліку використовують трансформатори з високою точністю (0.2S, 0.5S).

- Сфера застосування - для релейного захисту важливою є динамічна стійкість трансформаторів струму.

- Технологічна перспективність - оптичні трансформатори більш адаптовані до цифрових систем керування та моніторингу.

- Рівень напруги - на підстанціях 110 кВ і вище доцільне використання ємнісних або газонаповнених трансформаторів напруги.

Порівняння технічних характеристик трансформаторів напруги НКФ-110-83 У1 та НКФ-110-57У1 [7].

Технічні характеристики трансформатора напруги НКФ-110-83 У1:

- номінальна напруга первинної обмотки, кВ: $110/\sqrt{3}$;
- номінальна напруга основної вторинної обмотки, В: $100/\sqrt{3}$;
- номінальна напруга додаткової вторинної обмотки, В: 100;
- номінальна частота, Гц: 50;
- габаритні розміри висота/діаметр, мм: 2165/700;
- номінальна потужність, ВА, в класах точності: 0,5: 400;
- гранична потужність, ВА: 2500;
- маса трансформатора без масла (транспортна), кг: 780;
- маса масла (елегаза), кг: 160.

Технічні характеристики трансформатора напруги НКФ-110-57 У1:

- номінальна напруга основної вторинної обмотки, В: $100/\sqrt{3}$;
- номінальна напруга первинної обмотки, кВ: $110/\sqrt{3}$;
- номінальна частота, Гц: 50;
- номінальна напруга додаткової вторинної обмотки, В: 100;
- габаритні розміри висота/діаметр, мм: 3300/1040;
- маса трансформатора без масла (транспортна), кг: 640;
- маса масла (елегаза), кг: 160;
- номінальна потужність, ВА, в класах точності: 0,5: 400;
- гранична потужність, ВА: 2000.

Далі проведемо порівняння технічних характеристик трансформаторів струму ТФЗМ-110 Б-IV.3 (ТФЗМ-123 III-V) та ТФЗМ-110 Б-I (ТФЗМ-123 II-I) [8].

Таблиця 1.5 - Трансформатор струму ТФЗМ-110 Б-IV.3 (ТФЗМ-123 III-V) [8]:

Назва параметра	Величина
Значення номінальної напруги, кВ	110
Значення найбільшої робочої напруги, кВ	123
Значення номінального первинного струму, А	50-100, 75-150, 100-200, 150-300, 200-400, 300-600, 400-800, 500-1000, 600-1200, 750-1500
Значення номінального вторинного струму, А	5 або 1
Значення номінального навантаження вторинних обмоток, ВА для захисту, при роботі в класі точності 10Р	30
для вимірювань, при роботі в класі точності 0,5	30
Кількість вторинних обмоток, шт	5
- для вимірювань	2
- для захисту	3
Значення струму електродинамічної стійкості, кА	10-20; 15-30; 21-42; 30-60; 42-84; 60-120; 60-120; 50-106; 84-120; 84-150
Значення струму термічної стійкості, кА	2-4; 3-6; 4-8; 6-12; 8-16; 13-26; 14-28; 17-34; 20-40; 26-45
Час протікання струму короткого замикання, с	3
Значення частоти змінного струму, Гц	50, 60
Значення відношення довжини шляху витoku зовнішньої ізоляції до найбільшої робочої напруги, см/кВ	2,5
Значення номінальної граничної кратності вторинних обмоток для захисту	20
Значення випробувальної напруги грозового імпульсу внутрішньої та зовнішньої ізоляції, кВ	
- повний імпульс	550
- зрізаний імпульс	635
Значення однохвилинної випробувальної напруги електричної міцності ізоляції, кВ	230
Маса, кг	
- трансформатора	580
- масла	153

Таблиця 1.6 - Трансформатор струму ТФЗМ-110 Б-І (ТФЗМ-123 II-I) [8]:

Назва параметра	Величина
1	2
Значення номінального первинного струму, А	50-100, 75-150, 100-200, 150-300, 200-400, 300-600, 400-800
Значення номінального вторинного струму, А	5
Значення найбільшої робочої напруги, кВ	123
Значення номінальної напруги, кВ	110

Продовження таблиці 1.6	
1	2
Кількість вторинних обмоток, шт	5
- для вимірювань	1
- для захисту	2
Значення номінального навантаження вторинних обмоток, ВА	
для захисту, при роботі в класі точності 10Р	30
для вимірювань, при роботі в класі точності 0,5	30
Значення струму термічної стійкості, кА	2-4; 3-6; 4-8; 6-12; 8-16; 13-26; 14-28
Значення струму електродинамічної стійкості, кА	10-20; 15-30; 21-42; 31-62; 42-84; 63-126; 62-124
Час протікання струму короткого замикання, с	3
Значення частоти змінного струму, Гц	50, 60
Значення номінальної граничної кратності вторинних обмоток для захисту	20
Значення відношення довжини шляху витoku зовнішньої ізоляції до найбільшої робочої напруги, см/кВ	2,25
Маса, кг	
- трансформатора	580
- масла	153

Також потрібно провести порівняння технічних характеристик трансформаторів струму на напругу 10кВ, ТОЛ-10-І-7 та ТПЛ-10-М [8].

Таблиця 1.7 - Порівняння трансформаторів струму ТОЛ-10-І-7 та ТПЛ-10-М

Параметр	Прилад	
	ТОЛ-10-І-7	ТПЛ-10-М
1	2	3
Розмір номінальної напруги, кВ	10	10
Величина найбільшої робочої напруги, кВ	12	12
Величина номінального первинного струму, А	600	600
Розмір номінального вторинного струму, А	5	1 або 5
Розмір номінальної частоти змінного струму, Гц	50	50
Кількість вторинних обмоток, прим.	3	2
Величина номінальної граничної кратності вторинної обмотки для захисту не менше	10	10

Продовження таблиці 1.7		
1	2	3
Значення класів точності вторинних обмоток: - для вимірів - для захисту	0,2S; 0,2; 0,5S; 0,5; 1 5P; 10P	0,2S; 0,2; 0,5S; 0,5; 1 5P; 10P
Значення кратності струму електродинамічної стійкості, при номінальному первинному струмі, А: 400 - 2000	40	45
Значення кратності струму електродинамічної стійкості, при номінальному первинному струмі, А: 1200 - 2000	102	112

Далі було проведено техніко-порівняльний аналіз трансформаторів напруги на номінальну напругу 10 кВ, таких як НОМ-10-66 та ЗНОЛ-06-10.

Таблиця 1.8 - Порівняння трансформаторів напруги НОМ-10-66 та ЗНОЛ-06-10 [8]

Параметр	Прилад	
	НОМ-10-66	ЗНОЛ-06-10
Значення найбільшої робочої напруги, кВ	12	12
Значення номінальної первинної напруги, кВ	10; 10,5; 11	10; 10,5; 11
Значення номінальної напруги вторинної обмотки, В	100	100
Значення граничної потужності, ВА	630	630
Схема та група з'єднань обмоток	Y/Yn-0	1/1/1-0-0
Значення номінальної потужності вторинної обмотки під час роботи у класі точності, ВА: - 0,2 - 0,5	75	50 75
Значення номінальної потужності додаткової вторинної обмотки під час роботи у класі точності 3, ВА	-	300

Зробимо порівняння технічних характеристик трансформаторів власних потреб, ТМГ-40/10 У1 та ТСЗ-40.

Таблиця 1.9 - Порівняння трансформаторів власних потреб ТМГ-40/10 У1 та ТСЗ-40/10 У1 [7]

Тип трансформатора	Потужність трансформатора, кВА	Ном. найвища напруга, кВ	Ном. найнижча напруга, кВ	Напруга к.з., %	Струм х.х., %	Маса, кг
ТМГ-40/10	40	6,10,20	0,4	5	3	350
ТСЗ-40	40	6,10,35	0,4	4,5	4	280

Результати аналізу дозволять аргументовано підійти до вибору оптимального типу вимірювальних трансформаторів для конкретної підстанції з урахуванням технічних характеристик, економічної ефективності та умов експлуатації.

Висновки до першого розділу

У результаті проведеного дослідження та зіставлення характеристик основного обладнання підстанції було визначено доцільні варіанти вибору силових трансформаторів, комутаційної апаратури, пристроїв захисту від перенапруг, а також засобів обліку й вимірювання електричної енергії. Зокрема, було розглянуто технічні параметри трансформаторів типу 16000/110, оцінено їх навантажувальні характеристики, режими функціонування та економічну ефективність.

Під час аналізу електроапаратури встановлено, що для надійної комутації електричних кіл на рівнях 110 та 10 кВ доцільним є застосування сучасних вимикачів з элегазовим або вакуумним середовищем, які відзначаються високою надійністю, тривалим ресурсом роботи та низькими експлуатаційними витратами. Роз'єднувачі й розрядники були підібрані з урахуванням їх технічних властивостей, що дозволяє ефективно захищати обладнання від перенапруг і гарантує безпечне проведення ремонтних робіт.

На рахунок засобів вимірювання та обліку електроенергії було здійснено порівняльний аналіз трансформаторів струму й напруги, які використовуються на напругах 110 та 10 кВ. Обрані зразки відповідають сучасним вимогам щодо класу точності, безпеки експлуатації та стандартів енергетичного обліку.

Загалом проведена робота дасть змогу обґрунтовано визначити оптимальні технічні рішення, яка забезпечить надійну, безпечну та енергоефективну роботу підстанції.

2 РОЗРОБКА ПРОЄКТУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПІДСТАНЦІЇ ДЛЯ ПП “ІЗЯСЛАВ-МОЛПРОДУКТ”

2.1 Побудова графіків навантаження для проєктованої підстанції

Графіки електричних навантажень [17].

Графіки електричних навантажень використовують як інструмент для аналізу режимів роботи електроустановок, прогнозування споживання електроенергії, проєктування систем живлення, організації ремонтних заходів, а також оптимізації експлуатаційних процесів у нормальному режимі.

