

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Факультет електроенерготехніки та автоматики**

**Кафедра автоматизації енергосистем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій Марченко

“10” червня 2025 р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою**

**«Управління, захист та автоматизація енергосистем»**

**спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**на тему: Модернізація релейного захисту і автоматики районної трансформаторної підстанції 35/10 кВ**

Виконав:

Студент IV курсу, групи ЕК-11

Кравчук Максим Юрійович

\_\_\_\_\_

Керівник:

к.т.н., доцент,

Омельчук Анатолій Олександрович

\_\_\_\_\_

Рецензент:

доцент, к.т.н., доцент,

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ**  
**Кафедра автоматизації енергосистем**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма – «Управління, захист та автоматизація енергосистем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій МАРЧЕНКО

«10» червня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Кравчуку Максиму Юрійовичу**

1. **Тема проєкту** «Модернізація релейного захисту і автоматики районної трансформаторної підстанції 35/10 кВ», керівник проєкту Омельчук Анатолій Олександрович, доц., к.т.н., затверджені наказом по університету від 26.05.2025р. №1720-с
2. **Термін подання** студентом проєкту 10 червня 2025р.
3. **Вихідні дані до роботи:** Схема підстанції напругою 35/10 кВ. Матеріали науково-дослідних та проєктних організацій. Каталоги виробників обладнання. Довідкова література.
4. **Перелік питань, які мають бути розроблені:** Аналіз схеми підстанції та встановленого на ній обладнання. Розрахунки струмів короткого замикання. Модернізація обладнання РП 35 кВ. Релейний захист напругою РП 35 кВ. Релейний захист силових трансформаторів. Релейний захист та автоматика ЗРП напругою 10 кВ.
5. Перелік графічного матеріалу *1- схема електричних з'єднань підстанції; 2- розрахунок коротких замикань на ПС; 3- організація АВР.*
7. **Дата видачі завдання** “ 26 ” 05 2025 р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз схеми та обладнання	26.05.2025	
2	Розрахунки струмів короткого замикання	28.05.2025	
3	Вибір обладнання та релейний захист РП напругою 35 кВ	01.06.2025	
4	Релейний захист силових трансформаторів	03.06.2025	
5	Релейний захист та автоматика обладнання ЗРП напругою 10 кВ	07.06.2025	
6	Графічна частина. Оформлення роботи	10.06.2025	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Максим КРАВЧУК

Керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

Анатолій ОМЕЛЬЧУК

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	141.ЕК1113.007.ДБ	Пояснювальна записка	62	
3	A1	141.ЕК1113.007.ТК1	Головна схема електричних з'єднань ПС 35/10 кВ	1	
4	A1	141.ЕК1113.007.ТК2	Розрахунок коротких замикань на ПС	1	
5	A1	141.ЕК1113.007.ТК3	Організація АВР	1	

					141.ЕК1113.007.ДБ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Кравчук М.Ю.			Відомість дипломного проекту	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>		Омельчук А.О.					4	1
<i>Н. Контр.</i>		Шполянський О.Г.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-11		
<i>Затв.</i>		Марченко А. А.						

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проекту**  
**на тему: «Модернізація релейного захисту і автоматики районної**  
**трансформаторної підстанції 35/10 кВ»**

Київ – 2025 року

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 62 аркушах, 19 рисунків, 13 таблиць, 3 листи графічної частини, 18 літературних посилань.

**Актуальність теми** – Забезпечення надійного та швидкого виявлення і локалізації пошкоджень в електричних мережах. Модернізація РЗА з впровадженням сучасних мікропроцесорних пристроїв дозволяє значно підвищити надійність роботи підстанції, зменшити час ліквідації аварій та покращити показники якості електроенергії.

**Об'єкт дослідження** – Електрична підстанція з робочою напругою 35/10 кВ.

**Предмет дослідження** – Обладнання релейного захисту та автоматики підстанції з напругою 35/10 кВ.

**Мета дослідження** – Розробка технічних рішень та рекомендацій з модернізації системи релейного захисту та автоматики районної трансформаторної підстанції 35/10 кВ для підвищення її надійності, ефективності та відповідності сучасним вимогам енергосистеми.

**Ключові слова:** ПІДСТАНЦІЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, КОРОТКІ ЗАМИКАННЯ, ТРАНСФОРМАТОР, УСТАВКИ, МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАХИСТ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА, МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ, РОЗПОДІЛЬЧИЙ ПРИСТРІЙ, АВТОМАТИЧНЕ ВВЕДЕННЯ РЕЗЕРВУ.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

## ABSTRACT

The diploma project is made on 62 sheets, 19 figures, 13 tables, 3 sheets of graphic part, 18 literary references.

Relevance of the topic – Ensuring reliable and fast detection and localization of damage in electrical networks. Modernization of RPA with the introduction of modern microprocessor devices allows to significantly increase the reliability of the substation, reduce the time of elimination of accidents and improve the quality of electricity.

**Object of research** – Electrical substation with an operating voltage of 35/10 kV.

**Subject of research** – Relay protection and automation equipment of a substation with a voltage of 35/10 kV.

**Purpose of research** – Development of technical solutions and recommendations for the modernization of the relay protection and automation system of a 35/10 kV district transformer substation to increase its reliability, efficiency and compliance with modern requirements of the power system.

**Keywords:** SUBSTATION, MODERNIZATION, SHORT CIRCUITS, TRANSFORMER, SETTINGS, MICROPROCESSOR PROTECTION, RELAY PROTECTION AND AUTOMATICS, MAXIMUM CURRENT PROTECTION, DISTRIBUTION DEVICE, AUTOMATIC RESERVE INTRODUCTION.

					141.EK1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1. ОПИС ПІДСТАНЦІЇ ТА ЇЇ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	12
1.1 Характеристика головної схеми підстанції напругою 35/10 кВ.....	12
1.2 Основне обладнання на електропідстанції .....	12
1.2.1 Силові трансформатори типу ТМН-2500/35.....	12
1.2.2 Вимикачі ВТ-35-630-10.5У1 і ВВВ-10.....	16
1.2.3 Роз'єднувачі РДЗ-2-35/1000 і РВЗ-10/630.....	17
1.2.4 Розрядники РВС-35.....	18
1.2.5 Трансформатори струму та напруги.....	19
1.2.6 Комірки КРУН-10.....	20
1.2.7 Трансформатори власних потреб ТМ-25/10 .....	21
1.3 Розрахунки струмів короткого замикання .....	21
Висновки до розділу 1.....	34
2. МОДЕРНІЗАЦІЯ РП 35 КВ ТА ВИБІР СУЧАСНОГО РЗА .....	39
2.1 Модернізація шляхом зміни обладнання на РП 35 кВ.....	39
2.2 Вимоги до релейного захисту шин і ліній напругою 35 кВ.....	42
2.3 Уставки захистів приєднань 35 кВ.....	44
2.4 Уставки для РЗ СВ.....	46
2.5 Робота АПВ.....	46
Висновки до розділу 2.....	47
3 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРУ .....	48
3.1 Розрахунок і вибір уставки струмової відсічки.....	48
3.2 Розрахунок і вибір уставки МСЗ.....	49
Висновки до розділу 3.....	50
4 РЗА РП 10 КВ .....	51
4.1 Основні види захистів для приєднань 10 кВ.....	51
4.2 Уставки захистів приєднань напругою 10 кВ.....	52
4.3 Розрахунок уставок РЗ для секційного вимикача.....	54

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

4.4 Реалізація захистів приєднань напругою 10 кВ .....	55
4.5 Використання АВР та схеми його схеми роботи.....	55
Висновки до розділу 4.....	57
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	61

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АВР – автоматичний ввід резерву;  
ВН – висока напруга;  
ВТ – вимірювальний трансформатор;  
ВРП – відкритий розподільчий пристрій;  
ЗРП – розподільчий пристрій закритого типу;  
КЗ – коротке замикання;  
КМ – кабельна мережа;  
КРУ – комплектна розподільча установка;  
ЛЕП – лінії електропередачі;  
МСЗ – максимальний струмовий захист;  
НН – низька напруга;  
ПЛ- повітряні лінії;  
ПС – підстанція;  
ПУЕ – правила улаштування електроустановок;  
РЗ – релейний захист;  
РЗА – релейний захист та автоматика;  
СВ – струмова відсічка;  
СК – синхронний компенсатор;  
ТН – трансформатор напруги;  
ТС – трансформатор струму.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

## ВСТУП

Надійна та ефективна робота електричних мереж є фундаментом функціонування сучасної економіки та комфортного життя суспільства. В умовах постійного зростання споживання електричної енергії, ускладнення схем мереж, впровадження нових технологій генерації та розподілу, ключову роль у забезпеченні безперебійності електропостачання відіграють системи релейного захисту та автоматики (РЗА). Саме системи РЗА відповідають за своєчасне виявлення пошкоджень в мережі, їх точне місцезнаходження та швидке відключення аварійних ділянок, запобігаючи поширенню аварій та мінімізуючи їх наслідки.

Районні трансформаторні підстанції 35/10 кВ є важливою ланкою розподільчої мережі, забезпечуючи живлення значної кількості споживачів. Історично склалися так, що на багатьох таких підстанціях досі експлуатуються системи РЗА, побудовані на застарілій елементній базі, переважно електромеханічних або ранніх статичних реле. Ці системи часто не в повній мірі відповідають сучасним вимогам щодо швидкодії, чутливості, селективності та надійності. Обмежена функціональність застарілих пристроїв ускладнює реалізацію сучасних алгоритмів захисту та автоматики, адаптованих до мінливих режимів роботи мережі та появи нових викликів, таких як інтеграція розподіленої генерації або збільшення частки нелінійних навантажень. Неналежне функціонування РЗА може призводити до збільшення часу простою споживачів через неселективні відключення, пошкодження обладнання та зниження загальної надійності системи електропостачання. У зв'язку з цим, модернізація систем релейного захисту та автоматики районних трансформаторних підстанцій 35/10 кВ з впровадженням сучасних мікропроцесорних пристроїв є актуальним завданням, спрямованим на підвищення ефективності та надійності функціонування розподільчих електричних мереж.

Методи дослідження, що використовуватимуться в роботі, включають аналіз науково-технічної літератури, нормативних документів та досвіду експлуатації; структурний та функціональний аналіз систем РЗА; методи розрахунку струмів короткого замикання та вибору уставок захисту; техніко-економічний аналіз та порівняння альтернативних рішень.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Наукова новина отриманих результатів може полягати в розробці оптимізованого підходу до вибору та конфігурації мікропроцесорних пристроїв РЗА для типових районних підстанцій 35/10 кВ з урахуванням їхніх специфічних особливостей та сучасних умов експлуатації.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розроблених технічних рішень та рекомендацій при проєктуванні та здійсненні модернізації систем релейного захисту та автоматики реальних районних трансформаторних підстанцій 35/10 кВ, що дозволить підвищити надійність електропостачання, зменшити тривалість перерв в електропостачанні та знизити експлуатаційні витрати.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						12
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

# 1. ОПИС ПІДСТАНЦІ ТА ЇЇ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ

## 1.1 Характеристика головної схеми підстанції напругою 35/10 кВ

Цей розділ містить опис та характеристику головної електричної схеми підстанції напругою 35/10 кВ, яка є вузлом розподільчої електричної мережі.

Підстанція є двохтрансформаторного типу, отримує живлення по лініях напруги 35 кВ та оснащена системою збірних шин напругою 10 кВ.

Схема електричних з'єднань ПС напругою 35/10 кВ показана плакаті 1 і на рисунку. 1.1

Типова головна схема електричних з'єднань такої підстанції спрямована на забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання споживачів 10 кВ та гнучкості в експлуатації. На стороні вищої напруги 35 кВ підстанція може бути підключена до енергосистеми за різними схемами, проте найпоширенішою для двохтрансформаторної підстанції є схема з двома фідерними лініями 35 кВ. Кожна з цих ліній через відповідні комутаційні апарати, такі як роз'єднувачі та вимикачі 35 кВ, підключається до свого силового трансформатора 35/10 кВ. Така схема забезпечує незалежне живлення кожного трансформатора від окремої лінії 35 кВ, підвищуючи надійність електропостачання підстанції в цілому – при виведенні в ремонт однієї лінії інша продовжує жити свій трансформатор.

Силові трансформатори напругою 35/10 кВ здійснюють пониження напруги та є ключовими елементами схеми. Використовуються трансформатори з регулюванням напруги, найчастіше під навантаженням (РПН) на стороні 10 кВ, що дозволяє підтримувати стабільний рівень напруги на шинах 10 кВ незалежно від коливань у мережі 35 кВ та змін навантаження.

На стороні нижчої напруги 10 кВ розташована система збірних шин. Для двохтрансформаторної підстанції поширеною є схема з однією секціонованою системою збірних шин 10 кВ або двома системами шин.

					141.ЕК1113.007.ДБ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Кравчук М.Ю.			ОПИС ПІДСТАНЦІ ТА ЇЇ ОСНОВНОГО ОБЛАД- НАННЯ	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Омельчук А.О.					13	34
<i>Н. Контр.</i>		Шполянський О.Г.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-11		
<i>Затв.</i>		Марченко А. А.						

