

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра Електротехніки та електроенергетики

До захисту допущено

кафедрою електротехніки та електроенергетики протокол № _____ від _____

завідувач кафедри _____ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

Розширення підстанції «Надвірна-110» 110/10/10 кВ Івано-Франківської області
(тема роботи)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

Здобувач _____ Олександр САЛЬКОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Ірина ПАНТЄЛЄЄВА
(підпис) (ім'я, прізвище)

Харків – 2026

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра Електротехніки та електроенергетики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Артем ЧЕРНЮК

(ім'я, прізвище)

(підпис)

«20» 06 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

САЛЬКОВА Олександра Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

1. Тема роботи: Розширення підстанції «Надвірна-110» 110/10/10 кВ Івано-Франківської області

керівник роботи Пантелєєва Ірина Вікторівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по Університету від «15» грудня 2025 року,

№ 4801-5/4399

2. Строк подання здобувачем роботи: «20» червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: технологічний процес, характеристика електрообладнання, рівні струмів КЗ від системи; параметри та типи електричних апаратів, які встановлені на підстанції; потужність нових споживачів

4. Коротка характеристика району та особливості підключення підстанції; аналіз існуючого обладнання; перевірка потужності силових трансформаторів;

аналіз існуючої схеми електричних з'єднань РП; розрахунок струмів КЗ; вибір та перевірка комутаційних та вимірювальних апаратів; розробка питань, пов'язаних з охороною праці.

5. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вихідні дані і характеристика підстанції	15.02-20.02	
2	Вибір схеми РП високої та низької напруги; задачі розширення підстанції	21.02-03.03	
3	Вибір силових трансформаторів	04.03-10.03	
4	Розрахунок струмів коротких замикань	11.03-25.03	
5	Вибір та перевірка високовольтних вимикачів всіх рівнів напруги	26.03-12.04	
6	Вибір та перевірка роз'єднувачів для всіх РП	13.04-23.04	
7	Вибір та перевірка вимірювальних трансформаторів струму	24.04-07.05	
8	Вибір та перевірка вимірювальних трансформаторів напруги	08.05-20.05	
9	Вибір та перевірка жорстких шин 10 кВ	21.05-25.05	
9	Охорона праці	26.05-31.05	
10	Оформлення пояснювальної записки	01.06-18.06	

6. Дата видачі завдання: « 15 » 02 2026 року

Здобувач вищої освіти _____ Олександр САЛЬКОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Ірина ПАНТЄЛЄВА
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи з теми «Розширення підстанції «Надвірна-110» 110/10/10 кВ Івано-Франківської області» студента Олександра

САЛЬКОВА

Бакалаврська робота виконана на 50 сторінок, містить 16 таблиць, 8 рисунків, що характеризують результати дослідження, використано літературних джерел 6.

Підстанція напругою 110/10/10 кВ «Надвірна-110», що розташована в Івано-Франківській області, відіграє важливу роль у забезпеченні електропостачання споживачів регіону, включаючи промислові підприємства, об'єкти соціальної інфраструктури та населення.

З урахуванням перспективного зростання навантаження в даному районі, а також необхідності підвищення надійності та гнучкості роботи електричних мереж, виникає потреба у розширенні та вдосконаленні даної підстанції. Існуючі технічні рішення не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо резервування, маневреності схем та можливості підключення нових споживачів, що обумовлює необхідність проведення заходів з реконструкції.

Розширення підстанції передбачає не лише збільшення встановленої потужності, але й оптимізацію схемних рішень, вибір сучасного електрообладнання, підвищення рівня автоматизації та впровадження новітніх технічних засобів, які забезпечують ефективну та безпечну експлуатацію.

Мета кваліфікаційної роботи – обґрунтування та розробка рішень щодо розширення підстанції «Надвірна-110» 110/10/10 кВ, які забезпечать підвищення надійності, ефективності та безпеки електропостачання споживачів регіону з урахуванням перспективного зростання навантаження.

Ключові слова: електрична підстанція, розширення підстанції, надійність електропостачання, силовий трансформатор, електричні навантаження, електричні апарати, струм короткого замикання

ABSTRACT

to the bachelor's qualification work on the topic "Expansion of the substation "Nadvirna-110" 110/10/10 kV in Ivano-Frankivsk region" by student Oleksandr

SALKOV

The bachelor's work is completed on 50 pages, contains 16 tables, 8 figures characterizing the results of the study, and uses 6 literary sources.

The 110/10/10 kV substation "Nadvirna-110", located in the Ivano-Frankivsk region, plays an important role in ensuring the power supply of consumers in the region, including industrial enterprises, social infrastructure facilities and the population.

Taking into account the prospective increase in load in this area, as well as the need to increase the reliability and flexibility of electrical networks, there is a need to expand and improve this substation. Existing technical solutions do not fully meet modern requirements for redundancy, circuit flexibility and the ability to connect new consumers, which necessitates the need for reconstruction measures.

The expansion of the substation involves not only increasing the installed capacity, but also optimizing circuit solutions, selecting modern electrical equipment, increasing the level of automation, and introducing the latest technical means that ensure efficient and safe operation.

The purpose of the qualification work is to substantiate and develop solutions for the expansion of the 110/10/10 kV substation "Nadvirna-110", which will ensure increased reliability, efficiency and safety of electricity supply to consumers in the region, taking into account the prospective increase in load.

Keywords: electrical substation, substation expansion, power supply reliability, power transformer, electrical loads, electrical devices, short-circuit current

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВСТУП

1.ХАРАКТЕРИСТИКА ІСНУЮЧОЇ ПІДСТАНЦІЇ «НАДВІРНА-110»

1.1. Характеристика об'єкту

1.2. Характеристика обладнання та схеми електричних з'єднань

2.СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ РП ПІДСТАНЦІЇ

2.1. Вибір схеми РП високої напруги

2.2. Вибір схеми РП низької напруги

2.3. Обладнання підстанції

2.4. Задачі розширення підстанції

2.5. Вибір трансформаторів

3.РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

4.ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

4.1. Вибір та перевірка роз'єднувачів

4.2. Вибір та перевірка вимикачів

4.3. Вибір та перевірка вимірювальних трансформаторів струму

4.4. Вибір та перевірка вимірювальних трансформаторів напруги.

4.5. Вибір та перевірка жорстких шин 10 кВ

5.ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Загальні положення

5.2. Розрахунок блискавкозахисту підстанції

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ			
		ВИСНОВКИ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		САЛЬКОВ			Розширення підстанції «Надвірна-110» 110/10/10 кВ Івано-Франківської області		Літ.	Арк.
Перевір.		ПАНТЄЛЕЄВА						Аркушів
Н. Контр.								
Затверд.		ЧЕРНЮК						

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ТП	—	трансформаторна підстанція
ПТЕ	-	правила технічної експлуатації
ПС	—	підстанція
РП	-	розподільчий пристрій
КРП	-	комплектний розподільчий пристрій
КЗ	-	коротке замикання
ПВ	-	повітряна лінія
ЛЕП	-	лінія електропередачі
ВТС	-	вимірювальний трансформатор струму
ВТН	-	вимірювальний трансформатор напруги

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВСТУП

Сучасний розвиток електроенергетичної галузі України супроводжується постійним зростанням споживання електричної енергії, що зумовлено як розширенням промислового виробництва, так і активною забудовою житлового сектору та розвитком інфраструктури. В умовах підвищення вимог до якості та надійності електропостачання особливої актуальності набувають питання модернізації та розширення існуючих мережевих об'єктів, зокрема підстанцій, які є ключовими елементами системи розподілу електричної енергії.

Підстанція 110/10/10 кВ «Надвірна-110», що розташована в Івано-Франківській області, відіграє важливу роль у забезпеченні електропостачання споживачів регіону, включаючи промислові підприємства, об'єкти соціальної інфраструктури та населення.

З урахуванням перспективного зростання навантаження в даному районі, а також необхідності підвищення надійності та гнучкості роботи електричних мереж, виникає потреба у розширенні та вдосконаленні даної підстанції. Існуючі технічні рішення не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо резервування, маневреності схем та можливості підключення нових споживачів, що обумовлює необхідність проведення заходів з реконструкції.

Розширення підстанції передбачає не лише збільшення встановленої потужності, але й оптимізацію схемних рішень, вибір сучасного електрообладнання, підвищення рівня автоматизації та впровадження новітніх технічних засобів, які забезпечують ефективну та безпечну експлуатацію. Особливу увагу необхідно приділити питанням надійності електропостачання, оскільки навіть короткочасні перерви можуть призводити до значних економічних втрат та порушення нормального функціонування об'єктів споживання.

Важливим аспектом є також врахування вимог чинних нормативних документів, стандартів та правил технічної експлуатації електроустановок, що регламентують вибір обладнання, побудову схем електричних з'єднань та забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу. Крім того, при проектуванні

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

необхідно враховувати сучасні тенденції розвитку електроенергетики, зокрема підвищення ролі цифрових технологій, автоматизованих систем керування та моніторингу стану обладнання.

У даній бакалаврській роботі розглядається питання розширення підстанції «Надвірна-110» 110/10/10 кВ з урахуванням перспективного розвитку електричних навантажень та необхідності підвищення надійності електропостачання споживачів Івано-Франківської області. Робота передбачає аналіз існуючого стану підстанції, вибір та обґрунтування схеми електричних з'єднань, підбір основного електрообладнання, виконання необхідних електротехнічних розрахунків, а також розгляд питань охорони праці та безпеки експлуатації.