З метою повноцінного аналізу необхідно побудувати сумарний добовий графік навантаження підстанції по активній, реактивній та повній потужності, а також скласти річний графік за тривалістю по активній потужності.

На основі фактичних добових значень споживаної електроенергії сформовано графік змін навантаження протягом доби, що представлено на (рис. 2.1).

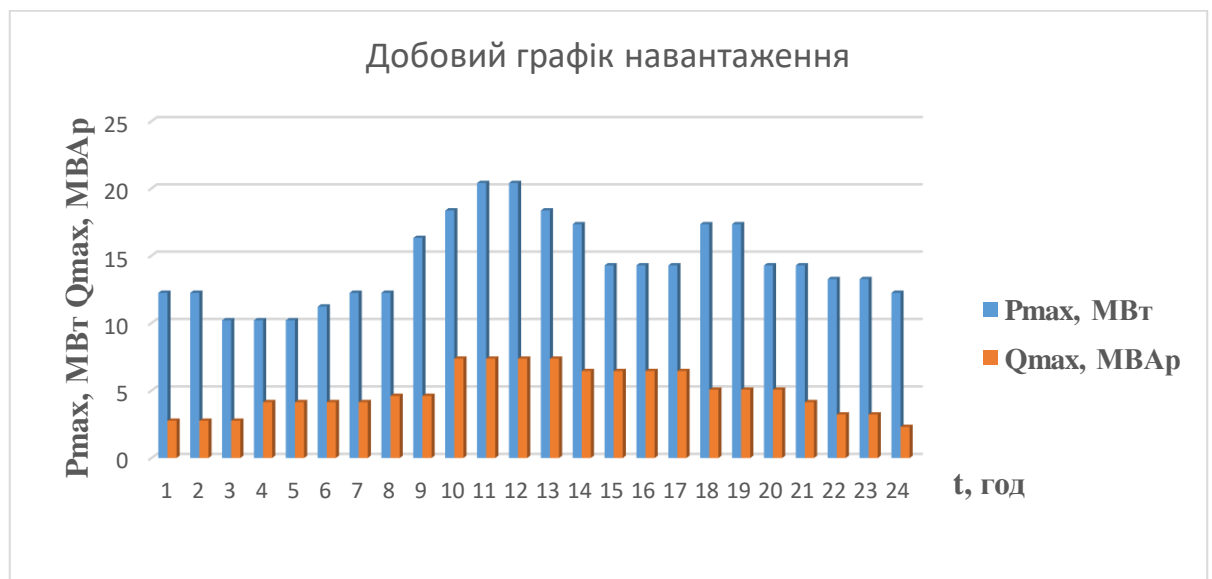


Рисунок 2.1 - Добовий графік навантаження

Далі, за цим графіком визначемо зміну повної потужності упродовж доби (рис. 2.2), а також побудуємо річний графік тривалості навантаження за акти-

вною потужністю, представлений на (рис. 2.3).



Рисунок 2.2 - Добовий графік повної потужності



Рисунок 2.3 - Річний графік навантажень за тривалістю

Результати побудованих графіків навантаження дозволяють зрозуміти характер споживання електроенергії підстанцією у різні періоди часу. Це дає змогу оптимізувати роботу обладнання, передбачити пікові навантаження, ефективно планувати технічне обслуговування та формувати техніко-економічно обґрунтовані рішення щодо подальшої модернізації електропостачання.

2.2 Вибір силового трансформаторів підстанції для підприємства ПП “ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ”

У цьому розділі здійснюється техніко-економічне обґрунтування вибору основного силового та комутаційного обладнання трансформаторної підстанції класу напруги 110/10 кВ, яке має забезпечити безперебійне та ефективне енергопостачання підприємства. Основними чинниками при виборі виступають: економічна доцільність, відповідність нормативним вимогам з безпеки, експлуатаційна стабільність, пристосованість до кліматичних умов регіону, а також зручність у технічному обслуговуванні [1].

З урахуванням сумарної потреби підприємства в електроенергії було прийнято рішення щодо використання силового трансформатора типу ТДН-16000/110/11.

Цей трансформатор здатен повною мірою покривати існуюче навантаження, а також враховує можливість подальшого збільшення обсягів споживання в разі розвитку виробництва. Наявність вбудованого пристрою для регулювання напруги під навантаженням дозволяє підтримувати стабільні параметри на стороні 10 кВ без перерв у живленні, що є критично важливим для безперервних технологічних процесів.

Важливими факторами вибору цієї моделі є [1]:

- висока надійність та довговічність конструкції трансформатора;
- мінімальні експлуатаційні втрати;
- виконання в кліматичному варіанті УХЛ1, що дозволяє експлуатувати обладнання в умовах значних коливань температури та вологості.

2.3 Вибір електричної апаратури та ізоляторів підстанції для підприємства ПП “ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ”

Для комутації ліній напругою 110 кВ застосовується елегазовий вимикач типу GL312.

Вибір GL312 обґрунтований такими перевагами [3]:

- висока надійність та довговічність - ресурс до 10 000 циклів ВО;
- мале технічне обслуговування, оскільки елегаз виконує функції дугогасіння та ізоляції, знижуючи знос контактів.

- швидкість спрацювання та висока комутаційна здатність, що забезпечує селективний захист мережі;

Застосування елегазового вимикача дасть нам змогу суттєво знизити експлуатаційні витрати і забезпечити високу надійність роботи підстанції.

На стороні 10 кВ обрано вакуумний вимикач серії ВРС-10.

Переваги ВРС-10 полягають у [17]:

- високій надійності вакуумної дугогасильної камери, яка не потребує обслуговування протягом усього строку служби;

- безпечній роботі та екологічності (відсутність небезпечних газів, таких як SF₆);

- компактних габаритах та низькій масі;

- енергоефективності - низький рівень втрат у режимі включення.

Для забезпечення видимого розриву на стороні 110 кВ обрано роз'єднувач серії РНДЗ-2-110/1000 УХЛ1 [17].

Аргументи на користь вибору:

- висока механічна зносостійкість та надійність конструкції;

- стійкість до кліматичних умов, що дозволяє забезпечити безперебійну роботу в будь-який сезон;

- простота технічного обслуговування, приводиться в дію за допомогою ручних приводів ПРГ-2Б УХЛ1, а також рухових приводів типу ПДГ-5.

Для захисту нейтралі силового трансформатора від перенапруг застосовується обмежувач перенапруг типу ОПН-П-110/56/10/550 УХЛ1.

Вибір обґрунтований такими перевагами [17]:

- висока енергоємність та ефективність гасіння перенапруг;

- мінімальний струм витоку при нормальних умовах експлуатації;

- висока надійність конструкції з оксид-цинкових варисторів без іскрового проміжку, що забезпечує швидкодію та чітку характеристику спрацювання.

Для надійної ізоляції струмоведучих частин обладнання напругою 10 кВ використовується опорний ізолятор ІО-10-3,75 УЗ.

Переваги ізолятора [17]:

- висока механічна міцність;
- стійкість до кліматичних факторів і забруднень;
- довговічність завдяки використанню якісних матеріалів (фарфор або композит).

2.4 Вибір струмопроводів на підстанції для підприємства ПП “ІЗЯСЛАВ-МОЛПРОДУКТ”

Струмопроводи застосовують у структурі електрообладнання трансформаторної підстанції через те, що вони здійснюють передачу електроенергії від силових трансформаторів до розподільчих пристроїв, а далі - до кінцевих споживачів або в енергетичну мережу. До основних вимог їх вибору відносять [19]:

- мінімальні втрати електроенергії;
- відповідність їх пропускної здатності номінальним струмам трансформатора;
- забезпечення термічної та динамічної стійкості під час коротких замикань;
- зручність монтажу та експлуатації;
- забезпечення пожежної безпеки та механічної надійності.
- економічна доцільність;

На основі попередньо виконаних електротехнічних розрахунків, аналізу умов експлуатації та економічних міркувань, для даної підстанції було прийнято обґрунтоване рішення щодо використання струмопроводу марки АС-240/32 на стороні високої напруги та струмопроводу А-450 на стороні низької напруги (НН).

2.5 Вибір засобів обліку, вимірювання та трансформаторів власних потреб для підприємства ПП “ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ”

Вибір трансформаторів власних потреб, а також вимірювальних трансформаторів струму й напруги є великою частиною проектування трансформаторної підстанції. Від даної частини залежить точність вимірювань, ефективність роботи релейного захисту, а також безперебійне енергоживлення допоміжних систем. Ці пристрої забезпечують [17]:

- безпечну ізоляцію вимірювальних і захисних пристроїв від високої напруги;
- забезпечення живлення допоміжних систем підстанції.
- вимірювання параметрів електричної енергії;
- передавання сигналів на релейний захист і автоматику;

Основними критеріями при виборі трансформаторів є [17]:

- відповідність номінальним параметрам системи (напруга, струм, частота);
- відповідність умовам експлуатації (кліматичне виконання, категорія розміщення);
- відповідність вимогам релейного захисту, вимірювання і контролю;
- забезпечення надійності, безпеки та економічної доцільності [8].

НКФ-110-83 У1 - це однофазний масляний трансформатор напруги каскадного типу, що виконує роль масштабного перетворювача для зниження високої напруги змінного струму до значень, придатних для приєднання засобів обліку та пристроїв релейного захисту. Працює в мережах змінного струму частотою 50 або 60 Гц. Причини вибору даного трансформатора [8]:

1. Висока надійність в умовах зовнішньої установки. Виконання У1 забезпечує стабільну роботу трансформатора в діапазоні температур від -45 до +40 °С, що дозволяє експлуатувати його на відкритому повітрі без ризику втрати характеристик.

2. Стійкість до перенапруг і атмосферних впливів. Маслонаповнена конструкція з високим рівнем електричної міцності забезпечує надійність при грозових та комутаційних перенапругах.

3. Відповідність вимогам релейного захисту та вимірювання. Клас точності 0,5 забезпечує достатню точність вимірювання напруги, а клас 3 - для живлення кіл захисту [8].