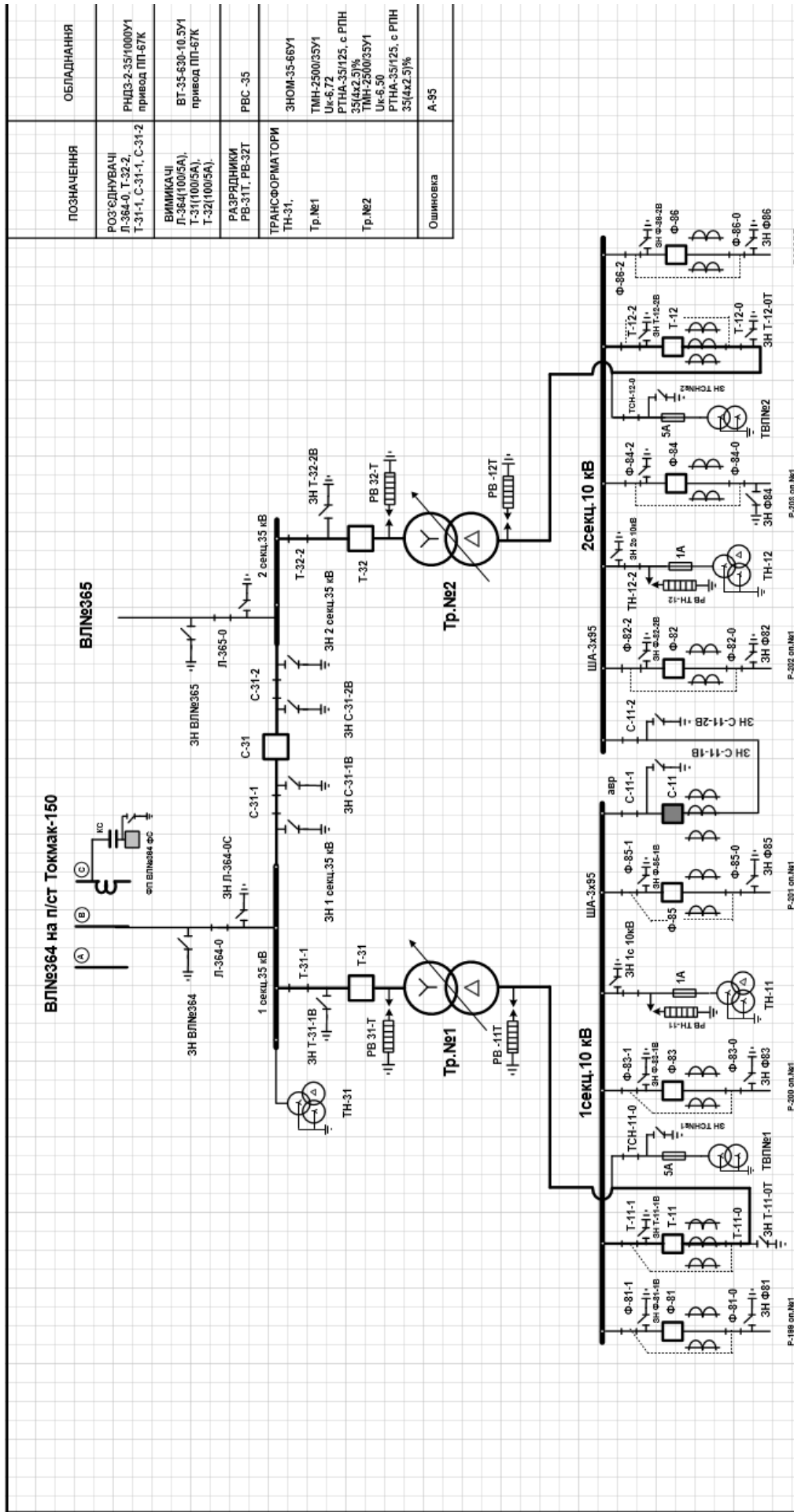


Рис.1.1 - Схема електричних з'єднань електростанції

ПОЗНАЧЕННЯ	ОБЛАДНАННЯ
РОЗ'ЄДНУВАЧІ Л-364-0, Т-32-2, Т-31-1, С-31-1, С-31-2	РНДЗ-2-35/1000У1 привод ПП-67К
ВИМКАЧІ Л-364(1005А), Т-31(1005А), Т-32(1005А).	ВТ-35-630-10,5У1 привод ПП-67К
РАЗРЯДНИКИ РВ-31Т, РВ-32Т	РВС-35
ТРАНСФОРМАТОРИ ТН-31,	ЗНОМ-35-66У1
Тр.№1	ТМН-2500/35У1 Ш-6.72 РТНА-35/125, с РПН 35/42,5%
Тр.№2	ТМН-2500/35У1 Ш-6.50 РТНА-35/125, с РПН 35/42,5%
Ошиновка	А-95

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

У випадку секціонованої системи шин, обидва трансформатори підключаються до різних секцій однієї системи шин через відповідні вимикачі 10 кВ. Секції шин з'єднані секційним вимикачем. Така конфігурація дозволяє в нормальному режимі роботи жити навантаження 10 кВ від обох трансформаторів, при цьому секційний вимикач може бути як увімкненим, так і вимкненим. У разі виходу з ладу одного трансформатора або лінії 35 кВ, секційний вимикач (якщо він був вимкнений) автоматично вмикається, забезпечуючи живлення всіх фідерів 10 кВ від одного трансформатора. Від шин 10 кВ відходять фідерні лінії, що живлять споживачів, кожна з яких підключається до шин через відповідні комірочки, оснащені вимикачами та роз'єднувачами 10 кВ.

## 1.2 Основне обладнання на електропідстанції

### 1.2.1 Силкові трансформатори типу ТМН-2500/35

Ключовим елементом електричної підстанції 35/10 кВ, що виконує основну функцію перетворення напруги, є силкові трансформатори. Відповідно до структури розглядуваної підстанції, на ній встановлені трансформатори типу ТМН-2500/35У1.

Технічні дані встановлених трансформаторів ТМН-2500/35 наведені в таблиці.1.1.

Таблиця 1.1 - Основні технічні характеристики трансформаторів типу ТМН-2500/35 [2]

Трансформатори ТМН- 2500/35	Потужність, МВА	Напруга, кВ		Втрати		Напруга КЗ, %	Струм холостого ходу,%
		ВН	НН	ХХ, кВт	КЗ, кВт		
	2,5	35	11	2,85	23.5	6.5/6.72	0.2

ТМН-2500/35У1 є трифазним двообмотковим силовим масляним трансформатором номінальною потужністю 2.5 МВА на напругу 35/10 кВ (якщо підстан-

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

ція 35/10 кВ), обладнаним пристроєм РПН та призначеним для зовнішнього встановлення. Основне завдання цих трансформаторів на підстанції 35/10 кВ полягає у надійному та ефективному пониженні напруги з рівня 35 кВ до рівня 10 кВ для подальшого розподілу електроенергії споживачам.

### 1.2.2 Вимикачі ВТ-35-630-10.5У1 і ВВВ-10

На підстанції 35/10 кВ для забезпечення функцій комутації та захисту на стороні вищої напруги 35 кВ встановлюється відповідне високовольтне комутаційне обладнання. У якості вимикачів на цій стороні застосовуються апарати типу ВТ-35-630-10.5У1.

Вимикачі ВТ-35-630-10.5У1 встановлюються у відповідних комірках розподільчого пристрою 35 кВ підстанції, зокрема, на вводах ліній 35 кВ та у приєднаннях силових трансформаторів. Їх номінальний струм та, особливо, номінальний струм відключення КЗ мають відповідати (з необхідним запасом) максимальним розрахунковим значенням струмів короткого замикання у точках їх встановлення. Надійність та правильне функціонування цих вимикачів є критично важливим для безпечної та безаварійної експлуатації підстанції 35/10 кВ.

Основні технічні характеристики вимикачів типу ВТ-35-630-10.5У1 наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні параметри вимикачів типу ВТ-35-630-10.5У1 [2]

Номінальна напруга, кВ	35
Номінальний струм, А	630
Номінальний струм відключення, кА	12,5
Струм електродинамічної стійкості, кА	50
Тип приводу	пружинний
Вид ізоляції	масло

На стороні нижчої напруги 10 кВ підстанції 35/10 кВ, де відбувається розподіл електроенергії між численними споживачами, встановлюється відповідний комплекс комутаційного обладнання.

Вимикачі ВВВ-10 встановлюються у комірках розподільчого пристрою 10 кВ підстанції, які утворюють приєднання трансформаторів, секційний вимикач та приєднання фідерних ліній. Їх висока швидкодія та надійність є запорукою ефективною роботи системи релейного захисту 10 кВ, мінімізації часу існування коротких замикань та забезпечення селективності відключень, що прямо впливає на надійність електропостачання споживачів.

Технічні дані вимикачів типу ВВВ-10 наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні дані вимикачів типу ВВВ-10 [2]

Номінальна напруга, кВ	10
Максимальна напруга, кВ	12
Номінальний струм, А	400
Номінальний струм відключення, кА	4
Струм електродинамічної стійкості, кА	10
Струм термічної стійкості, кА	4
Час відключення з приводом, с	До 0,08
Тип приводу	пружинний
Вид ізоляції	вакуум

### 1.2.3 Роз'єднувачі РДЗ-2-35/1000 і РВЗ-10/630

У якості роз'єднувачів на напругу 35 кВ застосовані трьохполюсні порцелянові роз'єднувачі типу РДЗ-2-35/1000. Триполюсне виконання означає, що апарат одночасно розриває електричне коло по всіх трьох фазах. Використання порцелянових опорних ізоляторів є стандартним для зовнішніх розподільчих пристроїв 35 кВ.

На стороні нижчої напруги 10 кВ встановлені трьохполюсні роз'єднувачі типу РВЗ-10/630.

На стороні 10 кВ роз'єднувачі РВЗ встановлюються у комірках розподільчого пристрою 10 кВ, забезпечуючи видимий розрив фідерних ліній або приєднань тран-

сформаторів від системи збірних шин. Надійна робота роз'єднувачів та їх заземлювачів є запорукою безпечного виконання оперативних перемикачів та ремонтних робіт на обладнанні підстанції.

Робочі параметри роз'єднувачів типів РДЗ-2-35/1000 і РВЗ-10/630 наведені в таблицях 1.4 та 1.5.

Таблиця 1.4 – Технічні параметри роз'єднувачів РДЗ-2-35/1000 [2]

Номінальна напруга, кВ	35
Максимальна напруга, кВ	40
Номінальний струм, А	1000
Кількість полюсів	3
Струм електродинамічної стійкості, кА	63
Струм термічної стійкості, кА	25
Тип приводу	ручний

Таблиця 1.5 – Технічні параметри роз'єднувачів РВЗ-10/630 [2]

Номінальна напруга, кВ	10
Максимальна напруга, кВ	12
Номінальний струм, А	630
Кількість полюсів	3
Короткочасний струм, кА	20
Тип приводу	ручний

#### 1.2.4 Розрядники РВС-35

На розглядуваній підстанції для захисту силових трансформаторів від перенапруг на стороні кожної обмотки встановлені вентильні розрядники типу РВС-35 для захисту обмотки 35 кВ. В таблиці 1.6 приведені параметри розрядників РВС-35.

Розрядники РВС-35 встановлюються паралельно до ізоляції обладнання, що захищається, тобто між фазним проводом та землею. На підстанції 35/10 кВ вони розміщуються на стороні 35 кВ силових трансформаторів (по одному на кожну

фазу), максимально близько до захищеного обладнання, щоб ефективно обмежувати перенапруги, що набігають з ліній 35 кВ або виникають на шинах підстанції.

Таблиця 1.6 – Параметри розрядників [1]

Параметр	PBC-35
Клас напруги мережі, кВ	35
Номінальна напруга, кВ	40,5
імпульсна пробивна напруга при часі передрозрядки 2-20 мкс, кВ	125
Струм витоку при випрямленій напрузі, мА	0,6

### 1.2.5 Трансформатори струму та напруги

На підстанції 35/10 кВ для вимірювання напруги на стороні 35 кВ встановлені однофазні трансформатори напруги, що заземлюються, типу ЗНОМ-35 (технічні характеристики в таблиці 1.7). Для вимірювання струмів на стороні 10 кВ підстанції застосовані модернізовані малогабаритні вимірювальні трансформатори струму типу ТВЛМ-10 та ТВК-10 (таблиця 1.8).

Таблиця 1.7 - Технічні дані трансформаторів напруги типу ЗНОМ-35 [2]

Параметр	Значення
Номінальна напруга первинної обмотки, В	$35000/\sqrt{3}$
Номінальна потужність основної вторинної обмотки, ВА	250
Номінальна напруга основної вторинної обмотки, В	$100/\sqrt{3}$
Значення номінальної напруги додаткової вторинної обмотки, В	$100/\sqrt{3}$
Значення робочої напруги найбільшої, В	$36000/\sqrt{3}$
Значення граничної потужності трансформатора поза класом точності, ВА	1000
Клас точності	1

Таблиця 1.8 - Основні технічні характеристики трансформаторів струму типу ТВЛМ-10 та ТВК-10

Параметр	ТВЛМ-10	ТВК-10
Первинний струм, А	200	200
Вторинний струм, А	5	5
Напруга, кВ	10	10
Кількість вторинних обмоток	2	3
Клас точності	0.2	0.5
Коефіцієнт трансформації	150/5	150/5

### 1.2.6 Комірки КРУН-10

На розглядуваній підстанції використовується комплектний розподільчий пристрій зовнішньої установки типу КРУН-10. КРУН-10 складається з набору окремих комірок, кожна з яких являє собою металеву шафу з розміщеним у ній комплектом обладнання, необхідним для виконання певних функцій приєднання (наприклад, приєднання відхідної лінії, приєднання трансформатора, секційний вимикач).

Робочі характеристики комплектного розподільного пристрою КРУН-10 наведено в табл.1.9.

Таблиця 1.9 – Робочі характеристики КРУН-10

Найменування параметра	Величина
Значення номінальної напруги, кВ	10
Найбільша робоча напруга, кВ	12
Номінальний струм головних ланцюгів	1000
Струм термічної стійкості камер з вакуумним вимикачем (короткочасний струм), кА	20
Струм електродинамічної стійкості, кА	52
Номінальний струм основних ланцюгів камер з вимикачем навантаження, А	600
Струм електродинамічної стійкості камер з вимикачем навантаження, кА	51

У структурі підстанції 35/10 кВ КРУН-10 виконує функцію центрального розподільного вузла напругою 10 кВ. Комірки приєднання трансформаторів підключають вторинні обмотки силових трансформаторів 35/10 кВ до системи збірних шин КРУН. Комірки відхідних ліній підключають до цих шин кабельні або повітряні лінії 10 кВ, що живлять безпосередньо споживачів або менші трансформаторні підстанції 10/0.4 кВ. Комірка секційного вимикача забезпечує можливість поділу або об'єднання секцій збірних шин, підвищуючи гнучкість та надійність схеми.

### 1.2.7 Трансформатори власних потреб ТМ-25/10

Встановлені два силові масляні трансформатори типу ТМ-25/10 [2].

Використання двох трансформаторів власних потреб типу ТМ-25/10 забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання систем підстанції. Як правило, один з трансформаторів знаходиться в роботі, а інший – у резерві. У разі виходу з ладу працюючого ТВП або зникнення напруги на секції шин 10 кВ, до якої він підключений, передбачається автоматичне включення резервного трансформатора власних потреб (АВР власних потреб).

Таблиця 1.10 - Робочі характеристики трансформаторів типу ТМ-25/10

Трансформатори ТМ-25/10	Потужність, кВА	Напруга, кВ		Втрати		Напруга КЗ, %
		ВН	НН	Холос- того ходу, Вт	Короткого замикання, Вт	
	25	10	0,4	105	600	4.5

### 1.3 Розрахунки струмів короткого замикання

Живлення здійснюється з двох сторін, вимикачі встановлені з кожної сторони. Можливі режими роботи: І3 вкл., І4 відкл. та навпаки, вимикач секції включений в роботу. Лінії повітряного виконання. К1 та К2 – точки короткого замикання.

Розрахункова схема для знаходження ЕС показана на рисунку 1.2.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

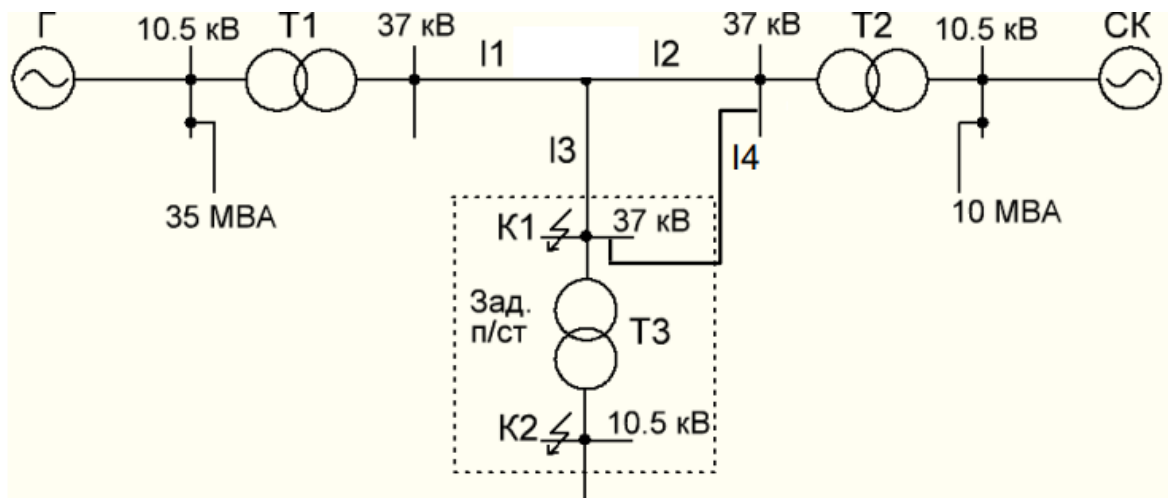


Рисунок 1.2 - Розрахункова схема ЕС для знаходження струмів КЗ

Табл. 1.11, 1.12 та 1.13 вхідні параметри для розрахунку струмів КЗ.