Метою роботи є обґрунтування та розробка рішень щодо розширення підстанції «Надвірна-110» 110/10/10 кВ, які забезпечать підвищення надійності, ефективності та безпеки електропостачання споживачів регіону з урахуванням перспективного зростання навантаження.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ІСНУЮЧОЇ ПІДСТАНЦІЇ «НАДВІРНА-110»

1.1. Характеристика об'єкту

Підстанція 110/10/10 кВ «Надвірна-110» є важливим вузловим елементом електричних мереж Івано-Франківської області та забезпечує електропостачання міста Надвірна і прилеглих населених пунктів. Вона виконує функцію пониження напруги з рівня 110 кВ до 10 кВ з подальшим розподілом електроенергії до споживачів.

Живлення підстанції здійснюється по двох незалежних повітряних лініях електропередачі напругою 110 кВ, що підключені до енергосистеми через суміжні підстанції (умовно — «Битків», «Делятин» або інші вузлові підстанції регіону). Така схема забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання та можливість резервування у разі аварійних ситуацій (рис.1.1).

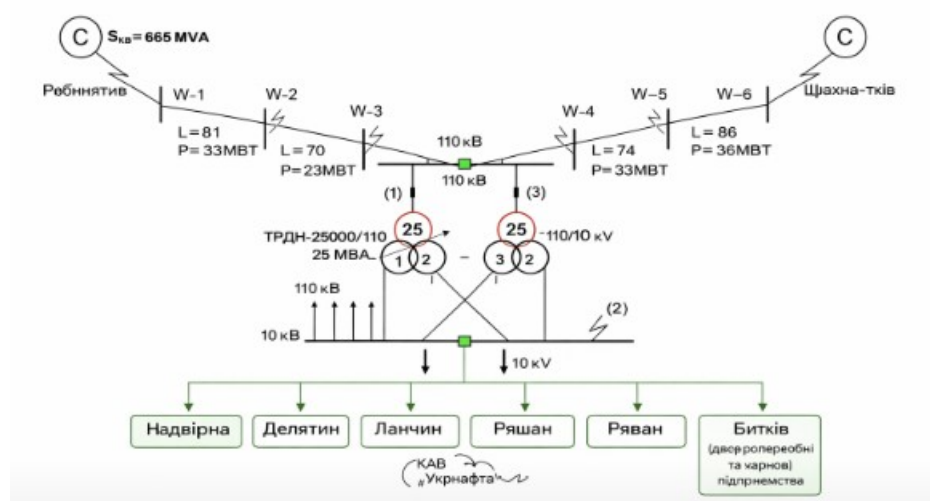


Рисунок 1.1 – Структурна схема району з підстанцією «Надвірна-110»

На підстанції встановлено два силові трансформатори типу ТРДН-25000/110/10, кожен номінальною потужністю 25 МВА. Трансформатори працюють паралельно та забезпечують живлення двох секцій шин 10 кВ. При нормальному режимі навантаження розподіляється між трансформаторами, а у після аварійному режимі допускається переведення всього навантаження на один трансформатор.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Розподільчий пристрій 110 кВ виконаний за схемою з однією робочою системою шин з можливістю секціонування або з використанням перемичок (відповідно до зображеної схеми). До шин 110 кВ підключені лінії електропередачі, які здійснюють транзит та живлення підстанції.

З боку 10 кВ підстанція має розподільчий пристрій, який живить споживачів міста Надвірна та навколишніх населених пунктів, зокрема: Надвірна, Битків, Пасічна, Делятин, Ланчин, а також прилеглі сільські райони.

До основних споживачів, що отримують живлення від підстанції, належать: нафтогазовидобувні підприємства (зокрема об'єкти ПАТ «Укрнафта» у районі Биткова), деревообробні та харчові підприємства, комунальні об'єкти, а також житловий сектор.

Розподільча мережа 10 кВ виконана за радіальною або змішаною схемою з використанням повітряних і кабельних ліній. Від шин 10 кВ відходять фідери, що забезпечують живлення трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ, через які здійснюється електропостачання кінцевих споживачів.

1.2. Характеристика обладнання та схеми електричних з'єднань

Існуюча підстанція 110/10/10 кВ «Надвірна-110» оснащена комплектом основного та допоміжного електрообладнання, що забезпечує прийом, трансформацію та розподіл електричної енергії. До складу обладнання підстанції входять силові трансформатори типу ТРДН-25000/110/10 потужністю по 25 МВА, які здійснюють пониження напруги з рівня 110 кВ до 10 кВ. Трансформатори обладнані пристроями регулювання напруги під навантаженням (РПН), що дозволяє підтримувати необхідний рівень напруги у мережі 10 кВ.

Розподільчий пристрій (РП) 110 кВ включає вимикачі, роз'єднувачі, трансформатори струму та напруги, а також захисні апарати та пристрої релейного захисту і автоматики. Як правило, у подібних підстанціях використовуються елегазові або масляні вимикачі попередніх поколінь, які мають обмежений ресурс та потребують регулярного технічного обслуговування.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На стороні 10 кВ встановлено комплектні розподільчі пристрої (КРП), що містять вакуумні або маломасляні вимикачі, струмообмежувальні реактори (за необхідності), а також комірки відхідних ліній. Від цих комірок живляться кабельні та повітряні лінії, що забезпечують електропостачання споживачів. Система власних потреб підстанції включає трансформатори власних потреб, щити постійного струму, акумуляторні батареї та системи оперативного живлення [1,2].

Незважаючи на працездатність існуючого обладнання, аналіз схеми підстанції показує, що застосована схема збірних шин на стороні 110 кВ та 10 кВ не повністю відповідає сучасним вимогам до надійності та гнучкості експлуатації. Зокрема, використання спрощених схем (наприклад, однієї системи шин без достатнього резервування або з обмеженими можливостями секціонування) призводить до того, що при пошкодженні або виведенні в ремонт окремих елементів виникає необхідність відключення значної частини споживачів.

Крім того, з урахуванням підключення нових споживачів та зростання навантаження, існуюча схема не забезпечує достатньої пропускної здатності та оперативної гнучкості. Відсутність ефективного секціонування шин та обмежені можливості резервування ускладнюють виконання оперативних перемикачів, особливо в аварійних режимах.

Ще одним важливим фактором є моральне та фізичне старіння комутаційного обладнання. Застарілі вимикачі мають більший час відключення, нижчу надійність та потребують частішого обслуговування, що знижує загальну ефективність роботи підстанції. Сучасні вакуумні або елегазові вимикачі забезпечують кращі характеристики, зокрема менші комутаційні перенапруги та вищу експлуатаційну надійність.

У зв'язку з цим виникає необхідність реконструкції принципової схеми збірних шин підстанції, яка полягає у переході до більш досконалих схемних рішень — наприклад, застосування двох систем шин із секціонуванням, введення обхідної системи шин або використання більш сучасних схем типу «містка» чи «з

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

двома системами шин». Це дозволить забезпечити підвищення надійності електропостачання, можливість резервування живлення споживачів, зменшення кількості відключень при аваріях та під час проведення ремонтних робіт.

Таким чином, модернізація схеми збірних шин підстанції «Надвірна-110» є технічно обґрунтованою та необхідною, оскільки вона спрямована на підвищення надійності, гнучкості та ефективності функціонування електричної мережі в умовах зростаючих навантажень та сучасних вимог до якості електропостачання.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ РП ПІДСТАНЦІЇ

Вибір принципової схеми підстанції, як правило, пов'язаний із визначенням кількості, типу та номінальної потужності силових трансформаторів. При цьому необхідно враховувати вимоги до надійності електропостачання споживачів з урахуванням особливостей роботи підстанції, а також обмеження рівнів струмів короткого замикання (КЗ) в мережі.

Кількість трансформаторів насамперед визначається вимогами до надійності джерела живлення. Для забезпечення безперервного електропостачання споживачів I та II категорій надійності, як правило, передбачається встановлення двох силових трансформаторів, що забезпечує можливість резервування у разі відмови одного з них. Встановлення більшої кількості трансформаторів допускається лише за наявності відповідного техніко-економічного обґрунтування.

Застосування трансформаторів із розщепленою обмоткою НН дозволяє ефективно обмежити рівень струмів короткого замикання на стороні низької напруги, що є важливим для забезпечення надійної та безпечної роботи електрообладнання підстанції. Конструктивно такі трансформатори виконуються як триобмоткові, де обмотка низької напруги поділена на дві електрично ізольовані секції, що забезпечує розподіл навантаження та зменшення впливу аварійних режимів.

2.1. Вибір схеми РП високої напруги

Експлуатація мостових схем передбачає їх застосування на стороні високої напруги підстанцій 35, 110 та 220 кВ при наявності чотирьох приєднань (дві повітряні лінії та два трансформатори). Такі схеми є доцільними у випадках, коли необхідно забезпечити секціонування мережі та підвищити гнучкість її роботи.

На рівнях напруги 110 і 220 кВ мостові схеми можуть виконуватися як із ремонтною перемичкою, так і без неї — за умови відповідного техніко-економічного обґрунтування. Використання ремонтної перемички підвищує

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

зручність експлуатації, дозволяючи виконувати ремонтні роботи без повного відключення підстанції.

У разі необхідності поділу мережі на секції доцільно застосовувати схему, яка передбачає встановлення вимикачів у колах трансформаторів та наявність ремонтної перемички з боку трансформатора. Це забезпечує підвищення надійності електропостачання та розширює можливості оперативних перемикань.