ЗНОЛ-06-10 - однофазний трансформатор напруги з литою ізоляцією, який заземляється, призначений для підключення до електричних ланцюгів змінного струму промислової частоти (50 Гц) з метою перетворення високої напруги до вимірювального рівня.

Причини вибору ЗНОЛ-06-10 [8]:

1. Компактність і зручність монтажу. Сухий трансформатор з литої ізоляції не потребує спеціального обслуговування й ідеально підходить для розміщення у розподільчих пристроях 10 кВ.

2. Відсутність експлуатаційних витрат. Відсутність масла виключає витрати на технічне обслуговування та контроль стану ізоляції.

3. Підвищена пожежна безпека. Литя епоксидна ізоляція стійка до загоряння, що забезпечує безпеку при встановленні всередині приміщень підстанції.

4. Відповідність вимогам точності для захисту та вимірювань. Клас точності дозволяє одночасно використовувати трансформатор для живлення пристроїв релейного захисту та систем обліку електроенергії [8].

ТПЛ-10-М - прохідний трансформатор струму вимірювального типу, який застосовується для зниження струму до вторинних значень, що дозволяють використовувати вимірювальні прилади та пристрої автоматики. Одночасно він забезпечує електричну ізоляцію між високовольною та вторинною частинами системи, підвищуючи безпеку обслуговування.

Модель ТПЛ-10-М виготовляється в кліматичному виконанні "У", категорії розміщення 2, і розрахована на експлуатацію за наступних умов: встановлення потрібно проводити на висоті, яка не буде перевищувати 1000м над рівнем моря; найвища температура всередині КРУ не має перевищувати +50 ° С, нижнє значення температури -45 ° С; необхідне довкілля - неагресивне та не вибухо-небезпечне; допускається будь-яке становище під час експлуатації.

Причини вибору ТПЛ-10-М [8]:

1. Сучасна суха ізоляція. Використання епоксидної ізоляції дозволяє знизити ризики, пов'язані з протіканням масла, полегшує обслуговування та підвищує пожежну безпеку підстанції.

2. Компактність і зручність монтажу. Мала вага та габарити спрощують встановлення трансформатора в КРУН або інші апарати розподільчих пристроїв на підприємстві.

3. Надійність і довговічність. Трансформатори ТПЛ-10-М мають високу стійкість до механічних пошкоджень та старіння ізоляції, що дозволяє їм працювати без зниження експлуатаційних характеристик протягом тривалого часу [8].

ТФЗМ-110 Б-І (ТФЗМ-123 П-І) - однофазний вимірювальний трансформатор струму, однокаскадний з масляним охолодженням і зовнішньою фарфоровою ізоляцією. Призначений для точного перетворення струму до вторинних значень, з подальшою передачею сигналу на прилади релейного захисту, автоматики та вимірювання.

Аргументи вибору ТФЗМ-110 Б-І (ТФЗМ-123 П-І) [8]:

1. Відповідність вимогам на стороні ВН. Забезпечують точне вимірювання струму та надійне живлення кіл релейного захисту.

2. Висока механічна стійкість та надійність. Міцна конструкція витримує короточасні струми короткого замикання.

3. Довготривала експлуатація в суворих кліматичних умовах. Виконання У1 дозволяє експлуатувати трансформатори за температур до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ [7].

ТМГ-40/10 У1 - це трифазний маслonaповнений трансформатор, номінальною потужністю 40 кВА, який використовується для забезпечення електроенергією допоміжних систем підстанції, включаючи вентиляцію, обігрів, освітлення, системи сигналізації і тд.

Аргументи вибору ТМГ-40/10 У1 [7]:

1. Забезпечення автономного живлення допоміжних систем підстанції. Потужності 40 кВА достатньо для покриття всіх потреб у власній електроенергії.

2. Висока надійність при тривалій експлуатації. Маслонаповнена конструкція забезпечує ефективне охолодження та стабільні електричні параметри.

3. Універсальність і простота в експлуатації. ТМГ-40/10 У1 має просту конструкцію, що полегшує технічне обслуговування і ремонт.

4. Відповідність стандартам і нормам енергетики. Виконання У1 гарантує стабільну роботу при широкому діапазоні температур та погодних умов.

Висновок до другого розділу

У другому розділі було виконано вибір основного електротехнічного обладнання для трансформаторної підстанції напругою 110/10 кВ. На основі аналізу навантажувальних характеристик, графіків добового та річного споживання, а також прогнозованих режимів експлуатації, прийнято технічно доцільні рішення щодо типу та потужності силового трансформатора, апаратури високої напруги, струмопроводів і засобів вимірювання.

Результати розрахунків підтвердили доцільність використання трансформатора типу ТДН-16000/110/11, що відповідає вимогам до надійності, енергоефективності та можливого розширення навантаження у перспективі. Вибрані вимикачі, роз'єднувачі та обмежувачі перенапруги гарантують надійне функціонування підстанції в умовах змінного навантаження та короткочасних аварійних ситуацій.

Забезпечення точного обліку електроенергії та стабільної роботи системи релейного захисту стало можливим завдяки впровадженню сучасних трансформаторів струму й напруги, які відповідають чинним стандартам точності та безпеки. Також передбачено живлення споживачів власних потреб підстанції за рахунок трансформатора власних потреб, що забезпечує автономність та надійність функціонування внутрішніх систем.

Таким чином, виконаний етап проєктування дозволив сформувати оптимальну технічну конфігурацію підстанції, яка забезпечує високий рівень експлуатаційної надійності, відповідність технічним нормам і вимогам підприємства-споживача.

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРОЄКТУ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ ДЛЯ ПП “ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ”

3.1 Розрахунок електричних навантажень на підстанції

На основі відомих значень кількості споживачів n та їх потужності P для певного класу напруги виконується розрахунок сумарного максимального навантаження згідно формули [9]:

$$P_{\max} = \sum_{i=1}^n k_{om} \cdot n \cdot P_i, \text{ MBm} \quad (3.1)$$

де n - кількість споживачів, шт.;

P - потужність споживачів, МВт;

k_{om} - коефіцієнт одночасності максимумів навантаження.

$$P_{\max} = 0,63 \cdot 6 \cdot 5,4 = 20,4 \text{ MBm}.$$

Для створення добового графіка за реактивною потужністю визначаємо максимальну реактивну потужність Q_{\max} [9]:

$$Q_{\max} = P_{\max} \cdot \text{tg} \varphi_{\max}, \text{ MBAp} \quad (3.2)$$

де $\text{tg} \varphi$ - коефіцієнт потужності.

$$Q_{\max} = 20,4 \cdot 0,45 = 9,2 \text{ MVAp}.$$

Значення реактивної потужності Q визначаються по всіх проміжках часу за значенням Q_{\max} , пропорційно характерній формі типового графіка. Після побудови добових графіків активної P та реактивної Q потужностей, формується графік до-

бового навантаження за повною потужністю яку ми визначаємо з формули [9]:

$$S_{\max} = \sqrt{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}, \text{MBA} \quad (3.3)$$

де S_{\max} - повна потужність.

$$S_{\max} = \sqrt{20,4^2 + 9,2^2} = 22,4 \text{MBA}.$$

Річне споживання активної та реактивної енергії знайдемо згідно наступних формул 3.4 та 3.5 [9]:

$$W_a = \sum PT, \text{MBm} \quad (3.4)$$

$$W_a = 126655 \text{MBm};$$

$$W_p = \sum Q, \text{MBAp} \quad (3.5)$$

$$W_p = 51465 \text{MBAp}.$$

де T - тривалість цієї сходинки;

P, Q - потужність i -ої сходинки графіка відповідно активної і реактивної потужності.

Середня потужність за добу визначається з формул [9]:

$$P_{cp} = \frac{W_{\text{доба}}}{24}, \text{MBm} \quad (3.6)$$

$$P_{cp} = \frac{347}{24} = 14,5 \text{MBm};$$

$$Q_{cp} = \frac{W_{дообp}}{24}, MVAp \quad (3.7)$$

$$Q_{cp} = \frac{141}{24} = 5,9 MVAp.$$

де $W_{доба}$, $W_{дообp}$ - добова активна і реактивна енергія.

Річне число годин використання максимальної потужності T_{max} визначається за даною формулою[9]:

$$T_{max} = \frac{\sqrt{W_p + W_a}}{S_{max}}, год \quad (3.8)$$

$$T_{max} = \frac{\sqrt{126655 + 51465}}{22,4} = 18,84 год.$$

Річний час максимальних втрат τ_{max} визначається за формулою 3.9 [9]:

$$\tau_{max} = (0,124 + \frac{T_{max}}{10000})^2 \cdot 8760, год \quad (3.9)$$

$$\tau_{max} = (0,124 + \frac{18,84}{10000})^2 \cdot 8760 = 138,81 год.$$

Коефіцієнт заповнення графіка $K_{зг}$ визначається за формулою 3.10 [9]:

$$K_{зг} = \frac{P_{cp}}{P_{max}}, \quad (3.10)$$

$$K_{зг} = \frac{14,5}{20,4} = 0,71.$$

Коефіцієнт заповнення по активній потужності демонструє, наскільки середнє навантаження нижче за максимальне, або яку частку спожитої електроенергії можна було б отримати за умови постійного споживання на рівні максимуму протягом усього часу.

3.2 Розрахунок кількості та потужності силових трансформаторів

Згідно завдання, до споживачів підприємства належать як споживачі I, так і II категорії, що вимагає встановлення двох силових трансформаторів на підстанції. Якщо передбачено лише одну ступінь зниження напруги, використовуються двообмоткові трансформатори. У випадку двох ступенів пониження - застосовуються триобмоткові трансформатори або автотрансформатори. Бажано встановлювати трансформатори однакової номінальної потужності. Хоча в окремих випадках можливе використання трьох і більше силових трансформаторів, доцільність такого рішення повинна бути підтверджена економічними розрахунками.