Таблиця 1.11 – Дані до ліній електропередач

Лінія	$U_{ном}, \text{кВ}$	Довжина, км	$X_0, \text{Ом/км}$
І1	37	12	0.4
І2	37	12	0.4
І3	37	10	0.4
І4	37	7	0.4

Таблиця 1.12 - Дані до трансформаторів

Трансформатор	$S_{ном}, \text{МВА}$	$U_k, \%$
T1	16	8,5
T2	10	7.5
T3	2 по 2.5	6.7

Таблиця 1.13 - Дані до генератора та синхронного компенсатора

Позначення	$S, \text{МВа}$	$X_d'', \text{в.о.}$
Г	56	0,12
СК	5	0,2

Базисна потужність  $S_B = 120 \text{ МВА}$ , базисна напруга:  $U_B = U_{ср}$ .

Дані до надперехідних ЕРС:

а) ЕРС генератора -  $E_G = 1,08$ ;

б) ЕРС синхронного компенсатора -  $E_{СК} = 1,2$ ;

в) ЕРС навантаження:

1)  $X_H'' = 0,35$  в.о.

2)  $E_H = 0,8$

За базові значення прийємо такі:

$$S_6 = 120 \text{ МВА}$$

$$U_{6\_ВН} = 37 \text{ кВ}$$

$$U_{6\_НН} = 11 \text{ кВ}$$

$$I_{6\_ВН} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{120}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1.872 \text{ кА}$$

$$I_{6\_НН} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{120}{\sqrt{3} \cdot 11} = 6.298 \text{ кА}$$

Для режиму роботи при умові в якій І4 вимк, І3 вмик.

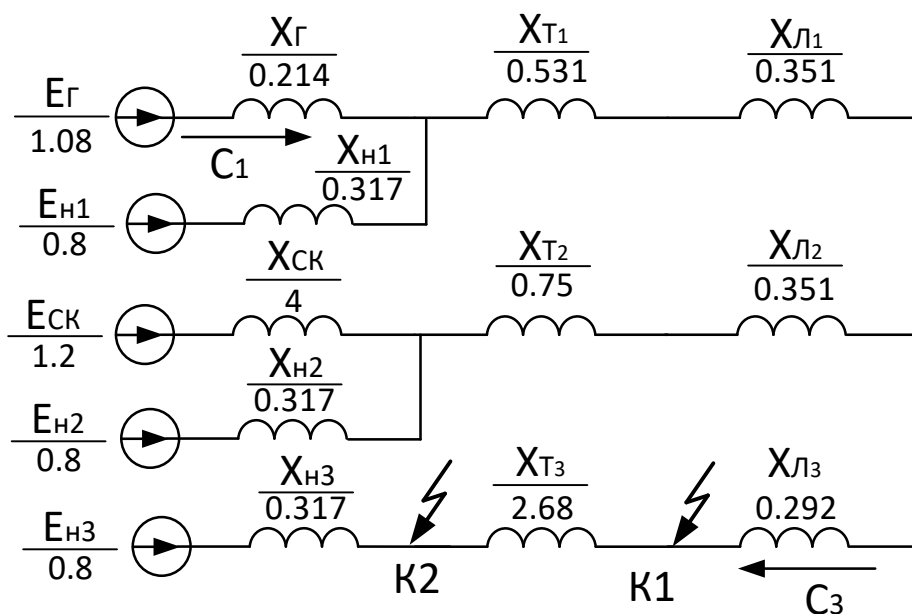


Рисунок 1.3 – Схема заміщення для розрахунку струмів К3

Виконаємо перетворення для спрощення схеми:

$$X_1 = \frac{X_G \cdot X_{H1}}{X_G + X_{H1}} = \frac{0.214 \cdot 0.317}{0.214 + 0.317} = 0.128 \text{ в. о.}$$

$$X_2 = \frac{X_{СК} \cdot X_{H2}}{X_{СК} + X_{H2}} = \frac{4 \cdot 0.317}{4 + 0.317} = 0.294 \text{ в. о.}$$

$$E_1 = \frac{E_{H1} \cdot X_G + E_G \cdot X_{H1}}{X_G + X_{H1}} = \frac{0.8 \cdot 0.214 + 1.08 \cdot 0.317}{0.214 + 0.317} = 0.967 \text{ в. о.}$$

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$E_2 = \frac{E_{H2} \cdot X_{CK} + E_{CK} \cdot X_{H2}}{X_{CK} + X_{H2}} = \frac{0.8 \cdot 4 + 1.2 \cdot 0.317}{4 + 0.317} = 0.829 \text{ в. о.}$$

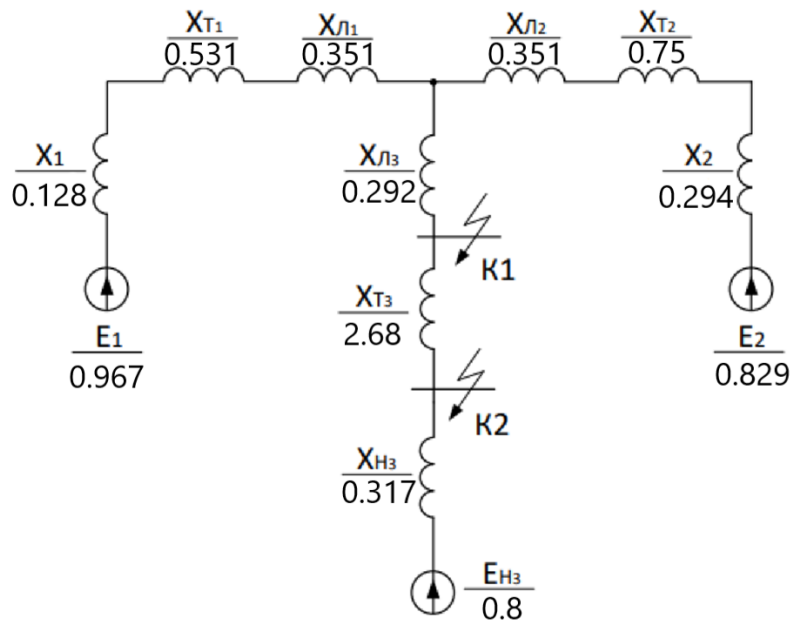


Рисунок 1.4 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_3 = X_1 + X_{T1} + X_{L1} = 0.128 + 0.531 + 0.351 = 1.01 \text{ в. о.}$$

$$X_4 = X_2 + X_{T2} + X_{L2} = 0.294 + 0.75 + 0.351 = 1.395 \text{ в. о.}$$

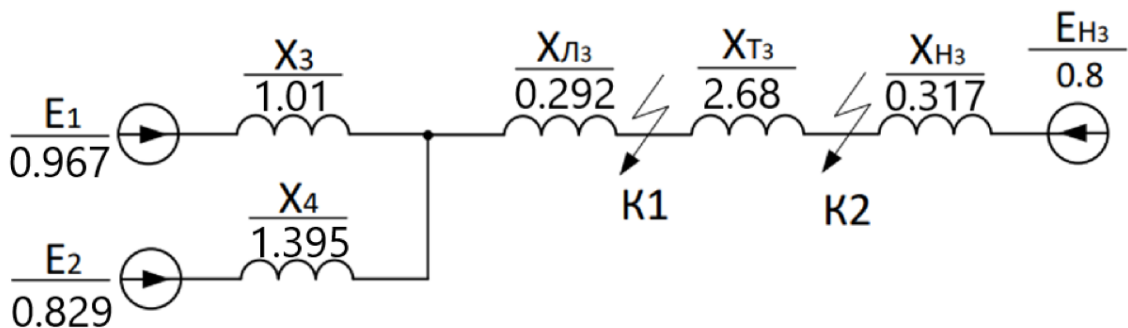


Рисунок 1.5 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_5 = \frac{X_3 \cdot X_4}{X_3 + X_4} = \frac{1.01 \cdot 1.395}{1.01 + 1.395} = 0.586 \text{ в. о.}$$

$$E_3 = \frac{E_1 \cdot X_4 + E_2 \cdot X_3}{X_4 + X_3} = \frac{0.967 \cdot 1.395 + 0.829 \cdot 1.01}{1.395 + 1.01} = 0.909 \text{ в. о.}$$

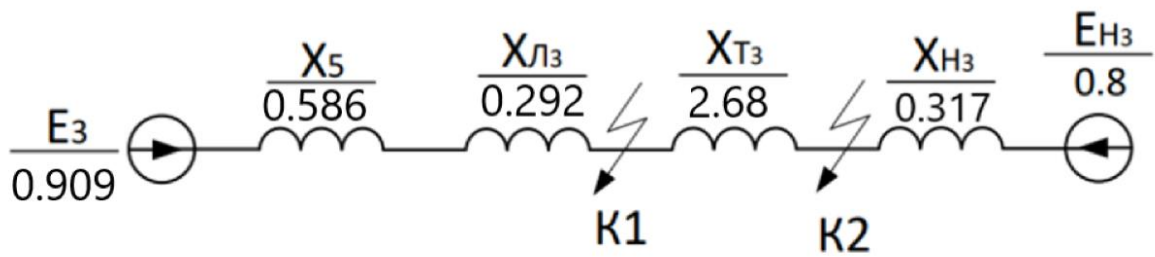


Рисунок 1.6 – Вигляд схеми після виконання перетворень

Для точки К1

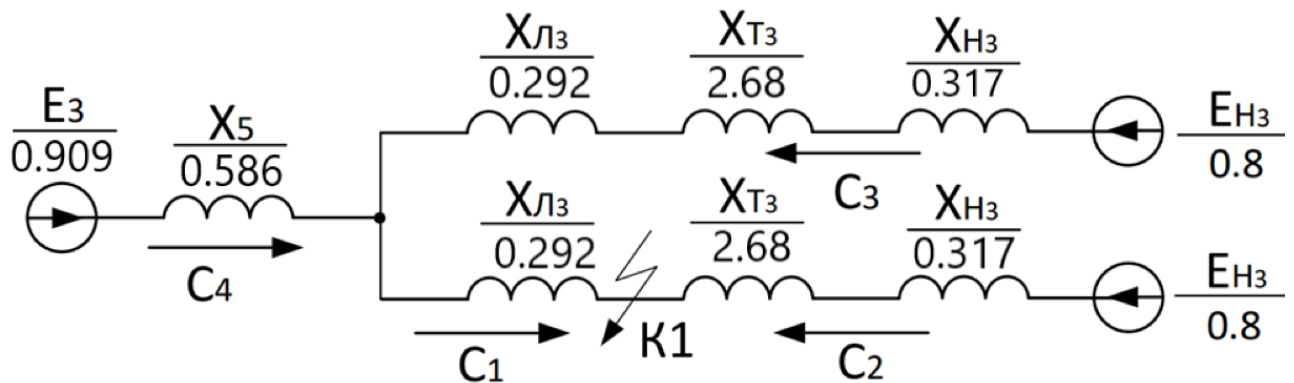


Рисунок 1.7 – Вигляд схеми для розрахунку КЗ в т.К1

Проведемо еквівалентні спрощення:

$$X_6 = X_{Л3} + X_{Т3} + X_{Н3} = 0.292 + 2.68 + 0.317 = 3.29 \text{ в. о.}$$

$$X_7 = X_{Т3} + X_{Н3} = 2.68 + 0.292 = 2.972 \text{ в. о.}$$

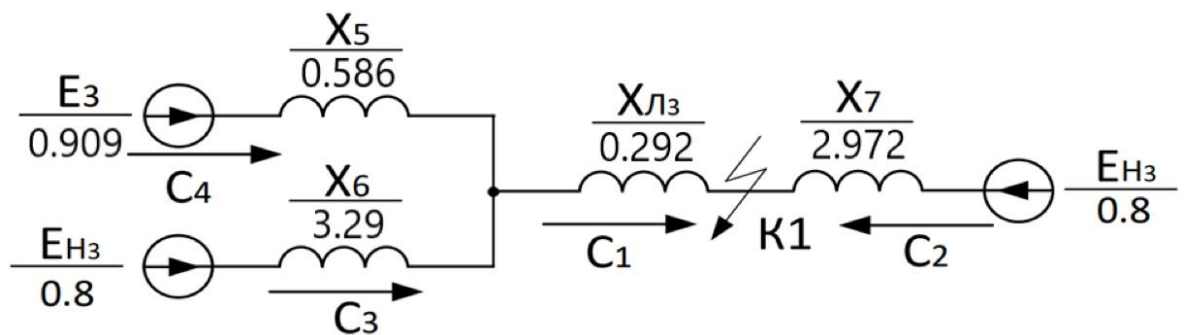


Рисунок 1.8 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_8 = \frac{X_6 \cdot X_5}{X_6 + X_5} = \frac{3.29 \cdot 0.586}{3.29 + 0.586} = 0.497 \text{ в. о.}$$

$$E_4 = \frac{E_{Н3} \cdot X_5 + E_3 \cdot X_6}{X_5 + X_6} = \frac{0.8 \cdot 0.586 + 0.909 \cdot 3.29}{0.586 + 3.29} = 0.893 \text{ в. о.}$$

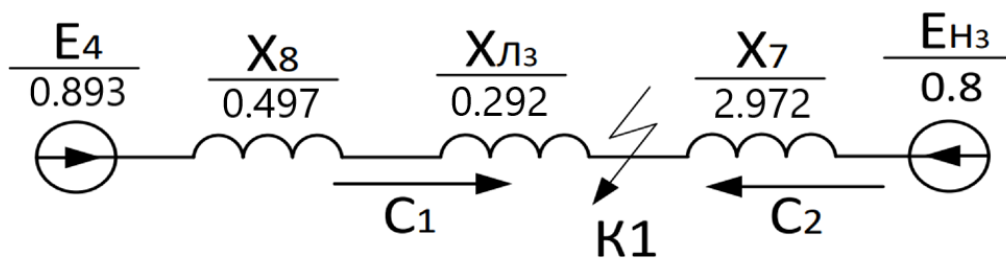


Рисунок 1.9 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_9 = X_8 + X_{ЛЗ} = 0.497 + 0.292 = 0.789 \text{ в. о.}$$

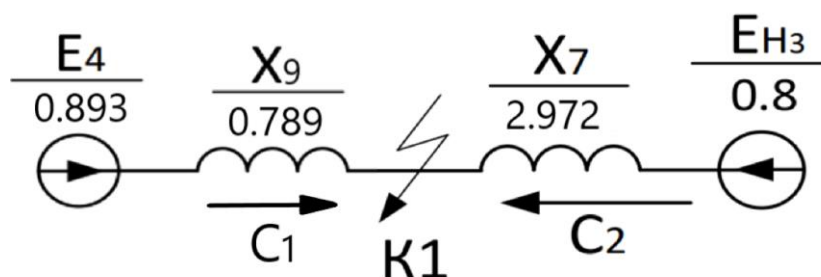


Рисунок 1.10 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_{\text{ЕКВ}} = \frac{X_7 \cdot X_9}{X_7 + X_9} = \frac{2.972 \cdot 0.789}{2.972 + 0.789} = 0.624 \text{ в. о.}$$