У схемі типу «міст із вимикачами в лінійних колах і перемичкою з боку лінії», наведеної на рис. 2.1, для чотирьох приєднань передбачено встановлення трьох вимикачів. Вимикач, розташований у перемичці між двома лініями, у нормальному режимі перебуває у включеному стані.

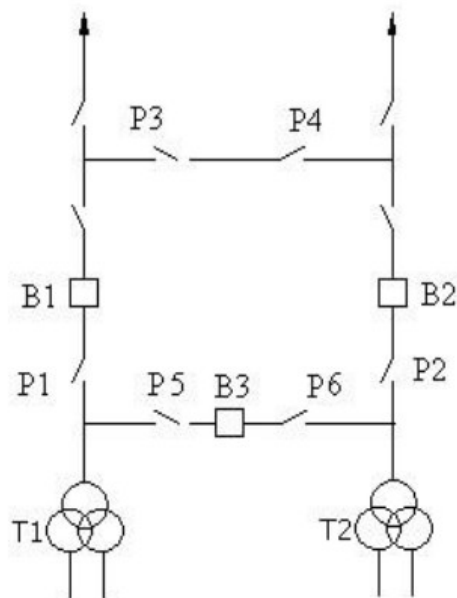


Рисунок 2.1 - Місток з вимикачами в ланцюгах ліній і ремонтною перемичкою з боку ліній

При пошкодженні лінії L1 її відключення здійснюється вимикачем B1, при цьому трансформатори T1 і T2 залишаються в роботі, а зв'язок з енергосистемою забезпечується через лінію L2. У випадку пошкодження трансформатора T1 відключаються вимикач з боку нижчої напруги, а також вимикачі B1 і B3. При цьому лінія L1 також відключається, хоча безпосередньо не пошкоджена.

Це є недоліком даної схеми, оскільки в окремих аварійних ситуаціях не забезпечується повна безперервність передачі потужності та погіршується надійність електропостачання.

Незважаючи на зазначені недоліки, схема такого типу приймається до застосування завдяки своїй конструктивній простоті, економічності та достатньому рівню надійності для заданих умов. Вона потребує меншої кількості вимикачів у порівнянні з більш складними схемами, що знижує капітальні витрати та спрощує експлуатацію. При цьому схема забезпечує можливість резервування живлення по альтернативній лінії та допускає виконання оперативних перемикачів, що є достатнім для підстанцій даного класу напруги та характеру навантаження.

2.2. Вибір схеми РП низької напруги

На підстанціях низької напруги застосовують схеми з однією або двома системами збірних шин. Для двотрансформаторних підстанцій обов'язковим є секціонування шин, при цьому, як правило, використовують дві або чотири секції.

Схема з однією системою збірних шин є найпростішою та найбільш наочною в реалізації [5]. У разі аварії на одній секції відключається лише частина споживачів, тоді як інша секція продовжує працювати в нормальному режимі.

При застосуванні схеми з чотирма секціями шин використовують трансформатори з розщепленими обмотками або двосекційні реактори, встановлені в колах трансформаторів. У такому випадку кожна секція функціонує незалежно, що підвищує надійність електропостачання.

Схема закритого розподільного пристрою (ЗРП) напругою 10 кВ виконана з двома системами збірних шин, які секціоновані між собою, що забезпечує підвищену надійність та гнучкість роботи електроустановки.

ЗРП 10 кВ реалізовано на базі комплектних розподільчих пристроїв типу КРП 10 кВ КУ10С(М). Живлення до нього надходить від силових

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

трансформаторів Т1 і Т2 через вимикачі відповідних комірок: 7 (для першої системи шин) та 15 (для другої системи шин).

Розподільний пристрій забезпечує подачу електроенергії до 31 комірки, від яких здійснюється живлення споживачів, систем власних потреб, вимірювальних трансформаторів напруги, а також установок компенсації ємнісних струмів у мережі 10 кВ.

Застосування двосекційної системи шин дозволяє підвищити надійність електропостачання, забезпечити можливість оперативного резервування та виконання ремонтних робіт без повного відключення споживачів (рис.2.2).

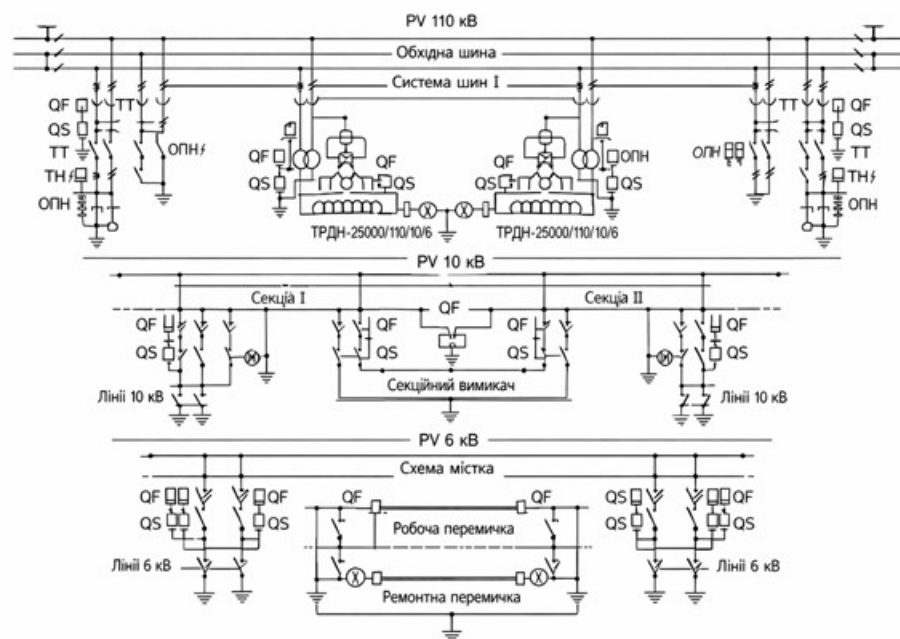


Рисунок 2.2 – Схема підстанції

2.3.Обладнання підстанції

Відкритий розподільчий пристрій напругою 110 кВ виконано із застосуванням стандартного високовольного обладнання даного класу напруги. До його складу входить маломасляний вимикач типу ММО-110/1250, встановлений у колі секційної перемички, технічні характеристики якого наведено в табл. 2.1.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики вимикача ММО-110/1250

Найменування параметра	Величина
Номінальна напруга, кВ	110
Номінальний струм, А	1250
Номінальний струм відключення, кА	20
Параметри наскрізного струму короткого замикання, кА	102
– найбільший пік	20
– початкове діюче значення періодичної складової	20
- струм термічної стійкості	
Повний час відключення, с	0,05
Власний час включення, с	0,15
Мінімальна безструмова пауза (пауза при АПВ), с	0,3

Крім того, у схемі використовуються роз'єднувачі типу РНДЗ.2-110/1000(600) (табл. 2.2), які забезпечують видиме роз'єднання електричних кіл, трансформатори струму ТС типу ТФЗМ-110Б-IV (табл. 2.3) для вимірювання та роботи пристроїв релейного захисту, а також трансформатори напруги (ТН) типу НКФ-110-57 У1 (табл. 2.4), призначені для контролю параметрів напруги.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики РНДЗ.2-110/1000(600)

Найменування параметру	Величина
Номінальна напруга, кВ	110
Найбільша робоча напруга, кВ	126
Номінальний струм, А	1000(600)
Струм електродинамічної стійкості для роз'єднувача, кА	80(40)
Струм термічної стійкості для роз'єднувача, кА	31,5(20)

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики ТС ТФЗМ -110Б-IV

Найменування параметру	Величина
Номинальна напруга мережі , кВ	110
Найбільша робоча напруга, кВ	126
Номинальний первинний струм, А	150
Номинальний вторинний струм, А	5
Струм термічної стійкості, кА	
-1-секундний	31,5
-3-секундний	20
Струм електродинамічної стійкості, кА	80

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики ТН НКФ-110-57 У1

Найменування параметру	Величина
Номинальна напруга, кВ	110
Номинальні напруги обмоток, В (Обмотка НН основна)	100/ $\sqrt{3}$
Номинальна потужність вторинних обмоток в класах точності, ВА (основна) 0,2	200
Номинальна потужність вторинних обмоток в класах точності, ВА (основна) 0,5	400
Номинальна потужність вторинних обмоток в класах точності, ВА (основна) 1	600

2.4.Задачі розширення підстанції

Один із районів характеризується активним розвитком будівництва багатоповерхового житла, готельних комплексів, а також перенесенням промислових підприємств із території міста Івано-Франківськ.

Зазначені процеси зумовлюють необхідність збільшення пропускної здатності розподільчих електричних мереж та підвищення встановленої потужності електропостачальних об'єктів. У зв'язку з виданими технічними

умовами на приєднання нових потужних споживачів до шин 10 кВ підстанції «Надвірна-110» виникає потреба у збільшенні її максимальної відпускної потужності.

У даній роботі для підстанції 110/10 кВ передбачено модернізацію високовольтного обладнання, зокрема заміну існуючих відокремлювачів і короткозамикачів трансформаторів Т-1 та Т-2 на сучасні елегазові вимикачі з установленим виносним трансформатором струму. Крім того, секційний вимикач СВ-110 типу ММО-110 також підлягає заміні на елегазовий вимикач із відповідними трансформаторами струму.