Розрахунок потужності трансформаторів враховує можливість як тривалих, так і аварійних перевантажень. Зокрема, допускається перевантаження на 40% протягом не більше ніж 5 діб, за умови, що початкове навантаження не перевищує 93% номінального, а тривалість перевантаження - не більше 6 годин на добу.

У разі аварії, коли один з трансформаторів виходить з ладу, необхідно забезпечити живлення споживачів I та II категорій, дозволивши відключення лише споживачів III категорії. У зв'язку з цим номінальна потужність трансформатора обирається відповідно до умови аварійного режиму роботи, за формулою 3.11 [9]:

$$S_{т.ном.розр.} = \frac{S_{max}}{(n-1) \cdot 1,4}, MVA \quad (3.11)$$

$$S_{т.ном.розр.} = \frac{22,4}{(2-1) \cdot 1,4} = 16 MVA.$$

де S_{\max} - максимальна потужність споживачів;

n - кількість трансформаторів на підстанції.

Остаточне значення номінальної потужності трансформатора $S_{тр.ном.}$ приймається з урахуванням стандартного ряду потужностей, найближчим до розрахованого $S_{т.ном.розр.}$.

Після вибору номінальної потужності трансформатора $S_{тр.ном.}$ по аварійному перевантаженню потрібно розрахувати коефіцієнт завантаження трансформатора K_3 у режимі максимального навантаження при роботі всіх трансформаторів одночасно [9].

$$K_3 = \frac{S_{\max}}{n \cdot S_{т.ном.}}, \quad (3.12)$$

$$K_3 = \frac{22,4}{2 \cdot 16} = 0,7.$$

3.3 Розрахунок струмів короткого замикання

До основних причин виникнення аварійних режимів в електроустановках належать короткі замикання різного характеру: однофазні, двофазні, трифазні, а також замикання на землю. Для запобігання пошкодженням та вибору надійної апаратури необхідно проводити розрахунки струмів короткого замикання. Це дає змогу обґрунтовано обрати релейний захист, перевірити струмопроводи та обладнання на електродинамічну і термічну стійкість.

У проектних розрахунках за основу приймається трьохфазне коротке замикання, яке дає найбільше значення струму. Для цього складається розрахункова схема електричних з'єднань, що відповідає максимальному струму короткого замикання в критичних точках мережі. При цьому враховується, що секційний вимикач на стороні 6-10 кВ завжди вимкнений при паралельній роботі обох трансфор-

маторів, тоді як на стороні 35-330 кВ його стан може змінюватися залежно від конструкції підстанції.

На основі розрахункової схеми створюється схема заміщення, в якій всі елементи електричного кола замінюються їхніми реактивними опорами. З метою спрощення розрахунків активними опорами R часто нехтують.

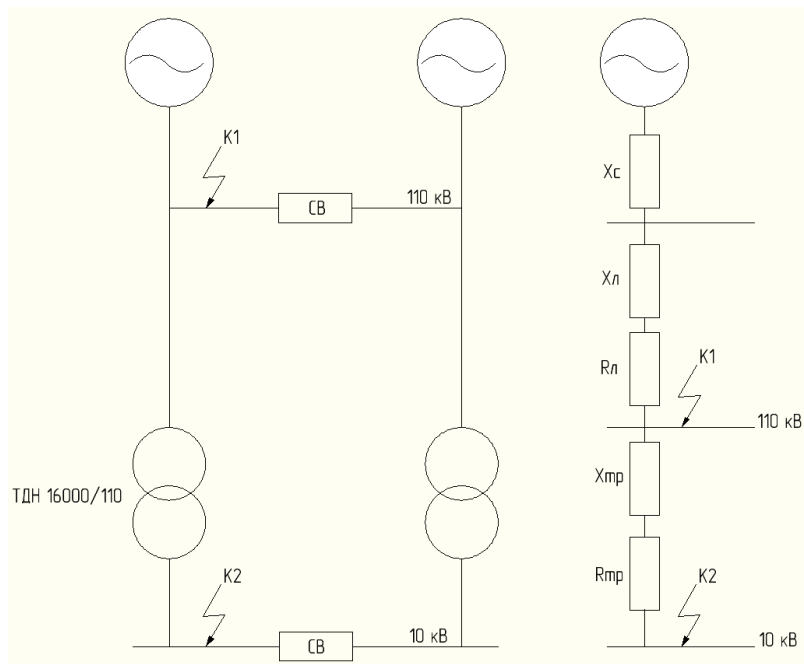


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема та схема заміщення для розрахунку струму КЗ

На (рис. 3.1) показано розподіл індуктивних опорів:

X_c - опір системи;

X_l - лінії;

X_{mp} - трансформатора;

R_l, R_{mp} - відповідно активні опори лінії та трансформатора.

Обчислення струмів короткого замикання виконують в іменованих одиницях.

При короткому замиканні на шинах високовольтної напруги трансформаторної підстанції (точка К1).

Визначимо індуктивний опір системи згідно наступної формули [9]:

$$X_c = \frac{(U_{c.n.})^2}{S_{к.з.}}, Ом \quad (3.13)$$

$$X_c = \frac{115000^2}{720000000} = 18,37 Ом.$$

де $U_{c.n.}$ - середня номінальна напруга ступені КЗ (37 кВ, 115 кВ, 154 кВ, 230 кВ);

$S_{к.з.}$ - потужність короткого замикання згідно завдання.

Знайдемо реактивний опір лінії високої напруги згідно формули [9]:

$$X_l = x_0 \cdot l, Ом \quad (3.14)$$

$$X_l = 0,176 \cdot 92 = 16,19 Ом.$$

де l - довжина лінії електропередачі згідно завдання, км;

x_0 - питомий індуктивний опір провода (з довідника).

При короткому замиканні на шинах низької напруги трансформаторної підстанції (точка К2), індуктивний опір системи визначається [9]:

$$X'_c = \frac{(U'_{c.n.})^2}{S_{к.з.}}, Ом \quad (3.15)$$

$$X'_c = \frac{10500^2}{720000000} = 0,15 Ом.$$

де $U'_{c.n.}$ - середньо-номінальна напруга ступені короткого замикання - 10.5 кВ.

Визначимо індуктивний опір лінії електропередачі за формулою [9]:

$$X'_l = x_l \cdot \left(\frac{U'_{c.n.}}{U_{c.n.}}\right), Ом \quad (3.16)$$

$$X'_l = 16,19 \cdot \left(\frac{10500}{115000}\right) = 1,48 Ом.$$

Визначимо індуктивний опір трансформатора за формулою [9]:

$$X'_{mp} = \frac{U_{\%K3} \cdot U_{c.n.}^2 \cdot 10}{S_H}, Ом \quad (3.17)$$

$$X'_{mp} = \frac{10,5\% \cdot 10500^2 \cdot 10}{0,6 \cdot 16000000} = 12,06 Ом.$$

Розрахуємо сумарний опір до точки короткого замикання К1 з формули [9]:

$$X_{\Sigma K1} = x_c + x_l, Ом \quad (3.18)$$

$$X_{\Sigma K1} = 18,37 + 16,19 = 34,56 Ом.$$

Знайдемо сумарний (результуючий) опір до точки короткого замикання К2 за формулою [9]:

$$X_{\Sigma K2} = x'_c + x'_l + x'_{mp}, Ом \quad (3.19)$$

$$X_{\Sigma K2} = 0,15 + 1,48 + 12,06 = 13,69 Ом.$$

Розрахунок струмів трифазного короткого замикання.

Початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ в точках К1 та К2 відповідно $I_{П(К1)}^{(3)}$ та $I_{П(К2)}^{(3)}$ обчислюється за формулами 3.20 та 3.21 [9]:

$$I_{П(К1)}^{(3)} = \frac{U_{с.н.}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma К1}}, \text{кА} \quad (3.20)$$

$$I_{П(К1)}^{(3)} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 34,56} = 1,92 \text{кА}.$$

$$I_{П(К2)}^{(3)} = \frac{U'_{с.н.}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma К2}}, \text{кА} \quad (3.21)$$

$$I_{П(К2)}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 13,69} = 0,44 \text{кА}.$$

Розрахунок ударного струму трифазного короткого замикання.

Максимальний повний струм виникає, як ударний струм в електричній мережі приблизно через 0,01 секунди після виникнення КЗ. У цей момент вважається, що періодична складова струму не змінюється, а аперіодична - зазнає затухання.

Для вибору комутаційної апаратури необхідно обчислити такі величини: над-перехідний струм I'' , ударний струм i_y і сталий струм короткого замикання I_∞ на всіх ступенях трансформатора (високій, середній, низькій), з урахуванням відповідної схеми електричних з'єднань, яка визначає граничні значення струмів КЗ.

Ударний коефіцієнт визначається з формули [9]:

$$K_{yBH} = 1 + e^{\frac{0,01}{\tau_a}}, \quad (3.22)$$

$$K_{yBH} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,115}} = 2,09.$$

Ударний струм визначається згідно формули [9]:

$$i_{yBH} = \sqrt{2} + k_{y1} \cdot I_{II(K1)}^{(3)}, \text{кА} \quad (3.23)$$

$$i_{yBH} = \sqrt{2} + 2,09 \cdot 1,92 = 5,68 \text{кА}.$$

Для низької сторони ударний коефіцієнт визначається за формулою [9]:

$$K_{yHH} = 1 + e^{\frac{0,01}{\tau_a}}, \quad (3.24)$$

$$K_{yHH} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,045}} = 2,25.$$

Ударний струм визначається за наступною формулою [9]:

$$i_{yHH} = \sqrt{2} + k_{y2} \cdot I_{II(K2)}^{(3)}, \text{кА} \quad (3.25)$$

$$i_{yHH} = \sqrt{2} + 2,25 \cdot 0,44 = 1,4 \text{кА}.$$

Таблиця 3.1 - Постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ

Місце короткого замикання	τ_a (с)
Шини підвищеної напруги підстанцій з трансформаторами до 100 МВА	0,115
Шини середньої напруги знижувальних підстанцій з трансформаторами до 100 МВА	0,095
Шини низької напруги знижувальних підстанцій з трансформаторами від 25 до 100 МВА	0,065
Шини низької напруги знижувальних підстанцій з трансформаторами до 25 МВА	0,045

3.4 Розрахунок обраних струмопроводів

Переріз струмопроводів F (за виключенням збірних шин) вибирається за економічною густиною струму згідно наступної формули [10]:

$$F = \frac{I_{\text{норм.}}}{j_{\text{ек}}}, \text{мм}^2 \quad (3.26)$$

де $I_{\text{норм.}}$ - струм нормального режиму (без перенавантажень);

$j_{\text{ек}}$ - економічна густина струму, залежить від T_{max} , а також матеріалу й типу струмопроводу (довідникове).