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_4 \cdot X_7 + E_{НЗ} \cdot X_9}{X_7 + X_9} = \frac{0.893 \cdot 2.972 + 0.8 \cdot 0.789}{2.972 + 0.789} = 0.873 \text{ в. о.}$$

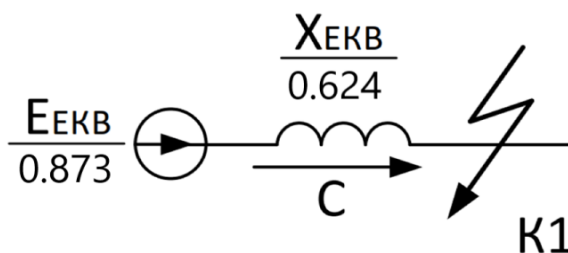


Рисунок 1.11 – Вигляд схеми після виконання перетворень

Коеф. струморозподілів складуть:

$$C = 1$$

$$C_1 = C \cdot \frac{X_7}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{2.972}{2.972 + 0.789} = 0.79$$

$$C_2 = C \cdot \frac{X_9}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{0.789}{2.972 + 0.789} = 0.21$$

$$C_3 = C_1 \cdot \frac{X_6}{X_5 + X_6} = 0.79 \cdot \frac{3.29}{0.586 + 3.29} = 0.671$$

$$C_4 = C_1 \cdot \frac{X_5}{X_5 + X_6} = 0.79 \cdot \frac{0.586}{0.586 + 3.29} = 0.119$$

Зробимо перевірку:

$$C_2 + C_3 + C_4 - C = 0.235 + 0.627 + 0.119 - 1 = 0$$

Значення періодичної складової 3-фазного струму КЗ:

$$I''_K = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{0.873}{0.624} = 1.4$$

$$I_K = I''_K \cdot I_{6\_ВН} = 1.4 \cdot 1.872 = 2.621 \text{ кА}$$

Аперіодична складова у момент часу  $t = 0.1 \text{ с}$  для знаходження струму КЗ:

$$T_{a\_ВН} = 0.05.$$

$$i_{a\_ПС} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{a\_ВН}}} = \sqrt{2} \cdot 2.621 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.05}} = 0.502 \text{ кА}$$

При врахуванні коеф., ударний струм дорівнюватиме

$$K_{y\_ПС} = 1.8.$$

$$i_{y\_ПС} = \sqrt{2} \cdot K_{y\_ПС} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 2.621 = 6.672 \text{ кА}$$

Визначимо струми КЗ в точці 2.

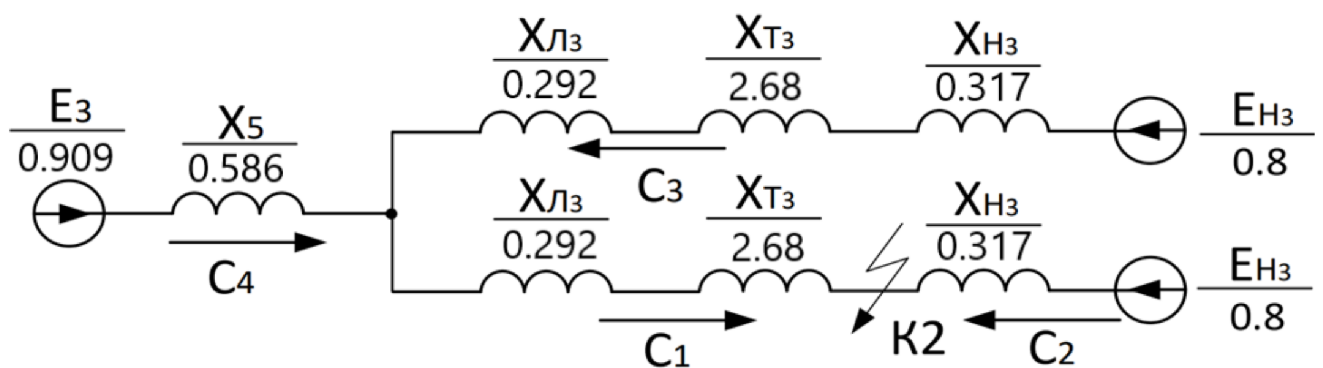


Рисунок 1.12 – Вигляд схеми для розрахунку КЗ в т.К2

Проведемо еквівалентні спрощення:

$$X_6 = X_{ЛЗ} + X_{ТЗ} + X_{НЗ} = 0.292 + 2.68 + 0.317 = 3.29 \text{ в. о.}$$

$$X_7 = X_{ТЗ} + X_{ЛЗ} = 2.68 + 0.292 = 2.972 \text{ в. о.}$$

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

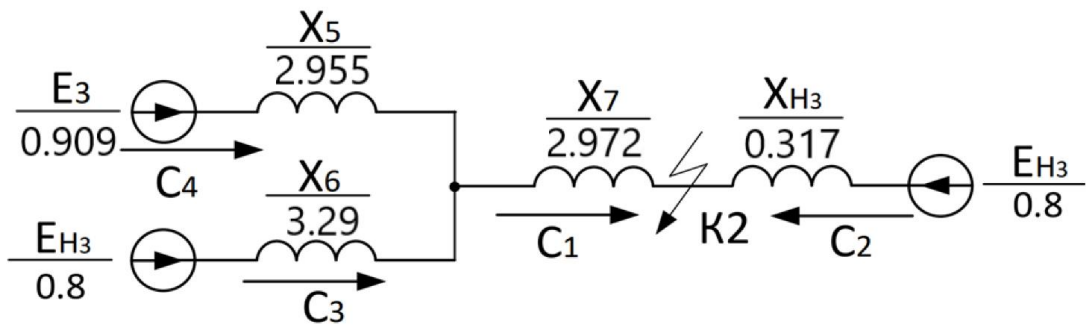


Рисунок 1.13 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_8 = \frac{X_6 \cdot X_5}{X_6 + X_5} = \frac{0.586 \cdot 3.29}{0.586 + 3.29} = 0.497 \text{ в. о.}$$

$$E_4 = \frac{E_{N3} \cdot X_5 + E_3 \cdot X_6}{X_5 + X_6} = \frac{0.8 \cdot 0.586 + 0.909 \cdot 3.29}{0.586 + 3.29} = 0.893 \text{ в. о.}$$

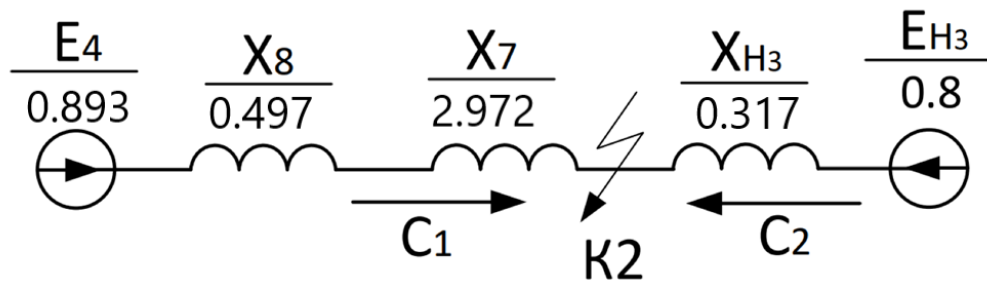


Рисунок 1.14 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_9 = X_8 + X_7 = 0.497 + 2.972 = 3.469 \text{ в. о.}$$

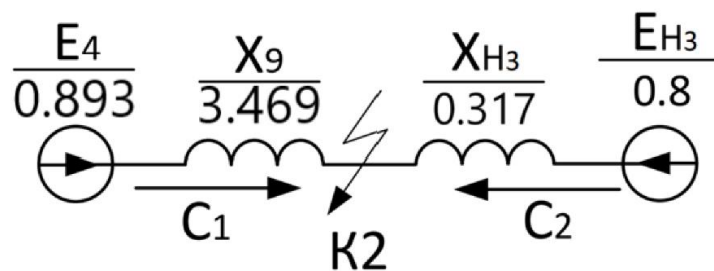


Рисунок 1.15 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_{\text{ЕКВ}} = \frac{X_{N3} \cdot X_9}{X_{N3} + X_9} = \frac{0.317 \cdot 3.469}{0.317 + 3.469} = 0.291 \text{ в. о.}$$

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_4 \cdot X_{N3} + E_{N3} \cdot X_9}{X_{N3} + X_9} = \frac{0.893 \cdot 0.317 + 0.8 \cdot 3.469}{0.317 + 3.469} = 0.808 \text{ в. о.}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

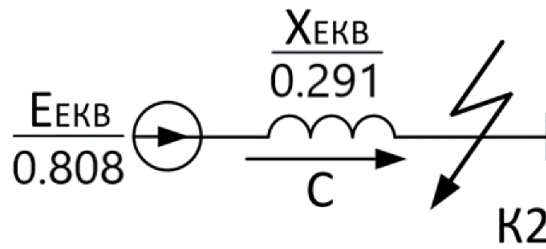


Рисунок 1.16 – Вигляд схеми після виконання перетворень

Коеф. струморозподілів складуть:

$$C = 1$$

$$C_1 = C \cdot \frac{X_7}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{2.972}{2.972 + 3.469} = 0.461$$

$$C_2 = C \cdot \frac{X_9}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{3.469}{2.972 + 3.469} = 0.539$$

$$C_3 = C_1 \cdot \frac{X_5}{X_5 + X_6} = 0.461 \cdot \frac{3.29}{0.536 + 3.29} = 0.392$$

$$C_4 = C_1 \cdot \frac{X_6}{X_5 + X_6} = 0.461 \cdot \frac{0.536}{0.536 + 3.29} = 0.07$$

Зробимо перевірку:

$$C_2 + C_3 + C_4 - C = 0.539 + 0.392 + 0.07 - 1 = 0$$

Значення періодичної складової 3-фазного струму КЗ:

$$I''_K = \frac{E_{EKВ}}{X_{EKВ}} = \frac{0.808}{0.291} = 2.777$$

$$I_K = I''_K \cdot I_{6\_HH} = 2.777 \cdot 6.298 = 17.49 \text{ кА}$$

Аперіодична складова у момент часу  $t = 0.1 \text{ с}$  для знаходження струму КЗ:

$$T_{a\_BH} = 0.06.$$

$$i_{a\_PC} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{a\_BH}}} = \sqrt{2} \cdot 17.49 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.06}} = 4.672 \text{ кА}$$

При врахуванні коеф., ударний струм дорівнюватиме

$$K_{y\_PC} = 1.85.$$

$$i_{y\_PC} = \sqrt{2} \cdot K_{y\_PC} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.85 \cdot 17.49 = 45.759 \text{ кА}$$

Розглядаємо режим в якому 14 вмик, а 13 вимк.,

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

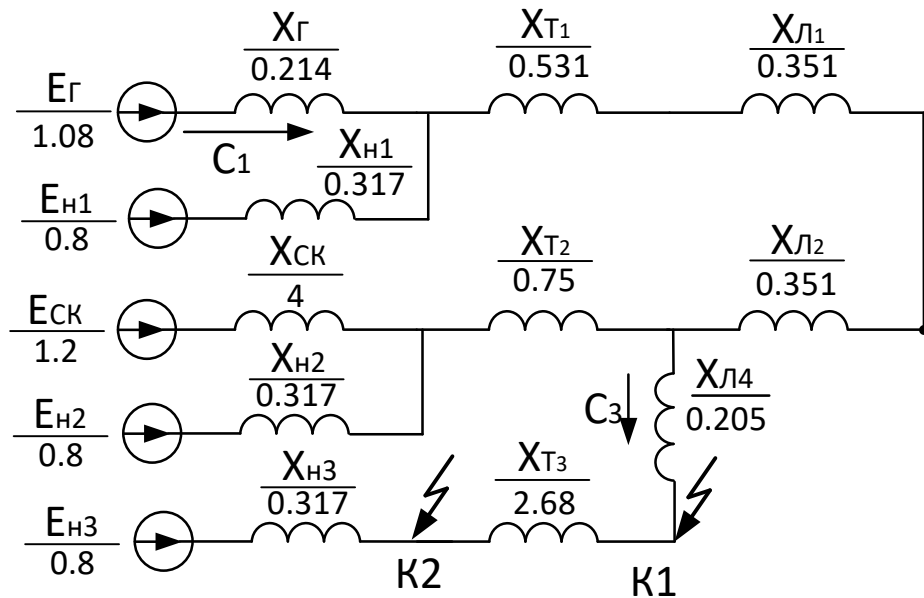


Рисунок 1.17 – Вигляд схеми після виконання перетворень

Проведемо перетворення для спрощення схеми:

$$X_1 = \frac{X_G \cdot X_{H1}}{X_G + X_{H1}} = \frac{0.214 \cdot 0.317}{0.214 + 0.317} = 0.128 \text{ в. о.}$$

$$X_2 = \frac{X_{СК} \cdot X_{H2}}{X_{СК} + X_{H2}} = \frac{4 \cdot 0.317}{4 + 0.317} = 0.294 \text{ в. о.}$$

$$E_1 = \frac{E_{H1} \cdot X_G + E_G \cdot X_{H1}}{X_G + X_{H1}} = \frac{0.8 \cdot 0.214 + 1.08 \cdot 0.317}{0.214 + 0.317} = 0.967 \text{ в. о.}$$

$$E_2 = \frac{E_{H2} \cdot X_{СК} + E_{СК} \cdot X_{H2}}{X_{СК} + X_{H2}} = \frac{0.8 \cdot 4 + 1.2 \cdot 0.317}{4 + 0.317} = 0.829 \text{ в. о.}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