У рамках розширення підстанції 110/10 кВ передбачається поетапна заміна застарілого обладнання відкритого розподільчого пристрою 110 кВ із впровадженням сучасних технічних рішень. Замість демонтованих апаратів передбачено встановлення нового високовольтного обладнання, що забезпечує підвищення надійності, пропускної здатності та експлуатаційної ефективності підстанції.

Зокрема, у схемі ВРП-110 кВ передбачається встановлення елегазового вимикача типу ЗАР1FG–145 кВ з пружинним приводом, номінальним струмом 2000 А та струмом відключення 25 кА, укомплектованого виносними трансформаторами струму. Також передбачено встановлення трансформаторів напруги типу НКФ-110-57 на першій і другій системах збірних шин для забезпечення контролю параметрів режиму роботи.

Крім того, на вводах силових трансформаторів встановлюються елегазові вимикачі типу ЗАР1FG–145 кВ номінальним струмом 1250 А та струмом відключення 25 кА, також із виносними трансформаторами струму.

Реалізація зазначених заходів у процесі розширення підстанції дозволяє підвищити надійність електропостачання, забезпечити можливість підключення додаткових навантажень та привести технічний рівень обладнання у відповідність до сучасних вимог експлуатації електроенергетичних об'єктів.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При цьому принципова схема підстанції 110/10 кВ до моменту реконструкції повітряних ліній 110 кВ залишається без змін.

У межах розширення підстанції передбачається будівництво третьої та четвертої систем збірних шин 10 кВ, призначених для підключення нових споживачів району, із встановленням шести лінійних комірок. Одночасно заплановано заміну існуючого вимикача В-10 Т2 у комірці 15 на сучасний вакуумний вимикач типу ВВ/TEL-10/1000, що забезпечить підвищення надійності та ефективності роботи розподільчого пристрою.

2.5. Вибір трансформаторів

Станом на теперішній час до першої та другої систем збірних шин 10 кВ підключено 23 відхідні лінії, через які електроенергія безпосередньо передається споживачам. Максимальна встановлена потужність підстанції до реконструкції становить 20 МВА.

Однак у зв'язку з інтенсивним розвитком інфраструктури регіону, зокрема будівництвом готельних комплексів, станцій технічного обслуговування, автозаправних станцій та сучасних переробних підприємств, наявної потужності підстанції в пікові періоди є недостатньо. Це призводить до роботи силових трансформаторів у режимі перевантаження, що є недопустимим з точки зору надійності та безпеки експлуатації електрообладнання (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Навантаження ПС з врахуванням збільшення споживання

Номер вводу	P, кВт	Cos φ	U, кВ
1	4200	0,9	10,5
2	4200	0,9	10,5
3	4200	0,9	10,5
4	4200	0,9	10,5

Визначення сумарної максимальної активної потужності споживачів здійснюється за формулою (2.1). З урахуванням того, що трансформатор оснащений розщепленою обмоткою нижчої напруги, а зв'язок між збірними шинами 10 кВ реалізовано лише попарно (між першою та другою, а також третьою і четвертою секціями), живлення секцій 1 і 2 можливе тільки від обмотки НН1, тоді як секції 3 і 4 отримують живлення від обмотки НН2.

$$\begin{aligned}\sum P_{\max} &= P_{\max 1} + P_{\max 2} \\ \sum P_{\max} &= 4200 + 4200 = 8400 \text{ кВт.}\end{aligned}\quad (2.1)$$

Максимальні реактивні потужності споживачів визначаємо за формулою (2.2):

$$Q_{\max} = P_{\max} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.2)$$

де $\cos \varphi = 0,9 \rightarrow \varphi = 25,841^\circ \rightarrow \operatorname{tg} \varphi = 0,484$;

$$Q_{\max 1} = Q_{\max 2} = Q_{\max 3} = Q_{\max 4} = 4200 \cdot 0,484 = 2033 \text{ кВар};$$

Сумарну максимальну реактивну потужність споживачів можна визначити за формулою (2.3):

$$\begin{aligned}\sum Q_{\max} &= Q_{\max 1} + Q_{\max 2} \\ \sum Q_{\max} &= 2033 + 2033 = 4066 \text{ кВар.}\end{aligned}\quad (2.3)$$

Максимальна повна потужність споживачів визначається за формулою (2.4):

$$S_{\max 10} = K_p \cdot \left(1 + \frac{P_{\text{пост}} + P_{\text{змін}}}{100} \right) \cdot \sqrt{(\sum P_{\max})^2 + (\sum Q_{\max})^2}, \quad (2.4)$$

де $P_{\text{пост}}$ - постійні втрати, приймаємо 1..2 %; $P_{\text{змін}}$ - змінні втрати, приймаємо 5..8 %.

$$S_{\max 10} = 0,93 \cdot \left(1 + \frac{2+8}{100} \right) \cdot \sqrt{4000^2 + 4066^2} = 15880 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Вибір трансформаторів власних потреб:

$$S_{ТВП} \geq S_{ВП}$$

де: $S_{ВП}$ потужність трансформатора власних потреб; $S_{ВП} = S_T \cdot 0,006$;
 $S_{ВП}=25000 \cdot 0,006=150$ кВА.

Вибираємо два трансформатори типу GTBN-163-12/11.

Максимальне значення повної потужності на шинах високої напруги підстанції розраховується за формулою (2.5):

$$S_{\max 110}=(S_{\max 10 \text{ НН1}}+S_{\max 10 \text{ НН2}}+S_{ТВП}) \cdot K_p, \quad (2.5),$$

де K_p — коефіцієнт, що враховує різночасовість досягнення максимумів навантаження на обмотках НН1 і НН2 головного понижувального трансформатора, $K_p=0,95 \dots 0,98$;

$$S_{\max 110}=(15880+15880+163) \cdot 0,95=30330 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Вибір головного понижуючого трансформатора

Приймаємо режим експлуатації з одночасною роботою двох трансформаторів, розрахунок для якого виконується за формулою (2.6):

$$S_{HT} \geq \frac{S_{\max 110}}{K_{ав} (n-1)}, \quad (2.6)$$

де $K_{ав}$ - коефіцієнт допустимого перевантаження в аварійному режимі;
 $K_{ав}=1,4$;

$$S_{HT} \geq \frac{30330}{1,4 \cdot (2-1)},$$

$$25000 \text{ кВ} \cdot \text{А} > 21670 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Дані вибраного трансформатора приведені в табл. 2.6.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 2.6 - Параметри трансформаторів

Тип	S_H , кВ·А	U_{BH} , кВ	U_{HH1} , кВ	U_{HH2} , кВ	u_{KB-H} , %	u_{KB-C} , %	u_{KC-H} , %	Кіль- кість
ТРДН- 25000/110	25000	115	10,5	10,5	22	12,5	9,5	2

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Виконаємо розрахунок струмів короткого замикання для трифазного КЗ за умови роздільної роботи трансформаторів. Паралельний режим їх роботи не розглядається, оскільки на підстанціях ПАТ «Західенерго» така експлуатація трансформаторів не допускається.

$$U_{н.ср} = 115 \text{ кВ}.$$

Довжина живлячої лінії ПЛ-110 кВ, $l=2,8$ км.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

№ п/п	Вузол живлення	Ікз мах,кА	Zсист мах, Ом	Ікз мін, кА	Zсист мін, Ом
1	Шини 110 кВ ПС «Надвірна»	9,579	6,931	3,31	20,059

На рис. 3.1 та 3.2 наведені вихідна та схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання.

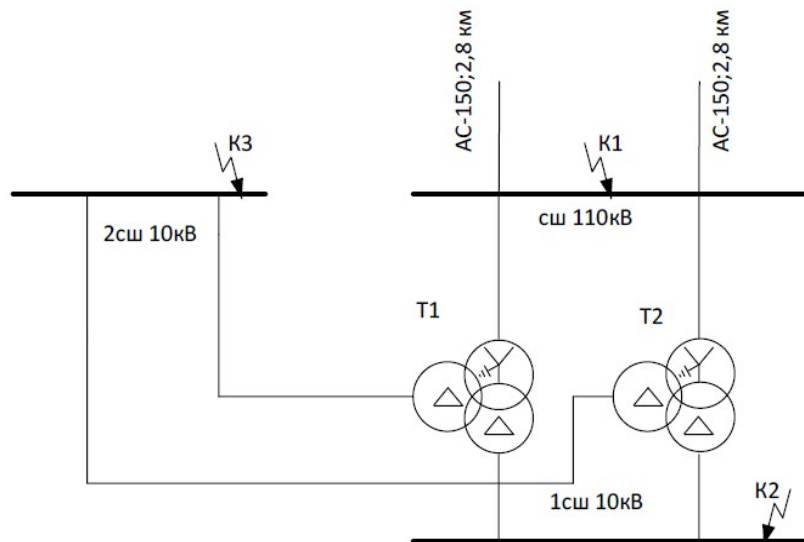


Рисунок 3.1 – Вихідна схема підстанції

За базисні значення напруги приймаємо: для сторони високої напруги (110 кВ) — 115 кВ, а для сторін НН1 і НН2 (10 кВ) — 11 кВ. Розрахунок виконується в

іменованих одиницях. Параметри схеми заміщення визначаються для режиму роздільної роботи трансформаторів.