Розрахуємо струм нормального режиму за формулою [9]:

$$I_{\text{норм.вн}} = \frac{0,6 \cdot S_{\text{ном}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}, A \quad (3.27)$$

$$I_{\text{норм.вн}} = \frac{0,6 \cdot 16000000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115000} = 24,1 A;$$

$$I_{\text{норм.лн}} = \frac{0,6 \cdot S_{\text{ном}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ЛН}}}, A \quad (3.28)$$

$$I_{\text{норм.лн}} = \frac{0,6 \cdot 16000000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10500} = 263,93 A;$$

$$j_{\text{ек}} = 1,1 A / \text{мм}^2,$$

$$F_{\text{ВН}} = \frac{24,1}{1,1} = 21,9 \text{мм}^2,$$

$$F_{\text{НН}} = \frac{263,93}{1,1} = 239,94 \text{ мм}^2.$$

Отриманий переріз за розрахунками округляється до найближчого стандартного:

Для ВН вибираємо АС - 240/32;

Для НН вибираємо А - 450.

Вибраний провідник має задовольняти умови перевірки на допустиме струмове навантаження [10]:

$$I_{\text{роб.форс.}} \leq I_{\text{дон.}}, \quad (3.29)$$

де $I_{\text{роб.форс.}}$ - максимальний довготривалий струм з урахуванням перевантажень при аваріях і ремонтах;

$I_{\text{дон.}}$ - тривалий допустимий струм, який провідник здатен проводити без перевищення температурних обмежень, залежить від його поперечного перерізу, матеріалу та конструктивного виконання струмопроводу. Для обмотки високої напруги силового трансформатора значення робочого струму $I_{\text{роб.форс.}}$ визначається з урахуванням допустимого перевантаження до 40%. На стороні низької напруги струм розраховується, виходячи з максимального прогнозованого навантаження, передбачаючи відмову одного з трансформаторів [10].

Знайдемо максимальний довготривалий струм з урахуванням перевантажень при аваріях і ремонтах згідно наступних формул 3.30 та 3.31 [9]:

$$I_{\text{роб.форс.вн}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}, A \quad (3.30)$$

$$I_{\text{роб.форс.вн}} = \frac{1,4 \cdot 16000000}{\sqrt{3} \cdot 115000} = 133,5 < I_{\text{дон.}} = 465 A;$$

$$I_{роб.форс.лн} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}, A \quad (3.31)$$

$$I_{роб.форс.лн} = \frac{1,4 \cdot 16000000}{\sqrt{3} \cdot 115000} = 587,85 < I_{дон.} = 645 A.$$

Усі елементи, що проводять струм - такі як струмопроводи, кабельні лінії та збірні шини - підлягають обов'язковій перевірці на термічну стійкість. Мінімально допустимий переріз струмопроводу, що задовольняє умову термічної стійкості, визначається за формулою [9]:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, мм^2 \quad (3.32)$$

де C - коефіцієнт, який для алюмінієвих шин є рівним значенню - $91 A \cdot c^{0,5} / мм^2$, а для мідних - $167 A \cdot c^{0,5} / мм^2$;

B_k - імпульс квадратичного струму трифазного короткого замикання або тепловий імпульс, який визначають наступним чином [9]:

$$B_k = I^2 \cdot (t_{відк.} + \tau_a), кА^2 \cdot c \quad (3.33)$$

$$t_{відк.} = t_a + t_{рзmax}, c \quad (3.34)$$

де $t_{рзmax}$ - час дії основного релейного захисту з урахуванням сходинки селективності;

t_a - повний час вимкнення вимикача.

Перевірка на термічну стійкість для струмопроводів ВН за формулою [9]:

$$B_k = 11,5^2 \cdot (1,5 + 0,02 + 0,115) = 217 кА^2 \cdot c,$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{217 \cdot 10^6}}{91} = 161,88 \text{ мм}^2 < F_{\text{дон.}} = 236 \text{ мм}^2.$$

Перевірка на термічну стійкість для струмопроводів НН за формулою[9]:

$$B_k = 5,7^2 \cdot (1 + 0,02 + 0,045) = 34,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{34,6 \cdot 10^6}}{91} = 64,64 \text{ мм}^2 < F_{\text{дон.}} = 394 \text{ мм}^2.$$

3.5 Розрахунок і перевірка електричних апаратів високої напруги

Розрахунок вимикачів [9].

З урахуванням прийнятої схеми електричних з'єднань у проєктованій підстанції необхідно виконати техніко-економічний вибір та розрахункову перевірку наступного обладнання: вимикачів у розподільчих пристроях (РП) усіх рівнів напруги, обмежувачів перенапруги або розрядників, роз'єднувачів, ізоляторів, трансформаторів струму й напруги, а також приладів вимірювання. Під час вибору комутаційних апаратів важливо враховувати сучасні технології в галузі високовольтної апаратури. На даний час найбільш доцільно застосовувати вакуумні або елегазові вимикачі в розподільчих пристроях.

Ударний струм у вимикачі визначається з формули [9]:

$$i_y = I^{(3)} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{\tau_a}}\right), \text{ кА.} \quad (3.35)$$

Знайдемо ударний струм у вимикачі напругою 110 кВ [9]:

$$i_y = 11,5 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,045}}\right) = 22,04 \text{ кА.}$$

Розрахункові данні елегазового вимикача напругою 110кВ розраховано у Додатку Б.

Розрахуємо ударний струм у вимикачі напругою 10 кВ [9]:

$$i_y = 5,7 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,045}}) = 10,26 \text{ кА.}$$

Розрахункові данні вакуумного вимикача напругою 10кВ розраховано у Додатку В.

Вимикачі виготовляють з пружинним і електромагнітним приводом.

Розрахунок роз'єднувачів [9].

Основні вимоги до вибору апаратури зазначено у таблиці 3.2. Обране обладнання повинне витримувати навантаження в умовах коротких замикань [9].

Таблиця 3.2 - Розрахунок параметрів роз'єднувача 110 кВ

№	Параметр апарата	Умови вибору
1	Номінальна напруга	$U_{уст.} \leq U_{ном.}; 110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ}$
2	Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном.}; 133,5 \text{ А} < 1000 \text{ А}$
3	Струм динамічної стійкості	$i_{уд.} \leq I_{дин.ст.}; 22,04 \text{ кА} < 40 \text{ кА}$
4	Тупловий імпульс (термічна стійкість), $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T; 217 < 768$

Було обрано роз'єднувач типу РНДЗ-2-110/1000 УХЛ1.

Розрахунок та вибір розрядників та обмежувачів перенапруг [17].

Захист від прямого удару блискавки забезпечується встановленням блискавковідводів - як тросового, так і стрижневого типу. Схема такого захисту залежить від класу напруги підстанції, встановленої потужності трансформаторів та схем живлення.

Для запобігання пошкодженням внаслідок як атмосферних, так і внутрішніх перенапруг використовуються розрядники. Атмосферні перенапруги виникають в результаті ударів блискавок в електроустановки або поблизу них. Внутрішні - зу-

мовлені комутаціями незавантажених елементів (ліній, трансформаторів, реакторів), дуговими замиканнями на землю або ферорезонансними явищами.

Розрядники вентильного типу (ОПН) обов'язково встановлюються на всіх вводах силових трансформаторів. Заборонено монтувати комутаційні пристрої між розрядниками та вводами. Для забезпечення ефективного відведення струму, вентильні розрядники приєднують до заземлювального контуру підстанції по найменшому шляху до нього.

З метою зменшення струмів однофазного короткого замикання нейтралі трансформаторів класом 110-220 кВ можуть виконуватись тимчасово, або постійно в розземленому стані. У такому випадку в коло нейтралі включають розрядник або ОПН з номінальною напругою на клас нижче за ізоляцію трансформатора (рис. 3.2)

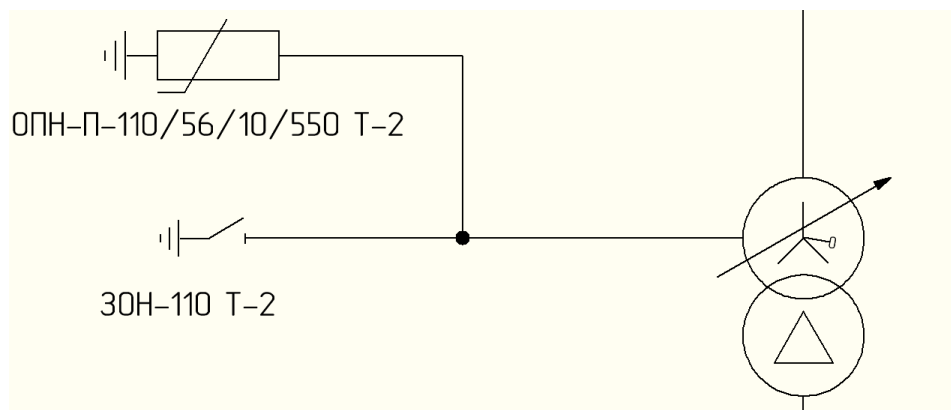


Рисунок 3.2 - Підключення розрядника в нейтраль силового трансформатора

Для встановлення прийнято встановити розрядник типу ОПН-П-110/56/10/550.

3.6 Вибір ізоляторів на підстанції

Ізолятори обираються залежно від класу напруги, допустимого механічного навантаження, ступені забруднення навколишнього середовища, типу встановлення і призначення.