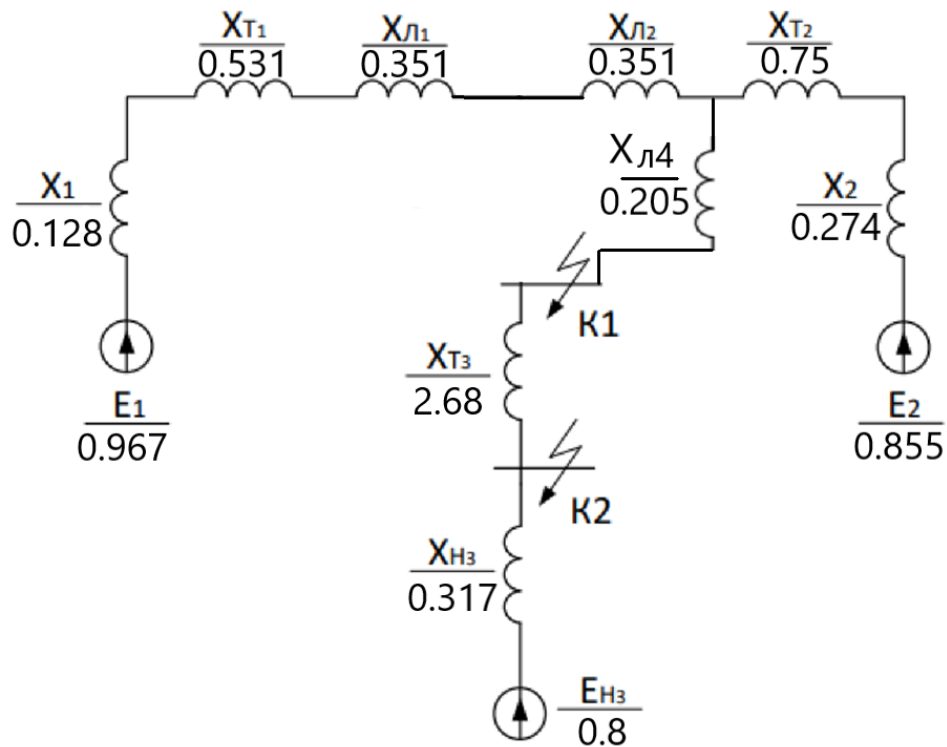


Рисунок 1.18 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_3 = X_1 + X_{T1} + X_{Л1} + X_{Л2} = 0.128 + 0.531 + 0.351 + 0.351 = 1.36 \text{ в. о.}$$

$$X_4 = X_2 + X_{T2} = 0.294 + 0.75 = 1.044 \text{ в. о.}$$

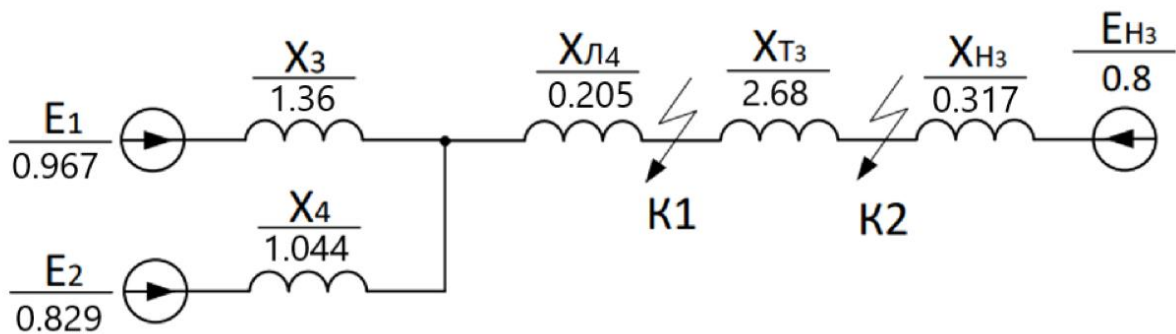


Рисунок 1.19 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_5 = \frac{X_3 \cdot X_4}{X_3 + X_4} = \frac{1.36 \cdot 1.044}{1.36 + 1.044} = 0.591 \text{ в. о.}$$

$$E_3 = \frac{E_1 \cdot X_4 + E_2 \cdot X_3}{X_4 + X_3} = \frac{0.967 \cdot 1.044 + 0.829 \cdot 1.36}{1.044 + 1.36} = 0.889 \text{ в. о.}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

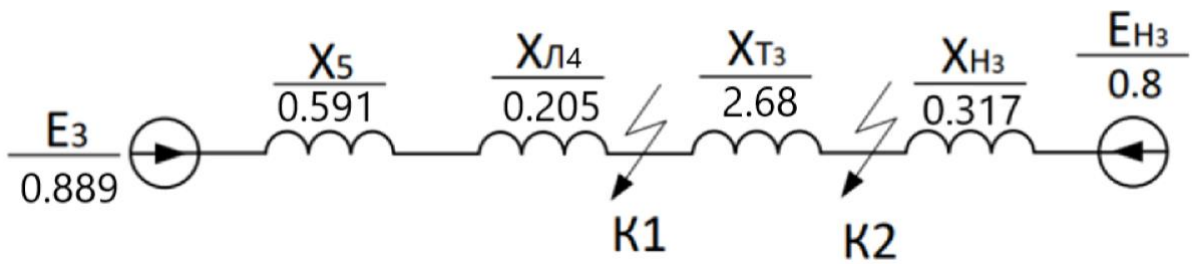


Рисунок 1.19 – Вигляд схеми після виконання перетворень

Визначення струмів КЗ для точки К1.

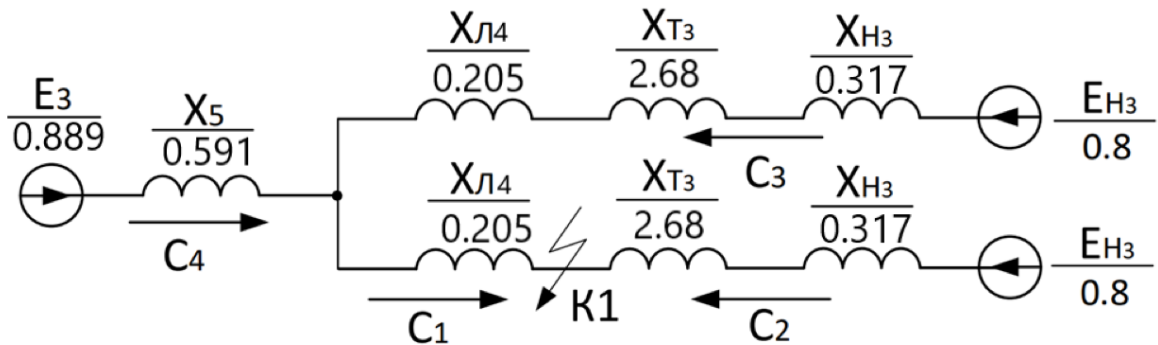


Рисунок 1.20 – Вигляд спрощеної схеми для розрахунку КЗ в точці К1

Проведемо перетворення для спрощення схеми:

$$X_6 = X_{л4} + X_{Т3} + X_{НЗ} = 0.205 + 2.68 + 0.317 = 3.202 \text{ в. о.}$$

$$X_7 = X_{Т3} + X_{НЗ} = 2.68 + 0.317 = 2.997 \text{ в. о.}$$

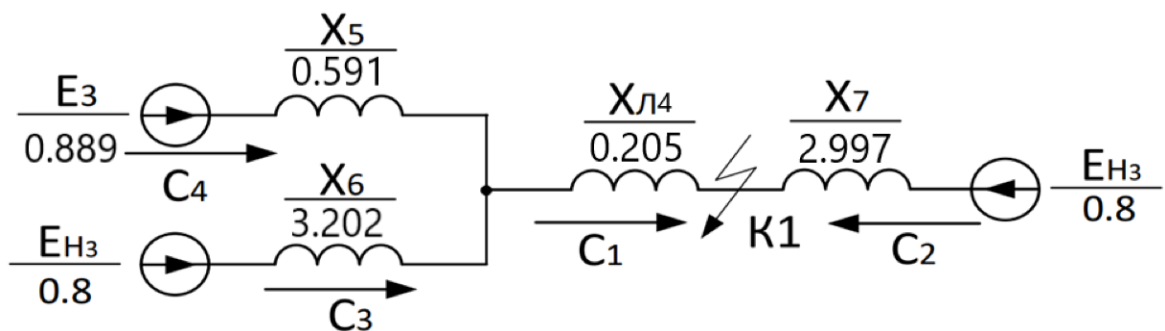


Рисунок 1.21 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_8 = \frac{X_6 \cdot X_5}{X_6 + X_5} = \frac{3.202 \cdot 0.591}{3.202 + 0.591} = 0.499 \text{ в. о.}$$

$$E_4 = \frac{E_{НЗ} \cdot X_5 + E_3 \cdot X_6}{X_5 + X_6} = \frac{0.8 \cdot 0.591 + 0.889 \cdot 3.202}{0.591 + 3.202} = 0.875 \text{ в. о.}$$

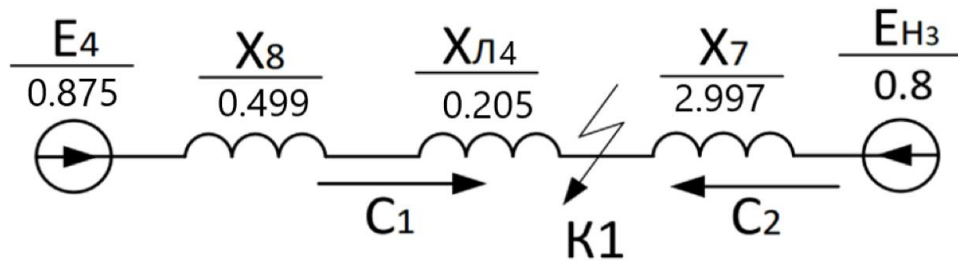


Рисунок 1.22 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_9 = X_8 + X_{Л4} = 0.499 + 0.205 = 0.703 \text{ в. о.}$$

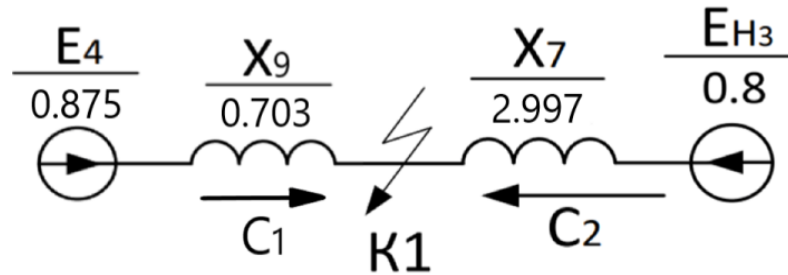


Рисунок 1.23 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_{\text{ЕКВ}} = \frac{X_7 \cdot X_9}{X_7 + X_9} = \frac{2.997 \cdot 0.703}{2.997 + 0.703} = 0.57 \text{ в. о.}$$

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_4 \cdot X_7 + E_{\text{НЗ}} \cdot X_9}{X_7 + X_9} = \frac{0.875 \cdot 2.997 + 0.8 \cdot 0.703}{2.997 + 0.703} = 0.861 \text{ в. о.}$$

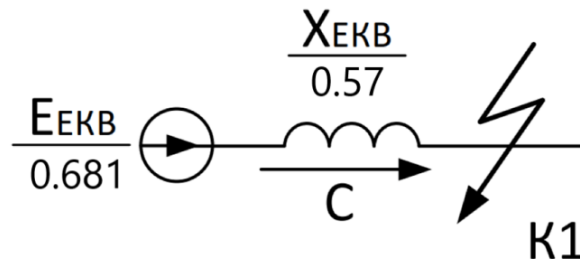


Рисунок 1.24 – Вигляд схеми після виконання перетворень

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

$$C_1 = C \cdot \frac{X_7}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{2.997}{2.997 + 0.703} = 0.81$$

$$C_2 = C \cdot \frac{X_9}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{0.703}{2.997 + 0.703} = 0.19$$

$$C_3 = C_1 \cdot \frac{X_6}{X_5 + X_6} = 0.81 \cdot \frac{3.202}{0.591 + 3.202} = 0.684$$

$$C_4 = C_1 \cdot \frac{X_5}{X_5 + X_6} = 0.81 \cdot \frac{0.591}{0.591 + 3.202} = 0.126$$

Зробимо перевірку:

$$C_2 + C_3 + C_4 - C = 0.19 + 0.684 + 0.126 - 1 = 0$$

Значення періодичної складової 3-фазного струму КЗ:

$$I''_K = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{0.861}{0.57} = 1.512$$

$$I_K = I''_K \cdot I_{6\_ВН} = 1.512 \cdot 1.87 = 2.827 \text{ кА}$$

Аперіодична складова у момент часу  $t = 0.1 \text{ с}$  для визначення струму КЗ:

$$T_{a\_ВН} = 0.05.$$

$$i_{a\_ПС} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{a\_ВН}}} = \sqrt{2} \cdot 2.827 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.05}} = 0.541 \text{ кА}$$

Ударний струм дорівнюватиме

$$K_{y\_ПС} = 1.8.$$

$$i_{y\_ПС} = \sqrt{2} \cdot K_{y\_ПС} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 2.827 = 7.196 \text{ кА}$$

Визначення струмів КЗ для К2.

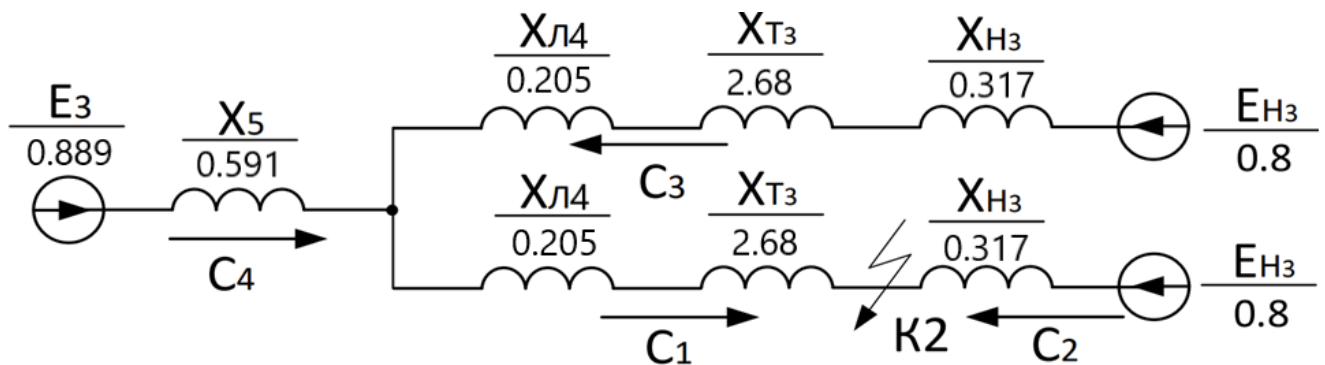


Рисунок 1.25 – Вигляд спрощеної схеми для розрахунку КЗ в точці К2

Проведемо перетворення для спрощення схеми:

$$X_6 = X_{Л4} + X_{Т3} + X_{НЗ} = 0.205 + 2.68 + 0.317 = 3.29 \text{ в. о.}$$

$$X_7 = X_{Т3} + X_{Л4} = 2.68 + 0.205 = 2.885 \text{ в. о.}$$

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

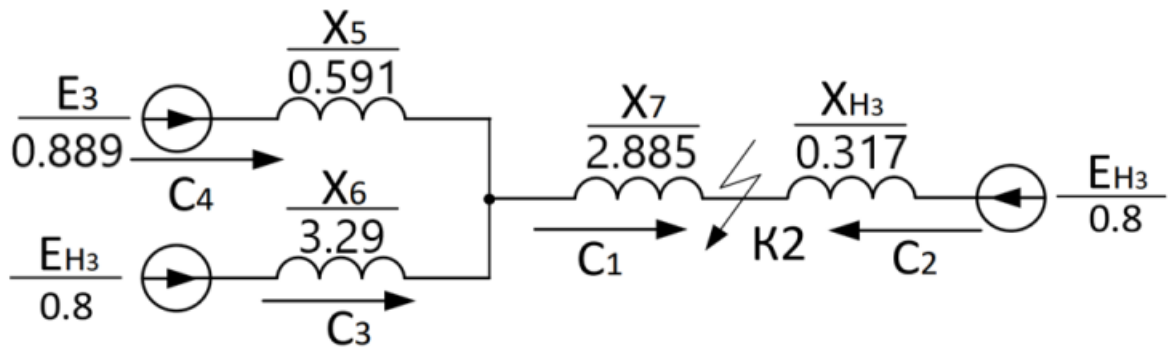


Рисунок 1.26 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_8 = \frac{X_5 \cdot X_6}{X_5 + X_6} = \frac{0.591 \cdot 3.29}{0.591 + 3.29} = 0.501 \text{ в. о.}$$

$$E_4 = \frac{E_{N3} \cdot X_5 + E_3 \cdot X_6}{X_5 + X_6} = \frac{0.8 \cdot 0.591 + 0.889 \cdot 3.29}{0.591 + 3.29} = 0.876 \text{ в. о.}$$