Визначаємо опір системи:

$$x_c = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}^{Макс}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 9,579} = 6,931 \text{ Ом}$$

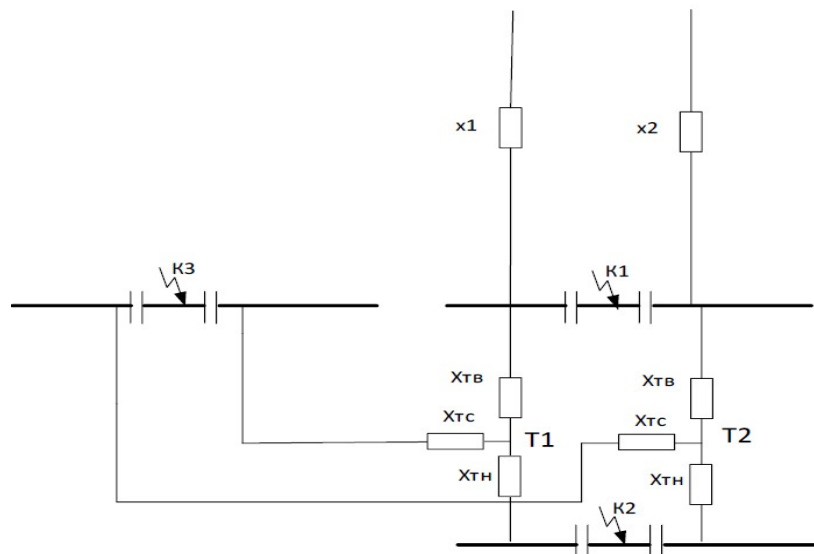


Рисунок 3.2 – Схема заміщення

Опір ділянки лінії ПЛ – 110 кВ:

$$x_{\text{Л}} = x_0 \cdot l = 0,301 \cdot 2,8 = 0,843 \text{ Ом}$$

Опори трансформатора:

$$x_{N-n} = \frac{U_{k(N-n)} \cdot U_{\text{вн}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}}$$

$$x_{\text{ВН-НН}_1} = \frac{20 \cdot 115^2}{100 \cdot 25} = 105,8 \text{ Ом};$$

$$x_{\text{ВН-НН}_2} = \frac{20 \cdot 115^2}{100 \cdot 25} = 105,8 \text{ Ом};$$

$$x_{\text{НН}_1\text{-НН}_2} = \frac{30 \cdot 115^2}{100 \cdot 25} = 158,7 \text{ Ом}.$$

Сумарний опір у точці К1 визначаємо так:

$$x_{K_1} = x_l + x_c = 0,843 + 6,931 = 7,774 \text{ Ом}$$

Сумарний опір у точці К2 та К3:

$$x_{K_2} = x_{K_3} = x_l + x_c + \frac{x_{BH-HH_1} \cdot x_{HH_1-HH_2}}{x_{BH-HH_1} + x_{HH_1-HH_2}} = 0,843 + 6,931 + \frac{105,8 \cdot 158,7}{105,8 + 158,7} = 71,25 \text{ Ом}$$

Струм короткого замикання в точці К1:

$$I_{K_{\Sigma 1}} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot x_{K_2}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 71,25} = 0,932 \text{ кА}$$

Струм короткого замикання в точці К2 та К3:

$$I_{K_{\Sigma 2}} = I_{K_{\Sigma 3}} = \frac{U_{\phi_{BH}}}{U_{\phi_{HH}}} \cdot I_{K_{\Sigma 1}} = \frac{115}{11} \cdot 0,932 = 9,743 \text{ кА}$$

При живленні місця короткого замикання від енергосистеми, внаслідок незмінності напруги на її шинах, амплітуда періодичної складової струму КЗ з часом не змінюється, а її діюче значення протягом усього процесу короткого замикання залишається постійним.

Потужність КЗ визначаємо за формулою:

$$S_K = \sqrt{3} \cdot I_{K3} \cdot U_{\phi}$$

При $t=0,2$ с після КЗ:

$$\text{Для точки } K_1 : S_K = \sqrt{3} \cdot 0,932 \cdot 115 = 185,64 \text{ МВА.}$$

$$\text{Для точки } K_1 : S_K = \sqrt{3} \cdot 9,743 \cdot 11 = 185,63 \text{ МВА.}$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K3}$$

де $k_{уд}$ - ударний коефіцієнт для ЗРП, $k_{уд} = 1,85$.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для точки К₁ : $i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{кз} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 0,932 = 2,44 \text{ кА}.$

Для точки К₂ : $i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{кз} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 9,743 = 25,5 \text{ кА}.$

Максимальне діюче значення повного ударного струму трифазного короткого замикання, яке використовується для перевірки електрообладнання, збірних шин та ізоляторів, визначається за відповідною залежністю:

$$I_{уд} = I_{кз} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{уд} - 1)^2}$$

Для точки К₁ : $I_{уд} = 0,932 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,85 - 1)^2} = 1,457 \text{ кА}.$

Для точки К₂: $I_{уд} = 9,743 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,85 - 1)^2} = 15,23 \text{ кА}.$

Результати розрахунків наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати розрахунків струмів КЗ

Номер точки КЗ	I _{кз} , кА	I _{уд} , кА	i _{уд} , кА
К1	0,932	1,457	2,44
К2	9,743	15,23	25,5
К3	9,743	15,23	25,5

4.ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Виконаємо підбір і перевірку електрообладнання підстанції з урахуванням її модернізації та збільшення встановленої потужності.

У зв'язку з тим, що проєктом передбачено збільшення кількості комірок КРУ-10 кВ, необхідно здійснити підбір їх електрообладнання. Зокрема, виконується вибір роз'єднувача для сторони 10 кВ.

4.1.Вибір та перевірка роз'єднувачів

На попередньому етапі для КРП 10 кВ обираємо роз'єднувач типу РШ-10/600М УХЛ-2. Його основні технічні характеристики заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Паспортні дані роз'єднувача РШ-10/2000М УХЛ-2

Параметр	Величина
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальна найбільша напруга, кВ	12
Номінальний струм, кА	2,0
Найбільший струм електродинамічної стійкості, кА	80
Струм термічної стійкості за час 3 с, кА	31,5

Здійснюємо перевірку:

- По напрузі:

$$U_{уст} \leq U_{нр};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12 \text{ кВ.}$$

- По робочому максимальному струму:

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$I_{\text{роб}} \leq I_{\text{ном}};$$

$$I_{\text{роб.макс.}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = 1,4 \cdot \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1924,5 \text{ A};$$

$$1924,5 \leq 2000.$$

- Перевірка на електродинамічну стійкість:

$$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{дин}};$$

$$25,5 \leq 80.$$

- Перевірка на термічну стійкість:

$$B_K \leq I_{\text{терм.ст.}}^2 \cdot t_m;$$

$$B_K = I_{\text{кз}}^2 \cdot (T_{\text{терм}} + T_a) = 9,743^2 \cdot (3 + 0,05) = 289,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{\text{терм.ст.}}^2 \cdot t_m = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$289,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 2976,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Всі умови виконуються.

Отже, роз'єднувач вибрано вірно..

Лінійний роз'єднувач на стороні 110 кВ.

На попередньому етапі приймаємо до вибору роз'єднувач типу РНДЗ-ІІ-110/600 УХЛ-1. Його паспортні характеристики наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Паспортні дані роз'єднувача РНДЗ-ІІ-110/600 УХЛ-1

Параметр	Величина
Номинальна напруга, кВ	110
Номинальна найбільша напруга, кВ	126
Номинальний струм, кА	0,6
Найбільший струм електродинамічної стійкості, кА	63
Струм термічної стійкості за час 3 с, кА	25

Зробимо перевірку:

- Перевірка по напрузі:

$$U_{уст} \leq U_{нр};$$
$$110 \text{ кВ} \leq 126 \text{ кВ}.$$

- Перевірка по максимальному робочому струму:

$$I_{роб} \leq I_{ном};$$
$$I_{роб.макс.} = 1,4 \cdot \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 1,4 \cdot \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 183,7 \text{ А};$$
$$183,7 \leq 600.$$

- Перевірка на електродинамічну стійкість:

$$I_{уд} \leq I_{дин};$$
$$2,44 \leq 63.$$

- Перевірка на термічну стійкість:

$$B_k \leq I_{терм.ст.}^2 \cdot t_m;$$
$$B_k = I_{кз}^2 \cdot (T_{терм} + T_a) = 0,923^2 \cdot (3 + 0,05) = 2,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$
$$I_{терм.ст.}^2 \cdot t_m = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$
$$2,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Тобто всі умови виконуються.

Отже, роз'єднувач обрано правильно.

Зазначений розрахунок є справедливим також для роз'єднувачів, установлених у колах приєднання трансформатора, секційного вимикача та транзитної перемички (табл.4.3).

Таблиця 4.3 - Паспортні дані роз'єднувача РНДЗ-I-110/600 УХЛ-1

Параметр	Величина
Номінальна напруга, кВ	110

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Номінальна найбільша напруга, кВ	126
Номінальний струм, кА	0,6
Найбільший струм електродинамічної стійкості, кА	63
Струм термічної стійкості за час 3 с, кА	25

Особливістю цього роз'єднувача, порівняно з попереднім, є наявність одного заземлювального ножа.

4.2. Вибір та перевірка вимикачів

Вибір вимикача на стороні 10 кВ.

У даній роботі передбачається заміна вимикача В-10 Т-2, виконаного на базі масляного вимикача серії ВК-10, на сучасний вакуумний вимикач типу ВВ/TEL-10/2000. Крім того, заплановано встановлення двох увідних вимикачів для третьої та четвертої секцій збірних шин типу ВВ/TEL-20/1000, а також по три лінійних вимикачі типу ВВ/TEL-20/630 для підключення проєктного навантаження.