У цьому розділі необхідно обрати опорні ізолятори 6-10 кВ.

При розташуванні ізоляторів в одній площині, на опорний ізолятор середньої фази діє розрахункове зусилля, розраховуємо згідно формули [9]:

$$F_p = \sqrt{3} \cdot k_\phi \cdot i_{y0} \cdot \frac{l}{a}, \text{кН} \quad (3.36)$$

$$F_p = \sqrt{3} \cdot 0,44 \cdot \frac{2}{0,8} = 1,9 \text{кН}.$$

Приймаємо до встановлення ізолятор типу ІО-10-3,75 УЗ.

При виборі прохідних і опорних ізоляторів по допустимому механічному навантаженню визначають згідно формули [9]:

$$F_p \leq 0,6 \cdot F_{p\text{д\text{ост}}} \text{, кН} \quad (3.37)$$

$$1,9 < 2,25 \text{кН}.$$

Умови вибору:

$$U_{\text{уст.}} \leq U_{\text{ном.}} \quad 10 \text{кВ} = 10 \text{кВ};$$

$$F_p \leq 0,6 \cdot F_{p\text{д\text{ост}}} \text{, } 1,9 < 2,25 \text{кН}.$$

3.7 Облік електроенергії та вимірювання на підстанції

У цьому розділі розглядаються основні принципи встановлення засобів вимірювання електроенергії - як технічного, так і комерційного обліку, а також вимірювальної апаратури. Необхідно вказати типи, кількість, параметри та місце встановлення приладів [9].

Кількість вимірювального обладнання на підстанції повинна бути оптимальною: мінімальною для здешевлення монтажу та полегшення експлуатації, але дос-

татньою для забезпечення повного та надійного контролю параметрів енергосистеми.

Зокрема, в ланцюгах силових трансформаторів і приєднаних ліній електропередач передбачаються прилади для вимірювання змінного струму. У трифазних мережах для контролю струму можливо використання одного амперметра з перемикачем фаз. Вимірювання напруги виконують на обох сторонах трансформатора - високій та низькій напрузі.

У випадках, коли електроустановка функціонує з ізольованою нейтраллю, обов'язковим є впровадження пристроїв контролю ізоляційного стану. Для їх підключення застосовуються трифазні п'яти стрижневі трансформатори напруги або комбінація з трьох однофазних, залежно від прийнятої схеми.

Вибір трансформаторів струму.

На напругу 110 кВ встановлюємо трансформатори струму типу ТФЗМ-110 Б-І (ТФЗМ-123 II-I).

Трансформатори струму на напругу 10 кВ вибирають за такими параметрами [9]:

1. По струму:

$$I_{роб.форс.} \leq I_{ном.}, 587,85 < 600A.$$

2. По напрузі установки:

$$U_{уст.} \leq U_{ном.}, 10кВ = 10кВ.$$

3. По вторинному навантаженню:

$$Z_2 \leq Z_{ном.}.$$

4. Клас точності - 0,5.

5. По термічній стійкості:

$$B_k \leq I_{терм.ст.}, 34,6кА^2 \cdot с < 45кА^2 \cdot с.$$

6. По електродинамічній стійкості:

$$i_{уд} \leq I_{дин.ст.}, 10,26кА < 200кА.$$

Навантаження всіх вимірювальних приладів, приєднаних до трансформатора струму розраховано у Додатку Д.

Значення [10]:

$l_{розр.} = 6\text{м}$ - фідер 6-10 кВ;

$\rho = 0.0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ - для алюмінію;

$Z_{конт} = 0,1 \text{ Ом}$.

Для перевірки умови 3, проведемо розрахунки вторинного навантаження трансформатора струму за формулою [9]:

$$Z_2 = Z_{прил.} + Z_{пров.} + Z_{конт.}, \text{ Ом} \quad (3.38)$$

Розрахуємо опір з'єднувальних проводів з формули 3.39 [9]:

$$Z_{пров.} = Z_{ном.} - (Z_{прил.} + Z_{конт.}), \text{ Ом} \quad (3.39)$$

$$Z_{пров.} = 0,4 - (0,241 + 0,1) = 0,06 \text{ Ом};$$

Визначимо розрахункову довжину згідно формули [9]:

$$l_{розр.} = \sqrt{3} \cdot 6 = 10,39 \text{ м}, \quad (3.40)$$

Далі визначимо переріз проводів за наступною формулою [9]:

$$F_{пров.} = \frac{\rho l_{розр.}}{R_{пров.}}, \text{ мм}^2 \quad (3.41)$$

$$F_{пров.} = \frac{0,0283 \cdot 10,39}{0,06} = 4,9 \text{ мм}^2.$$

В якості з'єднувальних проводів застосовуються АКРВГ з перерізом 6 мм^2 .

Приймаємо до встановлення трансформатор струму типу ТПЛ-10-М [9]:

Клас точності - 0,5.

$$U_{ном.} = 10кВ;$$

$$I_{ном.} = 600А;$$

Вибір трансформаторів напруги [10].

Для напруги 110кВ встановимо трансформатори напруги типу НКФ-110-83 У1.

Для напруги 10кВ трансформатори напруги вибирають за такими характеристиками [10]:

1. За конструкцією і схемою з'єднання обмоток:

Однофазний з литою ізоляцією.

2. По напрузі установки:

$$U_{уст.} \leq U_{ном.}, 10кВ = 10кВ.$$

3. Клас точності - 0,5.

4. По вторинному навантаженню:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном.}.$$

де $S_{ном.}$ - номінальна потужність трансформаторів напруги врахована у заданому класі точності, потрібно знати, що при використанні трьох однофазних трансформаторів, з'єднаних у зірку, слід сумарно враховувати потужність по кожній фазі, а при застосуванні схеми відкритого трикутника - розрахункова потужність дорівнює подвоєному значенню одного з трансформаторів;

$S_{2\Sigma}$ - навантаження всіх вимірювальних приладів, приєднаних до трансформатора напруги, ВА.

Перевірка умови 4 проводиться за розрахунком вторинного навантаження трансформатора напруги згідно формули [10]:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном.}, ВА \tag{3.40}$$

$$86ВА < 3 \cdot 75ВА.$$

Навантаження всіх вимірювальних приладів, приєднаних до трансформатора напруги розраховано у Додатку Ж.

Розрахункове навантаження трансформатора напруги знайдемо за формулою [10]:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2}, BA \quad (3.41)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{45,84^2 + 72,75^2} = 86BA.$$

Приймаємо до встановлення трансформатор напруги типу ЗНОЛ 06 - 10 УЗ [10]:

Клас точності - 0.5;

$$S_{ном.} = 75BA;$$

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном.}, 86BA < 3 \cdot 75BA.$$

3.8 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

До найвідповідальніших елементів електропостачання підстанції належать трансформатори власних потреб (ТВП), від яких залежить працездатність усіх ключових вузлів підстанції та загальна надійність живлення споживачів. Перелік споживачів власних потреб визначається наявністю синхронних компенсаторів, конструктивними особливостями підстанції, номінальною потужністю трансформаторів, а також видом застосованого обладнання [9].

До основних електричних приймачів власних потреб відносяться: електродвигуни систем охолодження силових трансформаторів; ланцюги оперативного струму; нагрівальні пристрої вимикачів, роз'єднувачів, короткозамикачів; обігрів і освітлення (робоче та аварійне); протипожежні системи; пристрої телемеханіки, релейного захисту та автоматики.

Найбільш критичними для стабільної роботи підстанції є кола оперативного струму, систем зв'язку, телемеханіки, релейного захисту, систем охолодження трансформаторів й протипожежної безпеки.

Для забезпечення живлення систем ВП передбачено встановлення знижувальних трансформаторів, які мають вторинну напругу 380/220 В. Їх нейтраль обов'язково заземлюється. Потужність трансформаторів власних потреб (ТВП) визначається на основі розрахункової потужності споживачів ВП і, як правило, становить близько 1% від загальної потужності підстанції.

Розрахунок потужності трансформатора ВП проведено у Додатку К.

Розрахункове навантаження ТВП визначається за виразом [9]:

$$S_p = k_c \cdot S_n, \text{кВА} \quad (3.42)$$

$$S_p = 0,7 \cdot 54 = 38 \text{кВА},$$

де k_c - коефіцієнт попиту, приймається для навантажень споживачів ВП рівний 0,7;

S_n - сумарна встановлена потужність споживачів ВП підстанції.

Коефіцієнт завантаження у нормальному режимі знаходимо з формули [9]:

$$K_s = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}}, \quad (3.43)$$

$$K_s = \frac{38}{2 \cdot 40} = 0,48.$$

Для встановлення приймаємо 2 трансформатори власних потреб (ТВП) типу ТМГ-40/10 У1.

3.9 Розрахунок максимального струмового захисту РП 10 кВ для трансформаторної підстанції “ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ”

Струм спрацювання МСЗ знаходимо за формулою із [13]:

$$I_{c.z.i.} = k_n \cdot k_{czn} \cdot I_{роб.мах.i}, A \quad (3.44)$$

де k_n - коефіцієнт надійності, що забезпечує надійне не спрацювання захисту шляхом урахування похибки реле з необхідним запасом (1,1);

k_{czn} - коефіцієнт самозапуску (2,5).

Максимальний робочий струм в лінії згідно [14] можна визначити за формулою:

$$I_{роб.мах.i} = \frac{\sum S_{mp.}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, A \quad (3.45)$$

де $\sum S_{mp.}$ - сума потужностей всіх трансформаторів, що живляться від даної лінії;

U_n - номінальна напруга мережі.