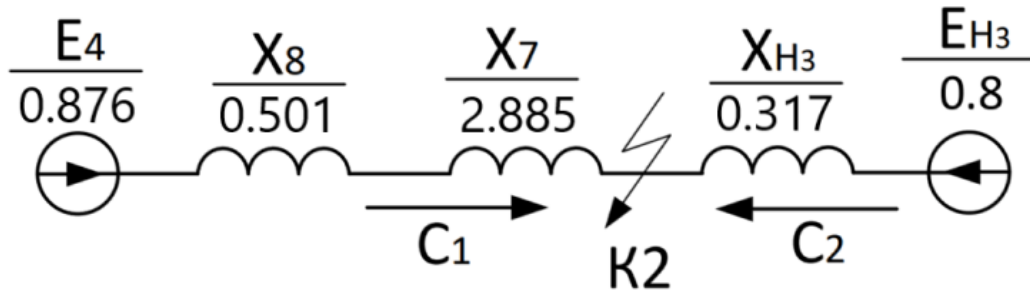


Рисунок 1.27 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_9 = X_8 + X_7 = 0.501 + 2.885 = 3.385 \text{ в. о.}$$

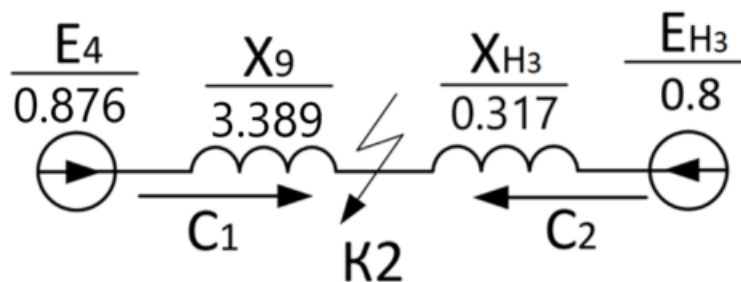


Рисунок 1.28 – Вигляд схеми після виконання перетворень

$$X_{\text{ЕКВ}} = \frac{X_{N3} \cdot X_9}{X_{N3} + X_9} = \frac{0.317 \cdot 3.385}{0.317 + 3.385} = 0.29 \text{ в. о.}$$

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_4 \cdot X_{N3} + E_{N3} \cdot X_9}{X_{N3} + X_9} = \frac{0.876 \cdot 0.317 + 0.8 \cdot 3.385}{0.317 + 3.385} = 0.806 \text{ в. о.}$$

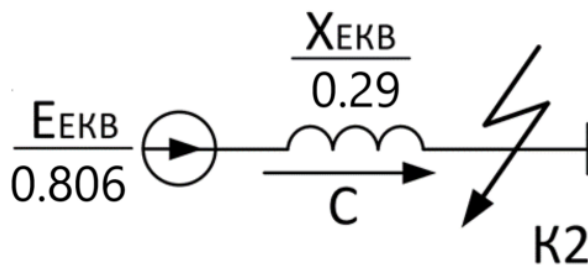


Рисунок 1.29 – Вигляд схеми після виконання перетворень

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

$$C_1 = C \cdot \frac{X_7}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{2.885}{2.885 + 3.385} = 0.46$$

$$C_2 = C \cdot \frac{X_9}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{3.385}{2.885 + 3.385} = 0.549$$

$$C_3 = C_1 \cdot \frac{X_6}{X_5 + X_6} = 0.46 \cdot \frac{3.29}{0.536 + 3.29} = 0.39$$

$$C_4 = C_1 \cdot \frac{X_5}{X_5 + X_6} = 0.46 \cdot \frac{0.536}{0.536 + 3.29} = 0.07$$

Зробимо перевірку:

$$C_2 + C_3 + C_4 - C = 0.54 + 0.39 + 0.07 - 1 = 0$$

Значення періодичної складової 3-фазного струму КЗ:

$$I''_K = \frac{E_{EKВ}}{X_{EKВ}} = \frac{0.806}{0.29} = 2.779$$

$$I_K = I''_K \cdot I_{6\_НН} = 2.779 \cdot 6.298 = 17.502 \text{ кА}$$

Аперіодична складова у момент часу  $t = 0.1 \text{ с}$  для струму КЗ

$$T_{a\_ВН} = 0.06.$$

$$i_{a\_ПС} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{a\_ВН}}} = \sqrt{2} \cdot 17.502 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.06}} = 4.675 \text{ кА}$$

Використаємо коеф. для визначення ударного струму

$$K_{y\_ПС} = 1.85.$$

$$i_{y\_ПС} = \sqrt{2} \cdot K_{y\_ПС} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.85 \cdot 17.502 = 45.79 \text{ кА}$$

Було розраховано 2 режими, результати розрахунків зведено до таблиці 1.14.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

Отримані дані будуть використані в подальших розрахунках.

Таблиця 1.14 - Результати розрахунку струмів КЗ

Назва режиму	Точка КЗ	Аперіодична складова струму $i_a$ , кА	Початкове значення струму $I_k$ , кА	Ударний струм $i_y$ , кА
Режим при 14 вимк., 13 вимк.	1	0.502	2.621	6.672
	2	4.672	17.49	45.759
Режим при 13 вимк., 14 вимк.	1	0.541	2.827	7.196
	2	4.675	17.502	45.79

### Висновки до розділу 1

Цей розділ містить опис та характеристику головної електричної схеми підстанції напругою 35/10 кВ, яка є вузлом розподільчої електричної мережі. Підстанція є двохтрансформаторного типу, отримує живлення по лініях напруги 35 кВ та оснащена системою збірних шин напругою 10 кВ.

На стороні вищої напруги 35 кВ підстанція може бути підключена до енергосистеми за різними схемами, проте найпоширенішою для двохтрансформаторної підстанції є схема з двома фідерними лініями 35 кВ. Кожна з цих ліній через відповідні комутаційні апарати, такі як роз'єднувачі та вимикачі 35 кВ, підключається до свого силового трансформатора 35/10 кВ. Така схема забезпечує незалежне живлення кожного трансформатора від окремої лінії 35 кВ, підвищуючи надійність електропостачання підстанції в цілому – при виведенні в ремонт однієї лінії інша продовжує жити свій трансформатор.

Силкові трансформатори напругою 35/10 кВ здійснюють пониження напруги та є ключовими елементами схеми. Використовуються трансформатори з регулюванням напруги, найчастіше під навантаженням (РПН) на стороні 10 кВ, що дозволяє підтримувати стабільний рівень напруги на шинах 10 кВ незалежно від коливань у мережі 35 кВ та змін навантаження.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

На стороні нижчої напруги 10 кВ розташована система збірних шин. Для двохтрансформаторної підстанції поширеною є схема з однією секціонованою системою збірних шин 10 кВ або двома системами шин.

Було розраховано 2 режими роботи на ПС, результати розрахунків струмів КЗ зведено в таблицю. Отримані дані будуть використані в подальших розрахунках.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

## 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ РП 35 КВ ТА ВИБІР СУЧАСНОГО РЗА

### 2.1 Модернізація шляхом зміни обладнання на РП 35 кВ

На ПС встановлено вимикачі масляні ВТ-35-630, проведемо їх заміну на сучасніші, таким чином РП підстанції змінить конфігурацію і стане ЗРП (раніше була ВРП).

Вимоги до вимикачів:

1) Вимога по ном. напрузі:

$$U_n \geq U_{уст} = 35 \text{ кВ}$$

2) При виникненні струму обтяженого режиму, струм може збільшитися в 2 рази:

$$I_n \geq I_{обт} = 2 \cdot \frac{S_{тз}}{\sqrt{3} \cdot U} = 2 \cdot \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 35} = 82.479 \text{ А}$$

3) Вимога по струму ел. динамічної стійкості:

$$I_{дин} \geq I_{уд} = 2.827 \text{ кА}$$

4) Вимога по номінальному струму відключення вимикача:

$$I_{відкл} \geq I_{кз} = 7.196 \text{ кА}$$

До встановлення виберемо обладнання виробника АВВ [5,6].

Комплектні розподільчі пристрої (КРП) UniGear ZS3.2 - високотехнологічне обладнання виробництва компанії АВВ (тепер Hitachi Energy), призначене для первинного розподілу електроенергії середньої напруги. Вони є ключовим елементом сучасних підстанцій та великих промислових об'єктів.

Пристрої належать до серії трифазних комплектних розподільчих пристроїв у металевій оболонці з повітряною ізоляцією для внутрішньої установки.

Всі струмопровідні частини та відсіки відокремлені один від одного заземленими металевими перегородками. Це забезпечує високий рівень безпеки для персоналу та локалізацію можливих пошкоджень у разі внутрішнього дугового замикання.

					141.ЕК1113.007.ДБ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Кравчук М.Ю.			МОДЕРНІЗАЦІЯ РП 35 КВ ТА ВИБІР СУЧАСНОГО РЗА	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		Омельчук А.О.					39	10
<i>Н. Контр.</i>		Шполянський О.Г.				КРП ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-11		
<i>Затв.</i>		Марченко А. А.						

КРП складається з окремих комірок (шаф), які можуть бути скомпоновані відповідно до конкретних вимог.

Основні характеристики вибраного обладнання зведені в табл. 2.1 – 2.4.

Таблиця 2.1 – Основні параметри UniGear ZS1 [5]

Номинальна напруга, кВ	35
Найбільша робоча напруга, кВ	40.5
Номинальна частота, Гц	50/60
Струм термічної стійкості кА <sup>2</sup> с	≥ 31.5
Номинальний струм електродинамічної стійкості, кА	≥ 80
Номинальний струм відключення вбудованого вимикача, кА	≥ 31.5
Номинальний струм збірних шин, кА	≥ 3.15
Час термічної стійкості, с	3
Вид ізоляції	Повітря

Основні комутаційні апарати, такі як вимикачі (вакуумні), встановлені на вичокучуваних візках. Це дозволяє легко виводити їх для обслуговування або заміни без необхідності повного відключення всієї секції шин, що підвищує експлуатаційну гнучність та безпеку.

Шафи розроблені та протестовані відповідно до стандартів ІЕС на внутрішнє дугове замикання, що забезпечує захист персоналу та обмежує пошкодження обладнання у разі аварії. Зверху шаф розташовані спеціальні розвантажувальні клапани для скидання тиску.

Вакуумні вимикачі серії VD4 виробництва АВВ (тепер Hitachi Energy) є одними з найпоширеніших та надійних комутаційних апаратів для розподільчих мереж середньої напруги. Вони призначені для керування та захисту електричних кіл, таких як кабельні лінії, повітряні лінії, трансформатори, генератори, двигуни та конденсаторні батареї.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

Таблиця 2.2 – Технічні параметри VD4 [6]

Номінальна напруга, кВ	36
Найбільша робоча напруга (1 хв), кВ	70
Номінальна частота, Гц	50
Номінальний струм, кА	1.25; 1.6; 2; 2.5
Номінальний струм електродинамічної стійкості, кА	... 63; 80
Номінальний струм відключення, кА	... 25; 31.5
Струм термічної стійкості кА	... 31.5
Час термічної стійкості, с	4
Час ввімкнення, мс	55-67
Час розімкнення, мс	33-45
Вид ізоляції	Вакуум

Таблиця 2.3 – Технічні параметри ТС [6]

Номінальна напруга, кВ	40.5
Номінальний первинний струм, А	50 ... 3150
Номінальний вторинний струм, А	1; 5
Клас точності	0.2; 0.5; 1; 3
Номінальне навантаження, ВА	10 – 30
Струм термічної стійкості кА	25; 31.5
Час термічної стійкості, с	4
Струм електродинамічної стійкості, кА	63; 80

Таблиця 2.4 – Технічні параметри ТН [6]

Номінальна первинна напруга, кВ	$35/\sqrt{3}$ 35
Найбільша робоча напруга, кВ	95
Номінальна вторинна напруга, В	$100/\sqrt{3}$ 100
Клас точності	0.2; 0.5; 1; 3
Номінальне навантаження, ВА	20 – 100

Загальний вигляд ЗРП 35 кВ показаний на рисунку 2.1.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

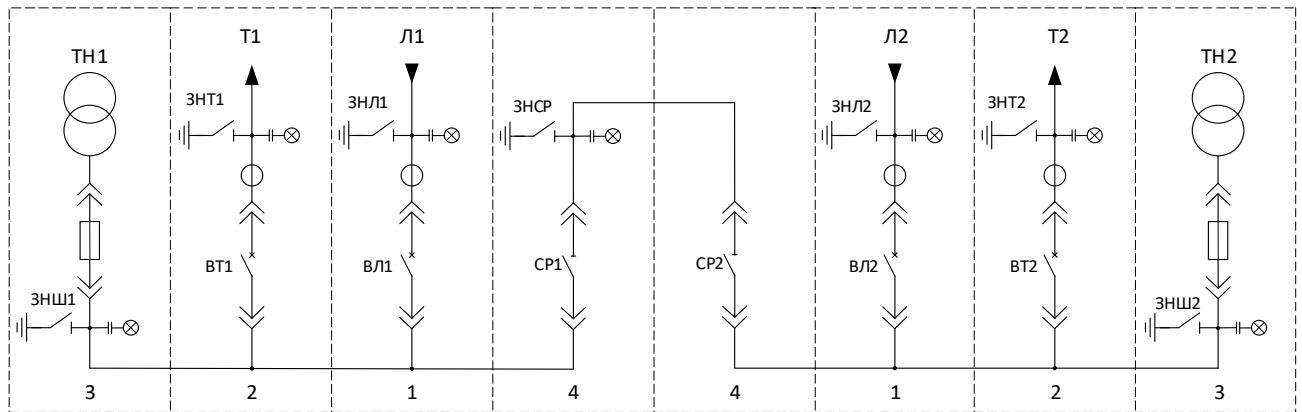


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд ЗРП 35 кВ

Схема ЗРП 35 кВ має назву «Одна, секціонована роз'єднувачами, система шин». Вона забезпечує необхідний рівень надійності та ремонтпридатності при відносно невисокій вартості.

## 2.2 Вимоги до релейного захисту шин і ліній напругою 35 кВ

Повинні бути встановлені захисти ліній 35 кВ згідно ПУЕ [4]:

- Максимальний струмовий захист (МСЗ): Реагує на перевищення струму.
- Струмовий захист нульової послідовності (СЗНП): Виявляє однофазні замикання на землю.
- Направлений струмовий захист: Враховує напрямок потоку потужності КЗ.
- Дистанційний захист: Реагує на опір до місця КЗ, забезпечуючи високу селективність.

Типові захисти шин 35 кВ згідно ПУЕ [4]:

Диференційний захист шин: найбільш надійний та швидкий захист, що реагує на різницю струмів, що входять та виходять з шин.

Резервний захист шин: реалізується за допомогою струмових захистів з витримкою часу, встановлених на всіх приєднаннях, що відходять від шин.

В комірках встановлені мікропроцесорні пристрої типу REF630 для роботи захисту, управління, вимірювання та контролю.

Захист забезпечує мікропроцесорний пристрій типу REF630 [18] (рис.2.2).