На попередньому етапі для розрахунків приймається вимикач типу ВВ/TEL-20/2000, основні технічні характеристики якого наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Паспортні дані вимикача типу ВВ/TEL-20/2000

Параметр	Величина
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, кА	2,0
Найбільший струм електродинамічної стійкості, кА	63
Струм термічної стійкості за час 3 с, кА	25
Номінальний струм відключення, кА	25
Власний час відключення, мс , не більше	15
Повний час відключення, мс , не більше	25

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Робимо перевірку обраного вимикача:

- Перевірка по напрузі:

$$U_{уст} \leq U_{нр};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

- Перевірка по максимальному робочому струму:

$$I_{роб} \leq I_{ном};$$

$$I_{роб.макс.} = 1,4 \cdot \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 1,4 \cdot \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1924 \text{ А};$$

$$1924 \leq 2000.$$

- Перевірка на електродинамічну стійкість:

$$I_{уд} \leq I_{дин};$$

$$25 \leq 63.$$

- Перевірка на термічну стійкість:

$$W_K \leq I_{терм.ст.}^2 \cdot t_m;$$

$$W_K = I_{кз}^2 \cdot (T_{терм} + T_a) = 9,743^2 \cdot (3 + 0,05) = 289,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{терм.ст.}^2 \cdot t_m = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$289,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Умови виконуються, отже, вимикач вибрано правильно.

Обираємо вимикач на стороні 110 кВ.

На попередньому етапі обираємо вимикач типу 3AP1FG-145 кВ, паспортні характеристики якого наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Дані вимикача типу 3AP1FG-145 кВ.

Параметр	Величина
Номінальна напруга, кВ	110
Номінальна найбільша напруга, кВ	126
Номінальний струм, кА	3,15

Номінальний струм відключення, кА	40
Найбільший струм електродинамічної стійкості, кА	108
Струм термічної стійкості за час 3 с, кА	31,5

- Перевірка по напрузі:

$$U_{уст} \leq U_{нр};$$

$$110 \text{ кВ} \leq 126 \text{ кВ}.$$

- Перевірка по максимальному робочому струму:

$$I_{роб} \leq I_{ном};$$

$$I_{роб.макс.} = 1,4 \cdot \frac{S_{ном} \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 1,4 \cdot \frac{25000 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 115} = 351,43 \text{ А};$$

$$351,43 \leq 3150.$$

- Перевірка на електродинамічну стійкість:

$$I_{уд} \leq I_{дин};$$

$$2,44 \leq 108.$$

- Перевірка на термічну стійкість:

$$B_k \leq I_{терм.ст.}^2 \cdot t_m;$$

$$B_k = I_{кз}^2 \cdot (T_{терм} + T_a) = 0,923^2 \cdot (3 + 0,05) = 2,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{терм.ст.}^2 \cdot t_m = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$2,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 2976,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Всі умови перевірки виконуються, отже, вимикач вибрано вірно.

4.3.Вибір та перевірка вимірювальних трансформаторів струму.

Умови вибору: $U_n \geq U_p$; $I_n \geq I_{p \max}$.

Умови перевірки: $i_d \geq i_y$; $I_t^2 \cdot t_t \geq B_k$.

Результати вибору трансформаторів струму (ВТС) зводимо в табл. 4.6.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 4.6 – Вибір трансформаторів струму

РП	Приєднання	Тип трансформатору	U_n/U_p	$I_n/I_p \text{ max}$	i_d/i_y	$I_T^2 t_T/V_k$
110 кВ	Секційна перемичка	ТФЗМ 110Б-300-600/5	110/110	600/367,4	80/2,1	$31,5^2$ 4/2,26
	Увід трансформатора	ТФЗМ 110Б-200-400/5	110/110	600/183,7	80/2,1	2544
10 кВ	Увід РП	ТЛМ-10/1000	10/10	1000/962,3	128/25	147/79,68
	Збірні шини	ТЛМ-10/1000	10/10	1000/962,3	128/25	147/79,68
	СВ-10 кВ	ТЛМ-10/1000	10/10	1000/962,3	128/25	147/79,68

На рис.4.1 приведена розрахункова схема для визначення потужності приєднаних приладів.

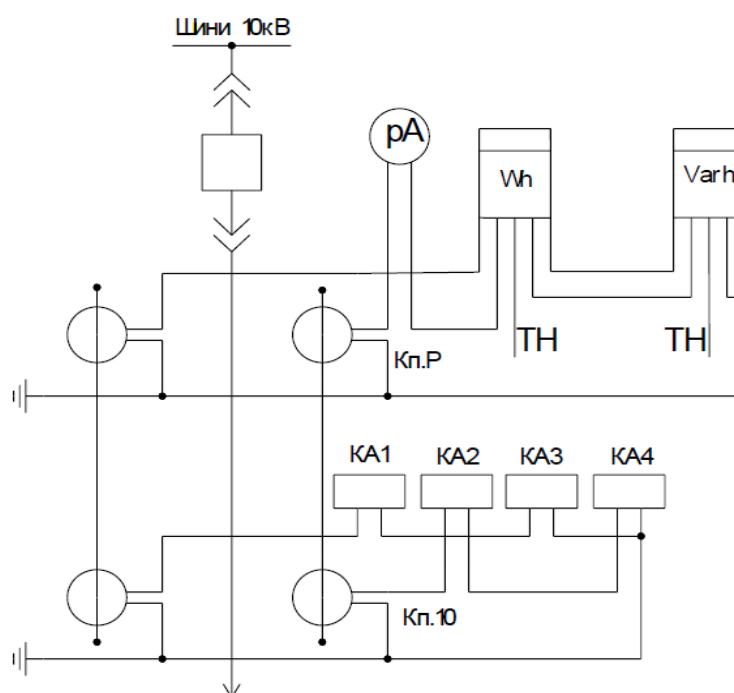


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема

Умови перевірки ВТС:

$$Z_{2 \text{ расч}} \leq Z_{2 \text{ ном}};$$

$$Z_A = \frac{S_A}{I_2^2};$$

$$Z_a = \frac{0,5_2}{5} = 0,02 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{сч а}} = \frac{S}{I_2^2};$$

$$Z_{\text{сч.а}} = \frac{2,5}{5} = 0,1;$$

$$Z_{\text{сч р}} = \frac{S}{I_2^2};$$

$$Z_{\text{сч.р}} = \frac{2,5_2}{5} = 0,1 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{пров}} = \frac{1}{\gamma S};$$

$$Z_{\text{пров.}} = \frac{5}{53 \cdot 4} = 0,024 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{конт.}} = 0,1 \text{ Ом};$$

$$Z_{2 \text{ расч.}} = 0,02 + 0,1 + 0,1 + 0,024 + 0,1 = 0,344 \text{ Ом};$$

$$0,344 \leq 0,4; \quad R_n = 0,5.$$

4.4. Вибір та перевірка вимірювальних трансформаторів напруги

Умови вибору: $U_n \geq U_p$

Результати вибору вимірювальних трансформаторів напруги (ВТН) зводимо в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7 – Параметри трансформаторів напруги

РП	Тип	$U_{1н}$, кВ	$U_{н р}$, кВ	$U_{2н}$, В	S_n , В·А
110 кВ	НКФ-110-57 У1	110	$110/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	400
10 кВ	НТМИ-10-66 У3	10	10	$100/3$	340

Параметри приладів, підключених до вторинної обмотки трансформаторів напруги, узагальнюємо та подаємо в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Параметри приладів

Найменування	Тип	Число катушок у приладі	Число приладів	Потужні сть катушки	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	ΣP прил	ΣQ прил
Вольтметр	E378	1	1	2	1	0	2	0
Лічильник активної енергії	САЗУ	2	8	8	0,38	0,93	48,64	119,04
Лічильник реактивної енергії	СР4У	3	8	8	0,38	0,93	72,96	178,56
Реле напруги	РН54	1	2	1	1	0	2	0
Всього	-	-	-	-	-	-	125,6	297,6

Приведемо розрахункову схему для перевірки трансформатора напруги на відповідність класу точності, рис.4.2.

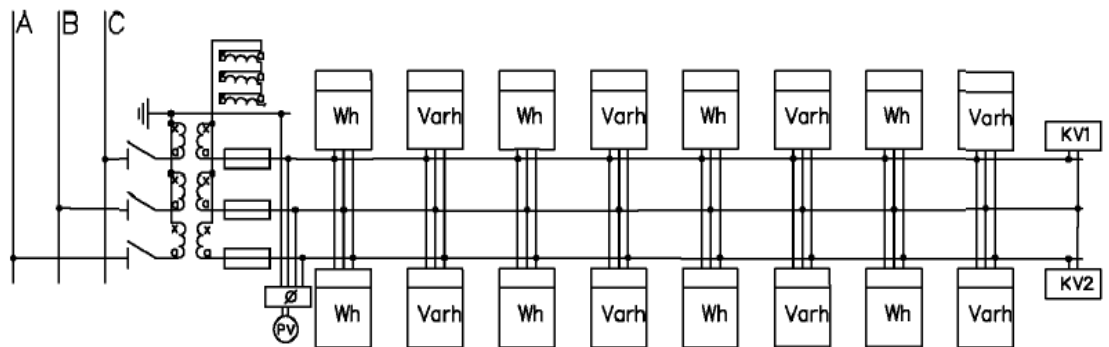


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема

Зробимо перевірку трансформатора напруги РП-10 кВ за класом точності 0,5 за умовою:

$$S_{2\text{ном}} \geq S_{2\text{розр}};$$

$$S_{2\text{ном}} = 120 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_{2\text{розр}} = \sqrt{\sum P^2 + \sum Q^2},$$

де ΣP - сума активної потужності усіх приладів і реле; ΣQ - сума реактивної потужності усіх приладів і реле.

$$S_{2\text{розр}} = \sqrt{126^2 + 298^2} = 323 \text{ ВА}$$

Умова перевірки трансформатора напруги на відповідність класу точності виконується, приймаємо по одному трансформатори типу НТМІ-10-66 У3 на кожну секцію шин.

$$323 \text{ В} \cdot \text{А} < 340 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

1.1. Вибір та перевірка жорстких шин 10 кВ

У розподільчих пристроях напругою 10 кВ збірні шини виконуються у вигляді жорстких алюмінієвих провідників. Згідно з вимогами ПУЕ, як самі шини, так і ошиновка відкритих і закритих РП повинні відповідати встановленим нормативам і стандартам.