Визначимо робочий максимальний струм в ліній Л-1 згідно формули (3.45) [14]:

$$I_{роб.мах.л-1} = \frac{1600000 + 400000 + 400000}{\sqrt{3} \cdot 10000} = 138,6 A.$$

Для лінії Л-2:

$$I_{роб.мах.л-2} = \frac{1600000 + 250000 + 250000}{\sqrt{3} \cdot 10000} = 121,2 A.$$

Струм спрацювання захисту на лінії Л-1 знайдемо як [13]:

$$I_{c.z.l-1} = 1,1 \cdot 2,5 \cdot 138,6 = 381,2 A.$$

Для лінії Л-2:

$$I_{c.z.l-2} = 1,1 \cdot 2,5 \cdot 121,2 = 333,3 A.$$

Визначимо струм спрацювання реле за формулою із [13]:

$$I_{c.p.i} = \frac{I_{c.z.i} \cdot k_{cx}^{(3)}}{n_{mi}}, A \quad (3.46)$$

де n_{mi} - коефіцієнт трансформації трансформатора струму;

$k_{cx}^{(3)}$ - коефіцієнт схеми (при з'єднанні вторинних обмоток трансформатора струму в зірку він дорівнює 1).

При розрахунку струму спрацювання реле захисту лінії приймаємо для трансформаторів струму коефіцієнти трансформації $n_{m.l-1} = \frac{400}{1} = 400$, $n_{m.l-2} = \frac{300}{1} = 300$, тоді згідно формули (3.46) [13]:

$$I_{c.p.l-1} = \frac{381,2 \cdot 1}{400} = 0,95 A;$$

$$I_{c.p.l-2} = \frac{333,3 \cdot 1}{300} = 1,11 A; .$$

На реле може бути виконана уставка $I_{c.p.l-1} = 1,0 A$, $I_{c.p.l-2} = 1,2 A$.

Згідно вибраних уставок можна визначити струм спрацювання захисту [13]:

$$I_{c.з.і.} = \frac{I_{c.p.i.} \cdot n_{mi}}{k_{cx}^{(3)}}, A \quad (3.47)$$

Підставляємо числові значення у формулу (3.47) і отримаємо [13]:

$$I_{c.з.л-1} = \frac{1 \cdot 400}{1} = 400 A;$$

$$I_{c.з.л-2} = \frac{1,2 \cdot 300}{1} = 360 A.$$

Виберемо струм спрацювання захисту секційного вимикача з урахуванням струмів навантаження [14]:

$$I_{c.з.} \geq k_{н.л.} [(n \cdot I_{c.з.опер})_{\max} + \sum_I^{N-n} I_{роб. \max(N-n)}], A \quad (3.48)$$

де $k_{н.л.}$ - коефіцієнт надійності узгодження (1,11);

$(n \cdot I_{c.з.опер})_{\max}$ - найбільший з добутків числа (n) паралельно працюючих елементів (попередніх) та струму спрацювання їх захистів;

$\sum_I^{N-n} I_{роб. \max(N-n)}$ - сума максимальних робочих струмів всіх попередніх елементів підстанції, за виключенням тих, з захистами яких проводиться погодження.

Підставивши числові значення у формулу (3.48) отримаємо [14]:

$$I_{c.з.сб} = 1,11 \cdot (400 + 121,2) = 578,5 A.$$

Коефіцієнт трансформації трансформатора струму приймемо рівним:

$$I_{c.з.сб} = \frac{600}{1} = 600.$$

Струм спрацювання реле згідно формули (3.46) буде [13]:

$$I_{c.p.св} = \frac{578,5 \cdot 1}{600} = 0,96A.$$

На реле може бути виконана уставка $I_{c.p.св} = 1A$, тоді за формулою (3.47) струм спрацювання захисту складе [13]:

$$I_{c.з.св} = \frac{1 \cdot 600}{1} = 600A.$$

На ввідних вимикачах струм спрацювання захисту згідно формули (3.44) становить [13]:

$$I_{c.з.св} = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 587,85 = 1763,6A.$$

Для трансформатора струму коефіцієнт трансформації прийнято рівним:

$$n_{m.св} = \frac{2000}{1} = 2000.$$

Струм спрацювання реле згідно формули (3.46) складе [13]:

$$I_{c.p.св} = \frac{1763,6}{2000} = 0,88A.$$

На реле може бути виконана уставка $I_{c.p.св} = 0,9A$, тоді за формулою (3.47) струм спрацювання захисту є рівним [13]:

$$I_{c.з.св} = \frac{0,9 \cdot 2000}{1} = 1800A.$$

Для МСЗ сформуємо карту селективності з витримкою часу, не залежною від струму, обравши ступінь селективності, що дорівнює 0,5 с.

Час спрацьовування захисту для ліній Л-1 та Л-2 встановлюється на рівні 0,5 с. Відповідно, захист шин 10 кВ має спрацьовувати з урахуванням селективності за 1 с, а для захисту вводів цей час становитиме 1,5 с.

Для захистів ліній та вводів передбачається можливість однократного автоматичного повторного ввімкнення (АПВ). Час спрацювання однократного АПВ вибирається по такій умові [14]:

$$t_{АПВ} \geq t_{г.г.} + t_{зан.}, c \quad (3.49)$$

де $t_{г.г.}$ - час готовності вимикача (для вакуумних вимикачів становить 0,2 с);

$t_{зан.}$ - час запасу (приймають 0,5 с).

Зазвичай час спрацювання однократного АПВ становить від 3 до 5 с, оскільки саме за цей проміжок часу найімовірніше відбувається самостійне усунення нестійкого короткого замикання (КЗ) в лінії [14]. Оскільки умова (3.49) задовольняється, приймаємо час спрацювання однократного АПВ рівним 3 с.

Для захисту трансформаторів напруги передбачається встановлення запобіжника типу ПКТ із номінальним струмом 6А, а для трансформаторів власних потреб буде використано запобіжник того ж типу, але з номінальним струмом 20А [13].

3.10 Компоновка та конструктивне виконання підстанції

У цій роботі було виконано проєкт понижувальної підстанції 110/10 кВ для ПП “ІЗЯСЛАВМОЛПРОДУКТ” відповідно до вимог Державних стандартів, правил улаштування електроустановок (ПУЕ), норм технологічного проєктування, міжнародних стандартів (МЕК).

Під час проєктування було обрано та передбачено встановлення наступного обладнання:

- силові трансформатори типу ТДН 16000/110;
- роз'єднувачі типу РНДЗ-2-110/1000 УХЛ1 на стороні 110 кВ. У схемі вони представлені як з одним (перед високовольтним вимикачем), так і з двома (ввідні та перемичкові) заземлюючими ножами;

- вимикачі GL312 з електромагнітним приводом на стороні високої напруги.

Тип приводу узгоджується з видом оперативного струму - випрямлений змінний. На низьковольтній стороні встановлюються вимикачі ВРС-10 з аналогічним типом приводу;

- трансформатори напруги типу НКФ-110 на високій стороні, які використовуються для живлення приводів вимикачів. Для контролю ізоляції на низьковольтній стороні передбачено встановлення трансформаторів ЗНОЛ 06-10 УЗ;

- трансформатори струму: ТФЗМ-110 Б-І (триобмоткові) - на стороні 110 кВ, ТПЛ-10-М (триобмоткові) - на стороні 10 кВ;

- високовольтні обмежувачі перенапруг ОПН-П-110/56/10/550 в нейтраль силового трансформатора;

- для забезпечення власних потреб на стороні 10 кВ встановлюються трансформатори типу ТМГ-40/10 У1.

Система релейного захисту включає в себе такі функції: максимальний струмовий захист з витримкою часу, захист від замикань на землю, струмова відсічка, а також автоматичне введення резерву (АВР).

Обладнання блоків 110 та 10 кВ змонтовано на залізобетонних основах. Для відкритого розподільчого пристрою 110 кВ використовується гнучка ошиновка зі сталєво-алюмінієвого проводу марки АС-240/32. Для закритого розподільчого пристрою (ЗРП) було встановлено жорсткий струмопровід типу А-450

Головна схема електричних з'єднань реалізована за містковою схемою з вимикачем у перемичці та додатковою перемичкою, яка має два роз'єднувачі на стороні високої напруги.

Для комерційного та технічного обліку електроенергії на РП передбачено встановлення лічильників активної і реактивної енергії, а також універсальних лічильників типу АЛЬФА.

Висновок до третього розділу

У даному розділі було виконано всі необхідні розрахунки для підтвердження працездатності підстанції. Здійснено оцінку струмів короткого замикання, перевірку стійкості струмопроводів до динамічних і термічних навантажень, проведено розрахунки та зроблено перевірку електричних апаратів високої напруги, ізоляторів. Було перевірено обладнання для обліку та вимірювання електроенергії на підстанції, обрано потужність трансформаторів власних потреб (ТВП), а також розраховано параметри аварійного режиму для перевірки надійності вибраних технічних рішень. Усі результати розрахунків засвідчили відповідність запропонованих технічних параметрів сучасним нормативам і технічним вимогам.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської роботи було виконано всебічний аналіз, технічне обґрунтування та розрахункове забезпечення проектних рішень.

У першому розділі здійснено аналіз сучасного обладнання, яке може бути застосоване на підстанціях класу напруги 110/10 кВ. Було розглянуто характеристики силових трансформаторів, комутаційної апаратури, ізоляторів, а також засобів вимірювання та обліку електроенергії. В результаті аналізу визначено оптимальні варіанти обладнання, що забезпечують надійність, економічність і безпечну роботу майбутньої трансформаторної підстанції.

У другому розділі було розроблено основні технічні рішення майбутньої підстанції. Зокрема, виконано побудову добових і річних графіків навантажень, визначено потужність споживання, обґрунтовано вибір основного обладнання підстанції: трансформаторів, вимикачів, струмопроводів, вимірювальних приладів та обладнання для живлення власних потреб. Враховано експлуатаційні особливості, умови навколишнього середовища, перспективи зростання навантаження та забезпечення резервування, що дозволяє підтримувати безперервність енергопостачання споживачів.

У третьому розділі виконано технічні розрахунки, які підтверджують працездатність і надійність запропонованої схеми підстанції. Було проведено розрахунок струмів короткого замикання, навантаження трансформаторів, перевірку на термічну та електродинамічну стійкість струмопроводів, а також визначено параметри аварійного режиму. Усі результати відповідають чинним технічним нормам та вимогам до безпеки енергетичного обладнання.