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

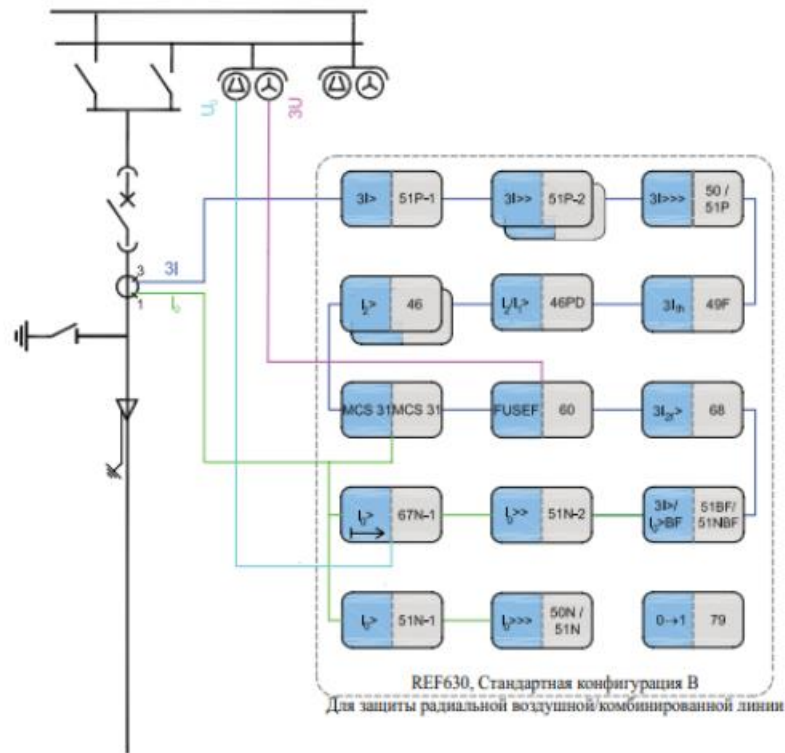


Рисунок 2.2 - REF630 конфігурація «В»

Використання пристрою АВВ REF630 є сучасним та ефективним рішенням для релейного захисту на підстанціях. REF630 – це фідерний термінал (захист фідерів), який є частиною серії Relion від АВВ і призначений для комплексного захисту, керування, моніторингу та зв'язку в електричних мережах середньої напруги.

Конфігурація «В» пристрою REF630 вказує на певний набір функцій захисту та логіки, реалізований у пристрої за замовчуванням або спеціально налаштований для конкретних умов.

Загальний вигляд функцій захисту:

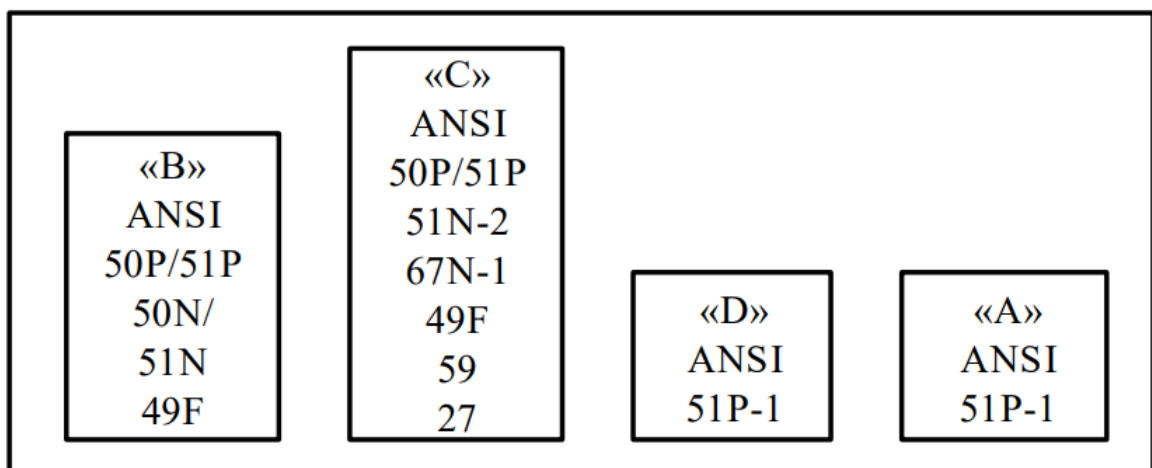


Рисунок 2.3 – REF630 - вигляд елементів РЗ

									Арк.
									43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	141.ЕК1113.007.ДБ				

Впровадження таких сучасних пристроїв, як АВВ REF630, дозволяє значно підвищити рівень надійності, безпеки та ефективності функціонування.

### 2.3 Уставки захистів приєднань 35 кВ

Ном. значення первинних струмів ТС,

$$I_{\text{перв}} = 200 \text{ А}$$

1) Уставка МСЗ

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзп}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{р.макс}} = \frac{1.2 \cdot 2}{0.85} \cdot 200 = 564.706 \text{ А};$$

де  $k_{\text{н}}$  – коеф. надійності,  $k_{\text{сзп}}$  – коеф. самозвпуску,  $k_{\text{в}}$  – коеф. повернення реле, [13].

Струм спрацьовування реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot k_{\text{сх}}}{n_{\text{т}}} = \frac{564.706 \cdot 1}{30} = 18.824 \text{ А};$$

де  $k_{\text{сх}}$ ,  $n_{\text{т}}$  – коеф. схеми, коеф. трансформації ТС.

$I_{\text{кз.мін}}$  - струм при виникненні КЗ:

$$I_{\text{кз.мін}} = \frac{I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{3}}{2} = \frac{2.827 \cdot \sqrt{3}}{2} = 2.448 \text{ кА};$$

Коеф. чутливості становитиме:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.мін}}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{2043}{564.706} = 3.618$$

$$3.618 > 1.5$$

Умова належної чутливості виконана.

Витримка часу складе:

$$t_{\text{с.з.п}} = t_{\text{с.з.н}} + \Delta t = 0 + 0.3 = 0.3,$$

де  $t_{\text{с.з.н}}$  - час спрацьовування нижче розташованого захисту,  $\Delta t$  – ступінь селективності.

Витримка часу для вимикача секції складе:

$$t_{\text{с.з.СВ}} = t_{\text{с.з.п}} + \Delta t = 0.3 + 0.3 = 0.6.$$

2) Для уставки СВ.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

Опір лінії:

$$X_L = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_0}{U_L^2} = 0.4 \cdot 12 \cdot \frac{120}{37^2} = 0.351 \text{ в. о.}$$

Струм КЗ в найвіддаленішій точці з можливих становить:

$$I_{\text{кз.макс}} = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}} + X_L} \cdot I_0 = \frac{0.873}{0.624 + 0.351} \cdot 1.872 = 1.376 \text{ кА}$$

Струм спрацювання СВ та реле [13]:

$$I_{\text{с.в.}} = k_H \cdot I_{\text{кз.макс}} = 1.2 \cdot 1.376 = 1.611 \text{ кА}$$

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.в.}} \cdot k_{\text{СХ}}}{n_T} = \frac{2.011 \cdot 1}{60} = 0.024 \text{ кА}$$

Коеф. чутливості становитиме [13]:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.мін}}}{I_{\text{с.в.}}} = \frac{2.448}{1.611} = 1.531$$

$$1.531 > 1.5$$

Умова належної чутливості виконана.

3) Уставки струму замикання на землю.

Струм замикання на землю для КЛ:

$$3I_{\text{кл}} = \frac{U_H \cdot l_L}{10} = \frac{37 \cdot 12}{10} = 44.4 \text{ А}$$

Струм замикання на землю для КМ:

$$3I_{\text{км}} = \frac{U_H \cdot l_M}{10} = \frac{37 \cdot 80}{10} = 296 \text{ А}$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{\text{с.з.}} = k_H \cdot k_{\text{бр}} \cdot 3I_{\text{км}} = 1.2 \cdot 3 \cdot 44.4 = 159.84 \text{ А}$$

Струм спрацювання реле:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{\text{км}} - 3I_{\text{кл}}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{296 - 44.4}{159.84} = 1.574$$

$$1.574 > 1.5$$

Умова належної чутливості виконана.

Уставки для РЗА ліній 35 кВ зведені в таблиці 2.5.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків для уставок РЗ повітряних ліній

Для МСЗ			Струмова відсічка			Захист від замикань на землю		
$I_{с.з.}, А$	$I_{с.р.}, А$	$k_{ч}$	$I_{с.в.}, кА$	$I_{с.р.}, кА$	$k_{ч}$	$3I_{кл}, А$	$I_{с.з.}, А$	$k_{ч}$
564.706	18.824	3.618	2.011	0.024	1.545	44.4	159.84	1.574

#### 2.4 Уставки для РЗ СВ

Струм спрацювання складає:

$$I_{с.з.} = \frac{k_H \cdot k_{сзп}}{k_B} \cdot I_{р.макс} = \frac{1.2 \cdot 2}{0.85} \cdot 200 = 564.706 \text{ А};$$

Струм спрацювання МСЗ складає:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.} \cdot k_{сх}}{n_T} = \frac{564.706 \cdot 1}{60} = 9.412 \text{ А}$$

Струм 2-фазного КЗ в авар. режимі складає:

$$I_{кз.мін} = \frac{I_{кз} \cdot \sqrt{3}}{2} = \frac{2.827 \cdot \sqrt{3}}{2} = 2.448 \text{ кА};$$

Коеф. чутливості:

$$k_{ч} = \frac{I_{кз.мін}}{I_{с.з.}} = \frac{2448}{564.706} = 4.335$$

Умова належної чутливості виконана.

#### 2.5 Робота АПВ

Для успішної роботи автоматичного повторного включення (АПВ) критично важливо, щоб у проміжку часу між відключенням лінії та повторною подачею напруги повністю згасла електрична дуга в місці короткого замикання (КЗ). Крім того, за цей же час мають відновитися ізоляційні властивості повітря у зоні пошкодження.

Витримка часу для повторного ввімкнення становить:

$$t_{АПВ} \geq t_d + t_{зан} = 0,2 + 0,4 = 0,6 \text{ с.}$$

де  $t_d = 0,2$  с час деіонізації для 35 кВ;

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

Час спрацьовування АПВ встановлюється на рівні 3 секунд. Ця витримка дозволяє лінії самоусунути причини нестійкого короткого замикання (КЗ), а також забезпечує достатній час для повної деіонізації середовища в місці виникнення КЗ.

## **Висновки до розділу 2**

Після модернізації РП підстанції змінить конфігурацію і стане ЗРП (раніше була ВРП).

Було встановлено комплектні розподільчі пристрої UniGear ZS3.2 - високотехнологічне обладнання виробництва компанії АВВ, призначене для первинного розподілу електроенергії середньої напруги. Вони є ключовим елементом сучасних підстанцій та великих промислових об'єктів.

Основні комутаційні апарати, такі як вимикачі (вакуумні), встановлені на вичуваних візках. Це дозволяє легко виводити їх для обслуговування або заміни без необхідності повного відключення всієї секції шин, що підвищує експлуатаційну гнучність та безпеку.

Вакуумні вимикачі серії VD4 виробництва АВВ (тепер Hitachi Energy) є одними з найпоширеніших та надійних комутаційних апаратів для розподільчих мереж середньої напруги. Вони призначені для керування та захисту електричних кіл, таких як кабельні лінії, повітряні лінії, трансформатори, генератори, двигуни та конденсаторні батареї.

Захист шин 35 кВ забезпечує мікропроцесорний пристрій типу REF630.

Використання пристрою АВВ REF630 є сучасним та ефективним рішенням для релейного захисту на підстанціях. REF630 – це фідерний термінал (захист фідерів), який є частиною серії Relion від АВВ і призначений для комплексного захисту, керування, моніторингу та зв'язку в електричних мережах середньої напруги.

Конфігурація «В» пристрою REF630 вказує на певний набір функцій захисту та логіки, реалізований у пристрої за замовчуванням або спеціально налаштований для конкретних умов. Розраховані уставки для роботи пристрою.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

## 3 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРУ

### 3.1 Розрахунок і вибір уставки струмової відсічки

Основні умови для уставок СВ на вводах ВН трансформатора:

Відбудова від максимального струму несиметричного короткого замикання на виводах трансформатора з боку середньої або низької напруги. Це гарантує, що відсічка не спрацює помилково при КЗ, яке має бути ліквідоване захистами на стороні СН/НН трансформатора. Захист ВН-вводу повинен бути резервним для захистів сторін СН/НН і спрацьовувати лише у випадку їх відмови або при КЗ безпосередньо на вводах ВН.

Відбудова від максимального кидка струму намагнічування трансформатора при його включенні. Трансформатори при включенні в мережу можуть генерувати значні пускові струми (кидки струму намагнічування), які значно перевищують номінальні струми. Уставка відсічки має бути достатньо високою, щоб не спрацювати під час цього перехідного процесу, який не є аварійним режимом.

Уставку СВ розраховуються наступним чином:

$$I_{\text{СВ}} = k_{\text{над1}} \cdot I_{\text{кз(III)}}^{\text{НН}},$$

де  $k_{\text{над1}} = 1.2$  – коеф. надійності;

$I_{\text{кз(III)}}^{\text{НН}}$  – струм 3-фазного КЗ зі сторони НН, кА;

$$I_{\text{СВ}} = k_{\text{над2}} \cdot I_{\text{ном.тр}}^{\text{ВН}},$$

де  $k_{\text{над2}} = 4$  – коеф. надійності;

$I_{\text{ном.тр}}$  – ном. струм в обмотці ВН силового трансформатора, кА;

Уставкою є найбільше з отриманих значень.

Ном. струм обмоток ВН становить:

$$I_{\text{номТВН}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номВН}}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 35} = 41.239 \text{ А};$$

$$I_{\text{номТВН}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номНН}}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 564.706 \text{ А};$$

					141.ЕК1113.007.ДБ
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розроб.		Кравчук М.Ю.			Літ.
Перевір.		Омельчук А.О.			Арк.
Н. Контр.		Шполянський О.Г.			Аркушів
Затв.		Марченко А. А.			48
					РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРУ ТМН-2500/35
					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-11
					3

Уставка СВ:

$$I_{\text{СВ}} = k_{\text{над1}} \cdot I_{\text{кЗНН}} = 1.2 \cdot 2.827 = 3.392 \text{ кА};$$

$$I_{\text{СВ}} = k_{\text{над2}} \cdot I_{\text{НОМВН}} = 4 \cdot 41.239 = 164.956 \text{ А};$$

Прийнято  $I_{\text{СВ}} = 3.392 \text{ кА}$ .

Для захисту від перевантаження:

$$I_{\text{СВ}} = k_{\text{від}} \cdot I_{\text{НОМ. тр}} / k_{\text{пов}},$$

де  $k_{\text{від}} = 1.05$  – коеф. відстроювання;

Уставка для захисту від перенавантажень трансформатора:

$$I_{\text{СВ}} = k_{\text{від}} \cdot \frac{I_{\text{НОМТВН}}}{k_{\text{пов}}} = 1.05 \cdot \frac{41.239}{0.95} = 45.58 \text{ А}$$

### 3.2 Розрахунок і вибір уставок МСЗ

Вибір струму спрацювання МСЗ:

$$I_{\text{СЗ}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{СЗП}}}{k_{\text{п}}} \cdot I_{\text{н}}$$

де:  $k_{\text{н}}$  – коеф. надійності;

$k_{\text{п}} = 0,96$  – коеф. повернення.