Далі визначаються розрахункові параметри тривалих режимів роботи:

$$I_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \cdot 0,7,$$

Перевірка шини на термічну стійкість:

$$q_{\min} < q$$

де $q_{\min}$ – мінімальний переріз по термічній стійкості, який визначається по формулі:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C},$$

де B_k – тепловий імпульс струму:

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$B_{\kappa} = I_{\Pi,0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a),$$

де $t_{відкл}$ — час відключення короткого замикання, який приймається рівним 0,25 с; T_a — постійна часу затухання аперіодичної складової трифазного струму КЗ, що становить 0,1 с.

$$B_{\kappa} = 3,36^2 \cdot (0,025 + 0,03) = 0,97 \kappa A^2 \cdot c.$$

C – функція, значення якої дорівнює:

$$C = 91 \frac{A \cdot c^{\frac{1}{2}}}{\text{мм}^2},$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{0,97 \cdot 10^6}}{91} = 10,82 \text{ мм}^2,$$

$$10,82 \text{ мм}^2 < 160 \text{ мм}^2. \quad \P$$

Можна сказати, що шини термічно стійкі.

Перевірку шин на механічну міцність виконують з урахуванням їх конструктивних особливостей. Для шин коробчастого перерізу, які характеризуються значним моментом інерції, розрахунок проводиться без врахування коливальних процесів у механічній системі.

У випадку, коли шини розміщені у вершинах прямокутного трикутника, застосовується відповідна розрахункова залежність:

$$\sigma_{\max} = 2,2 \cdot \frac{i_y^2 \cdot l^2}{a \cdot W} \cdot 10^{-8},$$

де l – довжина між ізоляторами, прийнята рівною 2 м; a – відстань між фазами, рівна 0,8 м; i_y – ударний струм КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi,0} \cdot k_y = 1,41 \cdot 2,41 \cdot 1,6 = 5,44 \kappa A,$$

$$\sigma_{\max} = 2,2 \cdot \frac{5440^2 \cdot 2^2}{0,8 \cdot 58} \cdot 10^{-8} = 0,54 \text{ МПа}.$$

Шини механічно міцні тоді, коли:

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{расч} = \sigma_{max} \leq \sigma_{дон},$$

$$0,54 МПа < 75 МПа.$$

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2. ОХОРОНА ПРАЦІ

2.1. Основні положення

Охорона праці для підстанції 110/10/10 кВ «Надвірна-110» передбачає забезпечення безпечних умов праці персоналу під час експлуатації та реконструкції електроустановок. Основними небезпечними факторами є дія електричного струму високої напруги, електричної дуги, підвищені рівні шуму від силових трансформаторів, а також можливість виникнення пожеж у кабельних спорудах і розподільчих пристроях.

Для запобігання ураженню електричним струмом усі роботи виконуються відповідно до вимог ПУЕ, ПТЕЕС та НПАОП із обов'язковим оформленням нарядів-допусків, перевіркою відсутності напруги та встановленням переносних заземлень. Персонал повинен мати відповідну групу з електробезпеки та використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема діелектричні рукавиці, боти, інструмент з ізольованими ручками. Мінімально допустимі відстані до струмоведучих частин дотримуються згідно з нормативами, що забезпечує безпечне виконання робіт.

Основна увага приділяється заходам запобігання ураженню електричним струмом, що є головним небезпечним фактором при експлуатації електроустановок високої напруги. Безпечне виконання робіт забезпечується чітким дотриманням організаційних і технічних заходів.

Перед початком будь-яких робіт в електроустановках обов'язково виконується повне зняття напруги з обладнання, після чого проводиться перевірка її відсутності за допомогою справних показчиків напруги. Далі встановлюються переносні заземлення, які забезпечують захист персоналу від випадкової подачі напруги або наведеної напруги. Робочі місця огорожуються, а на приводах комутаційних апаратів вивішуються попереджувальні плакати типу «Не вмикати — працюють люди».

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

У відкритому розподільчому пристрої 110 кВ та закритому РП 10 кВ суворо дотримуються нормативні безпечні відстані до струмоведучих частин, що перебувають під напругою. Для напруги 110 кВ така відстань становить не менше 1,0 м, а для 10 кВ — не менше 0,6 м. Перебування в межах цих зон без спеціальних засобів захисту забороняється.

Персонал, який виконує роботи, повинен мати відповідну групу з електробезпеки (не нижче III–IV для робіт у мережах до та понад 1000 В) та проходити регулярні інструктажі і перевірку знань. Обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту: діелектричних рукавиць, ботів, ізолюючих штанг, покажчиків напруги, інструменту з ізольованими ручками. У місцях можливого дотику до струмоведучих частин застосовуються діелектричні килимки або ізолюючі підставки.

Особливу небезпеку становить можливість виникнення електричної дуги при комутаціях або коротких замиканнях. Для зниження ризику ураження передбачено застосування сучасних вакуумних та елегазових вимикачів, які мають меншу ймовірність виникнення відкритої дуги, а також використання дистанційного керування комутаційними апаратами.

Додатковим заходом захисту є надійне заземлення всіх металевих неструмоведучих частин обладнання, що виключає появу небезпечної напруги дотику. Опір заземлювального пристрою повинен відповідати нормативним вимогам і періодично перевірятися.

Таким чином, комплекс зазначених заходів — від організаційних процедур до застосування сучасного обладнання і засобів захисту — забезпечує мінімізацію ризику ураження електричним струмом та безпечну експлуатацію підстанції «Надвірна-110».

Пожежна безпека забезпечується застосуванням кабелів з негорючою ізоляцією, встановленням обмежувачів перенапруги, а також наявністю первинних засобів пожежогасіння. Особлива увага приділяється технічному стану електрообладнання, оскільки короткі замикання є основною причиною

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

виникнення пожеж. Умовою термічної стійкості обладнання є виконання співвідношення ($I^2 t$), що гарантує недопущення перегріву струмопровідних частин.

Для зниження шумового впливу трансформатори встановлюються на віброгасних опорах, а у приміщеннях застосовуються звукопоглинальні матеріали. Організаційні заходи включають обмеження часу перебування персоналу в зоні підвищеного шуму та використання засобів індивідуального захисту органів слуху.

Таким чином, дотримання комплексу організаційних і технічних заходів з охорони праці забезпечує безпечну експлуатацію підстанції «Надвірна-110», знижує ризик аварійних ситуацій і сприяє надійній роботі електроенергетичного обладнання.

2.2. Розрахунок блискавкозахисту підстанції

Розрахунок блискавкозахисту підстанції 110/10/10 кВ виконується з урахуванням необхідності формування зони захисту — простору, в межах якого обладнання надійно захищене від прямих ударів блискавки. У даному випадку така зона повинна охоплювати всю територію розміщення електрообладнання підстанції.

Захист забезпечується встановленням блискавковідводів, які розташовуються на порталних конструкціях підстанції, а також на окремо стоячих опорах, що дозволяє створити ефективне захисне покриття для всіх елементів електроустановки.

Розрахунок блискавкозахисту виконано відповідно до вимог інструкції РД 34.21.122-87 «Інструкція з улаштування блискавкозахисту будівель і споруд», яка застосовується при проектуванні підстанцій.

Основні вимоги до елементів системи блискавкозахисту передбачають забезпечення надійної роботи заземлювального пристрою та ефективного відведення струмів блискавки. Опір заземлювального контуру в будь-який період

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

року не повинен перевищувати 0,5 Ом. Усе електрообладнання, що встановлюється на підстанції, підлягає приєднанню до загального контуру заземлення сталевую смугою перерізом 4×40 мм не менше ніж у двох точках.

Горизонтальні елементи заземлювача необхідно прокладати на глибині близько 0,7 м, що забезпечує стабільність його параметрів незалежно від сезонних змін. З'єднання всіх елементів заземлювального пристрою виконуються зварюванням унапуск, що гарантує надійність електричного контакту та довговічність конструкції.

Блискавкозахист підстанції забезпечується наявним блискавковідводом, встановленим на анкерній опорі типу У110-2ТР, а також окремо стоячим стрижневим блискавковідводом, який у процесі реконструкції передбачається перенести на нове місце розташування.

1. Розрахунок зони захисту для висоти $h_x=7$ м.

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 35,6 = 30,26 \text{ м,}$$

де h – висота блискавкоприймача над рівнем землі, $h=35,6$ м.

Радіус дії зони блискавкозахисту:

$$r_0 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 35,6 = 42,72 \text{ м.}$$

Радіус горизонтального перерізу зони захисту:

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{42,72 \cdot (30,26 - 7)}{30,26} = 32,84 \text{ м.}$$

2. Окремо стоячий стрижневий блискавковідвід

Зона захисту для висоти $h_x=7$ м.