Загалом виконана робота охоплює всі необхідні етапи проектування електричної частини трансформаторної підстанції, забезпечуючи її ефективну, безпечну та безперебійну експлуатацію в умовах реального промислового об'єкта.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Трансформатор ТДН 16000/110 [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mart.dp.ua/2019/09/05/%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80-%D1%82%D0%B4%D0%BD-16000-110-10/>
2. Трансформатор ТДТН 16000/110 [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://trans-energo.com/transformator-trdns/transformator-tdtn-16000-kva-110-38-5-11-kv/>
3. ВИСОКОВОЛЬТНЕ ОБЛАДНАННЯ 110 - 750 кВ [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.general.energy/catalog/GEC-110-750-13.01.2022.pdf>
4. Високовольтні елегазові вимикачі для зовнішньої установки [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.cgglobal.com.ua/tms/files/switchers.pdf>
5. Каталог продукції «Рівненський завод високовольтної апаратури» - Рівне, 2022р. - 11с.
6. Високовольтне і низьковольтне обладнання [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://ukrelektro.com.ua/ua/>
7. Високовольтне і низьковольтне обладнання [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://slavgorenergo.com.ua/ua/>
8. Електротехнічне обладнання [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://energosphera.org.ua/>
9. Електрична частина станцій та підстанцій: метод. рекомендації до виконання курс. проекту з навч. дисц. «Електрична частина станцій та підстанцій» для студ. ден. та заочн. форм навч. спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад.: А. Ю. Орлович, О. В. Співак]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький: ЦНТУ, 2020. - 49с..
10. Лежнюк, П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій : навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.

11. СОУ-Н ЕЕ 20.178:2008 Схеми принципів електричних розподільчих установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66629

12. Літковець.С.П. Методичні рекомендації до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Електрична частина станцій і підстанцій» - Рівне: НУВГП, 2019р. - 92с.

13. Правила улаштування електроустановок (Мінпаливенерго України, 2017, перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання).

14. Шабад М.А. Розрахунки релейного захисту і автоматики розподільних мереж. 2-е видавництво, перераб. і доп. Л., «Енергія», 2018. 288 с. з илл.

15. Рівненський завод високовольної апаратури [Електронний ресурс] - Режим доступу:

http://www.rzva.ua/ru/produkcija/komutaciiniaparati_1472639412/vakuumni-vimikachi-110- kv_1472638806/vrs110_1472638787.htm.

16. Харченко В.Ф. Електропостачання міст та промислових підприємств: навчальний посібник / В.Ф. Харченко. – Харків: ХНАМГ, 2011. – 169 с.

17. Орлович А.Ю. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання: навчальний посібник / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський, О. В. Співак, А. І. Котиш, Т. В. Величко – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 272 с.

18. Сегеда М. С. Лінії електропересилання, трансформатори та обчислення їх параметрів: навчальний посібник / Сегеда М. С., Дьяченко Н. Б., Козовий А. Б. – Львів: Видавництво Національного університету. «Львівська політехніка», 2020. – 176 с.

19. Абраменко І.Г. Загальна характеристика та розрахунок режимів розподільних мереж: навч. посібник / В. А. Лушкін, І. Г. Абраменко, І. В. Барбашов та ін.; за ред. І. Г. Абраменка; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2013. – 193 с.

Додаток А

<i>Поз.</i>	<i>Тип, назва</i>	<i>Кількість</i>
1	<i>Зовнішня огорожа</i>	
2	<i>Портал з блискавкоприймачем</i>	2
3	<i>Грозотрос</i>	2
4	<i>Роз'єднувач РНДЗ-2-110/1000</i>	2
5	<i>Блок роз'єднувача РНДЗ-1-110/1000 з трансформатором струму ТФЗМ-110 Б-І</i>	2
6	<i>Блок роз'єднувача РНДЗ-2-110/1000 з трансформатором струму ТФЗМ-110 Б-І</i>	4
7	<i>Вузол перетину шин 110 кВ</i>	
8	<i>Вимикач елегазовий GL312-110-3150/40</i>	3
9	<i>Дорога для транспорту</i>	
10	<i>Блок опорних ізоляторів з РВС-110 кВ</i>	2
11	<i>Конструкція для підводу до силового трансформатора</i>	2
12	<i>Провід сталеалюмінієвий АС-240/32</i>	
13	<i>Силовий трансформатор ТДН 16000/110/11</i>	2
14	<i>Заземлювач ЗОН-110 кВ з ОПН-П-110/56/10/550</i>	2
15	<i>Шинна опора</i>	4
16	<i>Модульна будівля КРУ</i>	1
17	<i>Комірка типу КУ-10Ц</i>	24
18	<i>Освітлювальна опора h=18м з блискавкоприймачем</i>	2
19	<i>Блок РВО-10 кВ</i>	2
20	<i>Трансформатор напруги НКФ-110-83</i>	2
21	<i>Маслозбірник</i>	1
22	<i>Блок РВС-110 кВ</i>	2

Додаток Б

Таблиця Б.1 - Розрахункові характеристики елегазового вимикача на напругу
110кВ

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахункові данні
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст.} \leq U_{ном.}$	110 = 110
Довготривалий номінальний струм, А	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном.}$	133,5 < 3150
Номінальний струм динамічної стійкості: симетричний (ефективне значення), кА асиметричний (максимальне значення), кА	$I'' \leq I_{дин.ст.}$ $i_y \leq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{дин.ст.}$	11,5 ≤ 40 22,04 < 1,8 · √2 · 40
Номінальний струм відключення: симетричний, кА асиметричний, кА	$I_{пт} \leq I_{ном.відк.}$ $\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{пт} \leq \sqrt{2} \cdot I_{ном.відк.} \cdot (1 - \beta_n)$	22,04 < 40 $\sqrt{2} \cdot 22,04 < 40$
Номінальний тепловий імпульс (термічна стійкість), кА ² * с	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$	217 < 4800

Джерело:[9]

Додаток В

Таблиця В.1 - Розрахункові характеристики вакуумного вимикача на напругу
10кВ

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахункові данні
Довготривалий номінальний струм, А	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном.}$	587,85 < 630
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст.} \leq U_{ном.}$	10 = 10
Номінальний струм відключення:		
симетричний, кА	$I_{нт} \leq I_{ном.відк.}$	10,26 < 25
асиметричний, кА	$\sqrt{2} \cdot I_{нт} + i_{нт} \leq \sqrt{2} \cdot I_{ном.відк.} \cdot (1 - \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 10,26 < 25$
Номінальний тепловий імпульс (термічна стійкість), кА ² * с	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$	34,6 < 1875
Номінальний струм динамічної стійкості:		
симетричний (ефективне значення), кА	$I'' \leq I_{дин.ст.}$	5,7 ≤ 52
асиметричний (максимальне значення), кА	$i_y \leq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{дин.ст.}$	10,26 < 1,8 · √2 · 52

Джерело:[9]

Додаток Д

Таблиця Д.1 - Навантаження всіх вимірювальних приладів, приєднаних до трансформатора струму

Найменування та тип приладу	Навантаження фази А	Навантаження фази В	Навантаження фази С
Амперметр Е-377	0,1	0,1	0,1
Амперметр Е-377	0,1	0,1	0,1
Вольтметр Е-378	2	2	2
Вольтметр Е-378	2	2	2
Лічильник Альфа AS3000	5	5	5
Лічильник Альфа AS3000	5	5	5
Лічильник Альфа AS3000	5	5	5
Лічильник Альфа AS3000	5	5	5
Всього на вводі	24,2	24,2	24,2
Амперметр Е-378	0,1	0,1	0,1
Амперметр Е-378	0,1	0,1	0,1
Амперметр Е-378	0,1	0,1	0,1
Амперметр Е-378	0,1	0,1	0,1
Вольтметр Е-378	2	2	2
Вольтметр Е-378	2	2	2
Частотомір Е-371	1	1	1
Лічильник Альфа AS3000	5	5	5
Лічильник Альфа AS3000	5	5	5
Лічильник Альфа AS3000	5	5	5
Лічильник Альфа AS3000	5	5	5
Всього на відгалуженнях	25,4	25,4	25,4

Джерело:[10]

Додаток Ж

Таблиця Ж.1 - Навантаження всіх вимірювальних приладів, приєднаних до трансформатора напруги

Найменування та тип приладу	Потужність однієї котушки приладу	К-сть обмоток	К-сть приладів	$\sin\varphi$	$\cos\varphi$	P, Вт	Q, вар
Варметр Д-305	2 ВА	1	1	0	1	2	-
Ватметр Д-312	1,5 ВА	2	1	0	1	3	-
Вольтметр Е-377	2 ВА	2	2	0	1	8	-
Частотомір Е-371	1 ВА	2	1	0	1	2	-
Лічильник активної енергії И-680	2 Вт	2	7	0,925	0,38	9,88	25,9
Лічильник реактивної енергії И-680	3 Вт	2	7	0,925	0,38	15,96	38,85
Лічильник Альфа AS3000	5 Вт	2	1	0,8	0,5	5	8
Всього	-	-	-	-	-	45,84	72,75

Джерело:[10]

Додаток К

Таблиця К.1 - Розрахунок потужності для трансформатора власних потреб

Вид споживачів	Встановлена Р, кВт	n	$P_{\text{сум}}$, кВт	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	P, Вт	Q, ВАр
Електродвигуни обдуву трансформаторів на 16 МВА	8	2	16	0,92	0,62	14,72	9,92
Пристрої підігріву викивачів 110 кВ	1,75	3	5,25	1	0	5,25	0
Обігрів шафи КРПЗ	0,6	24	14,4	1	0	14,4	0
Опалення і освітлення приміщення оперативного персоналу	6	1	6	1	0	6	0
Зовнішнє освітлення	5	2	10	1	0	10	0
Споживання оперативними колами	3	1	3	1	0	3	0
Всього:						53,37	9,92

Джерело:[9]