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 27,1 = 23,06 \text{ м,}$$

Радіус дії зони блискавкозахисту:

$$r_0 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 27,1 = 32,52 \text{ м.}$$

Радіус горизонтального перерізу зони захисту:

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$r_X = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{32,52 \cdot (23,06 - 7)}{23,06} = 22,64 \text{ м.}$$

3. Розрахунок зони захисту для висоти $h_x=5,4$ м. Анкерна опора У110-2ТР

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 35,6 = 30,26 \text{ м.}$$

де h – висота блискавкоприймача над рівнем землі, $h=35,6$ м.

Радіус дії зони блискавкозахисту:

$$r_0 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 35,6 = 42,72 \text{ м.}$$

Радіус горизонтального перерізу зони захисту:

$$r_X = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{42,72 \cdot (30,26 - 5,4)}{30,26} = 35,1 \text{ м.}$$

4. Окремо стоячий стрижневий блискавковідвід.

Розрахунок зони захисту для висоти $h_x=7$ м.

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 27,1 = 23,06 \text{ м.}$$

де h – висота блискавкоприймача над рівнем землі, $h=27,1$ м.

Радіус дії зони блискавкозахисту:

$$r_0 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 27,1 = 32,52 \text{ м.}$$

Радіус горизонтального перерізу зони захисту:

$$r_X = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{32,52 \cdot (23,06 - 5,4)}{23,06} = 24,9 \text{ м.}$$

На рис.5.1 показана схема зони дії блискавкозахисту.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

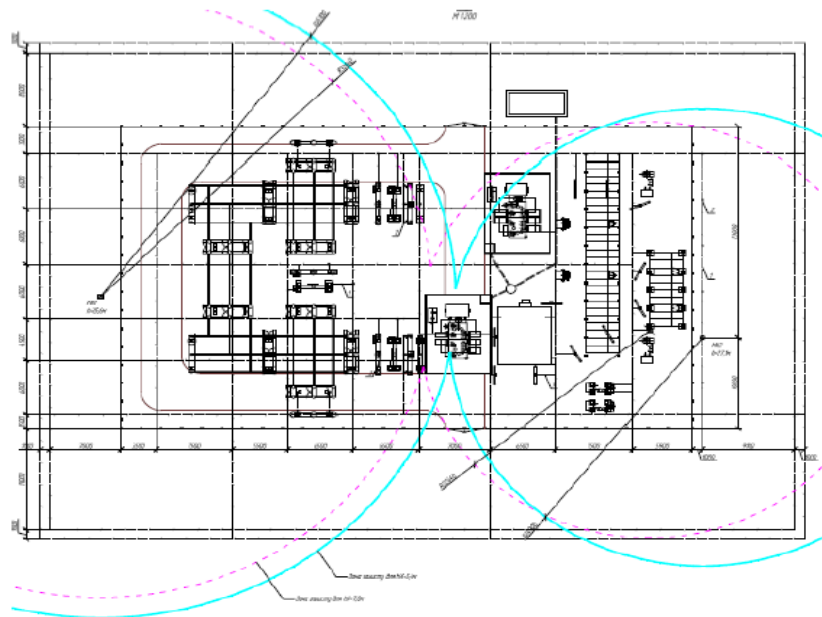


Рисунок 5.1 - Схема зони дії блискавкозахисту

У розділі охорони праці визначено основні небезпечні фактори підстанції та обґрунтовано комплекс технічних і організаційних заходів щодо запобігання ураженню електричним струмом, пожежам і впливу шуму. Запропоновані рішення, включаючи заземлення, блискавкозахист і застосування сучасного обладнання, забезпечують відповідність нормативним вимогам та безпечну експлуатацію підстанції «Надвірна-110».

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи проведено комплексне дослідження електричної частини підстанції 110/10/10 кВ «Надвірна-110» та обґрунтовано необхідність її розширення. На основі аналізу існуючого стану обладнання встановлено, що зростання електричних навантажень, пов'язане з активним розвитком інфраструктури регіону та підключенням нових потужних споживачів, призводить до перевантаження трансформаторів і недостатньої пропускної здатності підстанції, що й зумовлює потребу в її модернізації.

У роботі виконано аналіз схемних рішень підстанції та обґрунтовано вибір оптимальної структури електричних з'єднань, що забезпечує підвищення надійності та гнучкості роботи. Проведено розрахунок електричних навантажень і визначено необхідну встановлену потужність підстанції з урахуванням перспективного розвитку.

Розраховано струми короткого замикання для різних режимів роботи, що дозволило виконати перевірку електрообладнання на термічну та динамічну стійкість.

На основі отриманих результатів здійснено вибір сучасних електричних апаратів, зокрема вимикачів, роз'єднувачів, трансформаторів струму та напруги, які відповідають умовам роботи та забезпечують надійну експлуатацію підстанції після її розширення. Також передбачено заміну застарілого обладнання на сучасне, що дозволяє підвищити ефективність роботи, знизити експлуатаційні витрати та покращити показники безпеки.

Додатково розглянуто питання охорони праці та техніки безпеки, зокрема заходи щодо захисту персоналу від ураження електричним струмом, забезпечення пожежної безпеки та організації блискавкозахисту.

Таким чином, запропоновані в роботі технічні рішення щодо розширення підстанції «Надвірна-110» є обґрунтованими, відповідають сучасним вимогам та забезпечують підвищення надійності, пропускної здатності та безпеки електропостачання споживачів регіону.

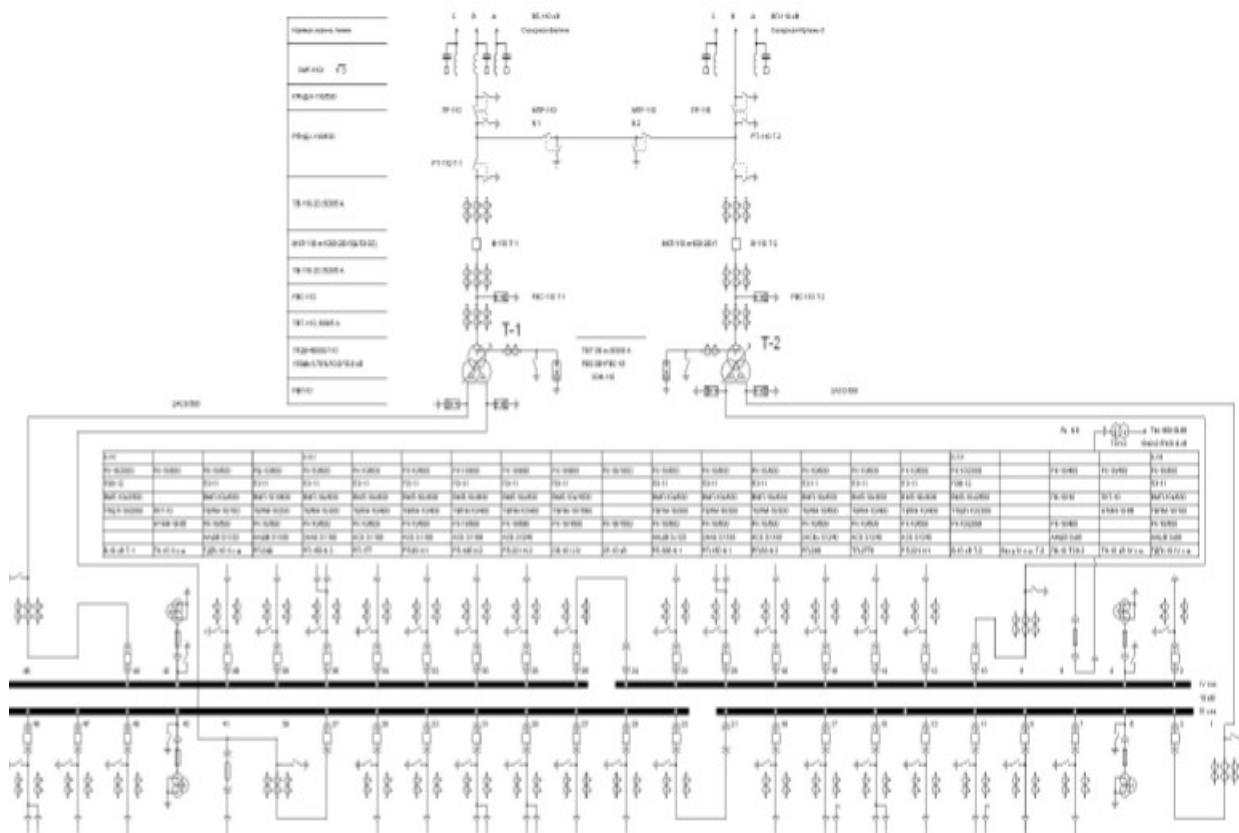
					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. <https://www.della.net.pl/distance/?cities=27717%2C5404&utm>
2. В.М. Гаряжа, А.О. Карюк В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 149 с.
3. Правила устаткування електроустановок. Київ: 2023. 176 с.
4. Правила технічної експлуатації електростанцій та підстанцій: РД43.20.501-95, 2020. – 325 с
5. Пантелєєва І.В. Електрична частина станцій та підстанцій. Конспект лекцій для студентів спец. 141/ Укр. інж.-пед. акад. Харків: 2021. 81 с.
6. Бахор З. М., Яцейко А. Я. Проектування підстанцій електричних мереж. Львівська політехніка. 2023. 304 с.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Додаток А



Принципова схема підстанції