$k_{\text{СЗП}}$  – коеф. самозапуску;

$k_{\text{СЗП}} = 1,1$ ;

Розрахунок для 35 кВ від перевантаження:

$$I_{\text{С.з.}} = \frac{1,2 \cdot 1,1}{0,96} \cdot 41.239 = 56.704 \text{ А}$$

Розрахунок для 10 кВ від перевантаження:

$$I_{\text{С.з.}} = \frac{1,2 \cdot 1,1}{0,96} \cdot 564.706 = 776.471 \text{ А}$$

Первинний струм складає:

$$I_{\text{СЗ0}} = K_{\text{в}} \cdot I_{\text{Н60}} = 1,25 \cdot 88,2 = 110,25 \text{ А}$$

$K_{\text{в}} = 1,25$  – коеф. відбудови.

Уставка МСЗ для сторони 35 кВ 0-ї послідовності.

Струм небалансу 0-вої послідовності становить:

$$I_{\text{Н60}} = K_{\text{НБ}} \cdot I_{\text{кЗ}} = 0,05 \cdot 7196 = 359.8 \text{ А}$$

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Первинний струм спрацювання становить:

$$I_{сз0} = K_B \cdot I_{н60} = 1,25 \cdot 359,8 = 449,75 \text{ А}$$

$K_B = 1,25$  – коеф. відбудови.

Уставка МСЗ для сторони напругою 10 кВ 0-ї послідовності:

Струм спрацювання становить:

$$I_{сз} = \frac{K_B \cdot K_{сзп}}{K_{п}} \cdot I_{кз} = \frac{1,2 \cdot 1,2}{0,95} \cdot 14584 = 22001,274 \text{ А}$$

$K_{п} = 0,95$  – коеф. повернення,

$K_B = 1,2$  – коеф. відбудови,

$K_{сзп} = 1,2$  – коеф. самозапуску

$$1,5 \leq K_{ч} = \frac{\sqrt{3}/2 \cdot I_{к4}}{I_{сз}} = \frac{\sqrt{3}/2 \cdot 38157}{22001,274} = 1,502$$

Умова належної чутливості виконана.

### Висновки до розділу 3

Основні умови для уставок СВ на вводах ВН трансформатора:

Відбудова від максимального струму несиметричного короткого замикання на виводах трансформатора з боку середньої або низької напруги. Це гарантує, що відсічка не спрацює помилково при КЗ, яке має бути ліквідоване захистами на стороні СН/НН трансформатора. Захист ВН-вводу повинен бути резервним для захистів сторін СН/НН і спрацьовувати лише у випадку їх відмови або при КЗ безпосередньо на вводах ВН.

Розраховано уставки, перевірено чутливість.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## 4 РЗА РП 10 кВ

### 4.1 Основні види захистів для приєднань 10 кВ

Сучасний релейний захист приєднань 10 кВ реалізується на базі багатофункціональних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та автоматики (МПРЗА). Ці пристрої дозволяють реалізувати всі необхідні функції захисту та автоматики в одному компактному корпусі.

- Максимальний струмовий захист (МСЗ)

Призначення: Основний захист від міжфазних коротких замикань (дво- та трифазних) та перевантажень на лінії.

Особливості: Зазвичай реалізується з незалежною або залежною характеристикою часу спрацьовування. Залежна характеристика дозволяє забезпечити більшу селективність з нижчестоящими захистами (наприклад, на трансформаторних підстанціях споживачів) за рахунок того, що час спрацьовування зменшується зі збільшенням струму. Уставки по струму відлаштовуються від максимальних робочих струмів навантаження та узгоджуються з вищими та нижчими ступенями захисту.

- Струмова відсічка (СО)

Призначення: Високошвидкісний захист від потужних струмів короткого замикання, що виникають безпосередньо на шинах або на початку захищеної ділянки лінії.

Особливості: Діє практично без витримки часу або з мінімальною фіксованою витримкою (наприклад, 0.05 с). Її уставка по струму вибирається вище максимального струму КЗ, що виникає за її зоною дії. Це забезпечує селективність, оскільки відсічка спрацює лише при дуже великих струмах, що гарантовано знаходяться в її зоні.

- Захист від замикань на землю

Призначення: Виявлення однофазних та двофазних замикань на землю, які є

					141.ЕК1113.007.ДБ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Кравчук М.Ю.			РЗА РП 10 кВ	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Омельчук А.О.					51	7
<i>Н. Контр.</i>		Шполянський О.Г.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-11		
<i>Затв.</i>		Марченко А. А.						

найбільш поширеними пошкодженнями в електричних мережах.

- Захист від перевантажень.

Призначення: Запобігання перегріву кабелів та обладнання при тривалому перевищенні номінального струму.

Особливості: Зазвичай має залежну характеристику, що імітує теплову інерцію захищуваного елемента.

- Автоматичне повторне включення (АПВ).

Призначення: Автоматичне відновлення електропостачання після тимчасових пошкоджень (наприклад, перекриття ізоляції блискавкою, падіння гілки на лінію).

Особливості: Зазвичай одноразове (АПВ-1). Час спрацьовування АПВ обирається достатнім для згасання дуги в місці КЗ та відновлення ізоляційних властивостей середовища (зазвичай 1-3 секунди для 10 кВ).

## 4.2 Уставки захистів приєднань напругою 10 кВ

Ном. значення первинних струмів ВТ

$$I_{\text{перв}} = 200/100 \text{ А}$$

1) Уставки МСЗ

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзп}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{р.макс}} = \frac{1.2 \cdot 2}{0.85} \cdot 200 = 564.706 \text{ А};$$

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзп}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{р.макс}} = \frac{1.2 \cdot 2}{0.85} \cdot 100 = 282.353 \text{ А};$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot k_{\text{сх}}}{n_{\text{Т}}} = \frac{564.706 \cdot 1}{30} = 18.824 \text{ А};$$

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot k_{\text{сх}}}{n_{\text{Т}}} = \frac{282.353 \cdot 1}{30} = 9.412 \text{ А};$$

Знайдемо  $I_{\text{КЗ.мін}}$  - струм в реле при виникненні КЗ:

$$I_{\text{КЗ.мін}} = \frac{I_{\text{КЗ}} \cdot \sqrt{3}}{2} = \frac{17.502 \cdot \sqrt{3}}{2} = 15.157 \text{ кА};$$

Коеф. чутливості:

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ.мін}}}{I_{\text{С.з.}}} = \frac{15157}{564.706} = 26.841$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ.мін}}}{I_{\text{С.з.}}} = \frac{15157}{282.353} = 48.312$$

$$48.312 > 1.5$$

Умова належної чутливості виконана.

Витримка часу складе

$$t_{\text{с.з.п}} = t_{\text{с.з.н}} + \Delta t = 0 + 0.3 = 0.3,$$

Витримка часу для СВ:

$$t_{\text{с.з.СВ}} = t_{\text{с.з.п}} + \Delta t = 0.3 + 0.3 = 0.6.$$

2) Уставки для СВ.

Опір лінії :

$$X_{\text{Л}} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_0}{U_L^2} = 0.4 \cdot 12 \cdot \frac{100}{10.5^2} = 0.98 \text{ в. о.}$$

Струм КЗ в найвіддаленішій точці з можливих становить:

$$I_{\text{КЗ.макс}} = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}} + X_{\text{Л}}} \cdot I_0 = \frac{0.808}{0.282 + 0.98} \cdot 6.298 = 4.032 \text{ кА}$$

Струм спрацьовування СВ та реле:

$$I_{\text{С.в.}} = k_{\text{н}} \cdot I_{\text{КЗ.макс}} = 1.2 \cdot 4.032 = 4.838 \text{ кА}$$

$$I_{\text{С.р.}} = \frac{I_{\text{С.в.}} \cdot k_{\text{СХ}}}{n_{\text{T}}} = \frac{4.838 \cdot 1}{60} = 0.081 \text{ кА}$$

Коеф. чутливості:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ.мін}}}{I_{\text{С.в.}}} = \frac{15.157}{4.838} = 3.245 > 1.5$$

Умова належної чутливості виконана.

3) Уставка струму замикання на землю.

Струм замикання на землю для КЛ:

$$3I_{\text{кл}} = \frac{U_{\text{н}} \cdot l_{\text{Л}}}{10} = \frac{10.5 \cdot 12}{10} = 12.6 \text{ А}$$

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

Струм замикання на землю для КМ:

$$3I_{\text{КМ}} = \frac{U_{\text{Н}} \cdot I_{\text{М}}}{10} = \frac{10.5 \cdot 80}{10} = 84 \text{ А}$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{\text{с.з.}} = k_{\text{Н}} \cdot k_{\text{бр}} \cdot 3I_{\text{КМ}} = 1.2 \cdot 3 \cdot 12.6 = 45.36 \text{ А}$$

Струм спрацювання реле:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{\text{КМ}} - 3I_{\text{КЛ}}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{84 - 8.4}{45.36} = 1.667 > 1.5$$

Умова належної чутливості виконана.

Уставки для КЛ наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Уставки для КЛ

	МСЗ			Струмова відсічка			Захист від КЗ на землю		
	$I_{\text{с.з.}}, \text{А}$	$I_{\text{с.р.}}, \text{А}$	$k_{\text{ч}}$	$I_{\text{с.в.}}, \text{кА}$	$I_{\text{с.р.}}, \text{А}$	$k_{\text{ч}}$	$3I_{\text{КЛ}}, \text{А}$	$I_{\text{с.з.}}, \text{А}$	$k_{\text{ч}}$
Для $I_{\text{перв}} =$ 200 А	564.706	18.824	26.841	4.033	67.021	3.245	12.6	45.36	1.667
Для $I_{\text{перв}} =$ 100 А	282.353	9.412	48.312						

### 4.3 Розрахунок уставок РЗ для секційного вимикача

Струм спрацювання:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_{\text{Н}} \cdot k_{\text{сзп}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{р.макс}} = \frac{1.2 \cdot 2}{0.85} \cdot 200 = 564.706 \text{ А};$$

Струм спрацювання МСЗ:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot k_{\text{сх}}}{n_{\text{т}}} = \frac{564.706 \cdot 1}{60} = 9.412 \text{ А}$$

Струм 2-фазного КЗ в аварійному режимі:

$$I_{\text{КЗ.мін}} = \frac{I_{\text{КЗ}} \cdot \sqrt{3}}{2} = \frac{17.502 \cdot \sqrt{3}}{2} = 15.157 \text{ кА};$$

Коеф. чутливості:

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.мін}}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{15.157}{564.706} = 22.401$$

Умова належної чутливості виконана.

#### 4.4 Реалізація захистів приєднань напругою 10 кВ

Для реалізації функцій релейного захисту та автоматики (РЗА) приєднань напругою 10 кВ на підстанції обрано мікропроцесорний пристрій ABB REF630. Цей вибір є оптимальним, оскільки REF630, як частина серії ABB Relion® 630, спеціально розроблений для комплексного захисту, керування та моніторингу фідерів у розподільчих мережах середньої напруги (рис 4.1) [18].

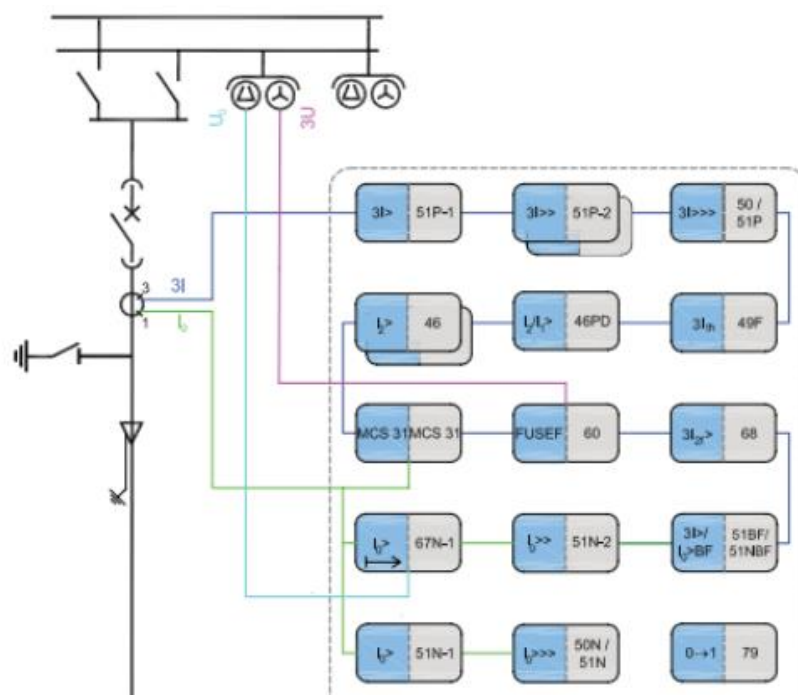


Рисунок 4.1 - Конфігурація «В» пристрою типу REF630

ABB REF630 забезпечить надійний, швидкий та інтегрований захист приєднань 10 кВ, що є ключовим для підвищення надійності та ефективності роботи розподільної електричної мережі.

#### 4.5 Використання АВР та схеми його роботи

Для забезпечення безперебійного електропостачання споживачів 10 кВ на підстанції 35/10 кВ, критично важливим є реалізація автоматичного введення резерву (АВР) (рис. 4.2). Ця функція дозволяє швидко відновити живлення у разі зникнення напруги на основному джерелі, автоматично переключується на резервне:

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55

**АВР  
SUE  
3000**

Рисунок 4.2 – Елемент АВР SUE 3000 для СВ

Логічна схема роботи АВР показана на рис.4.3.

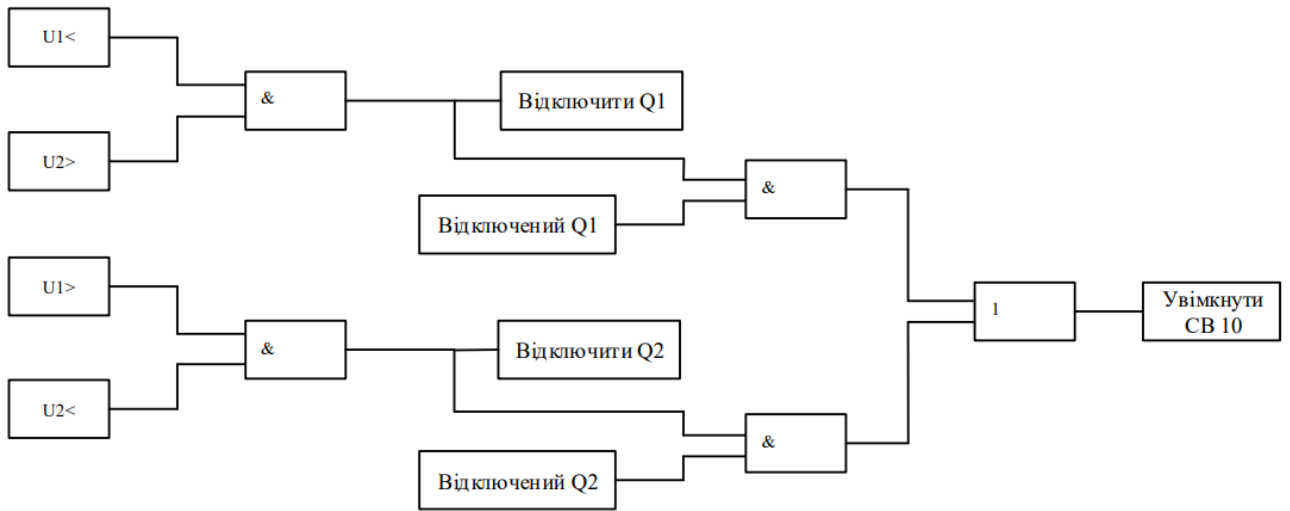


Рисунок 4.3 – Логічна схема роботи АВР

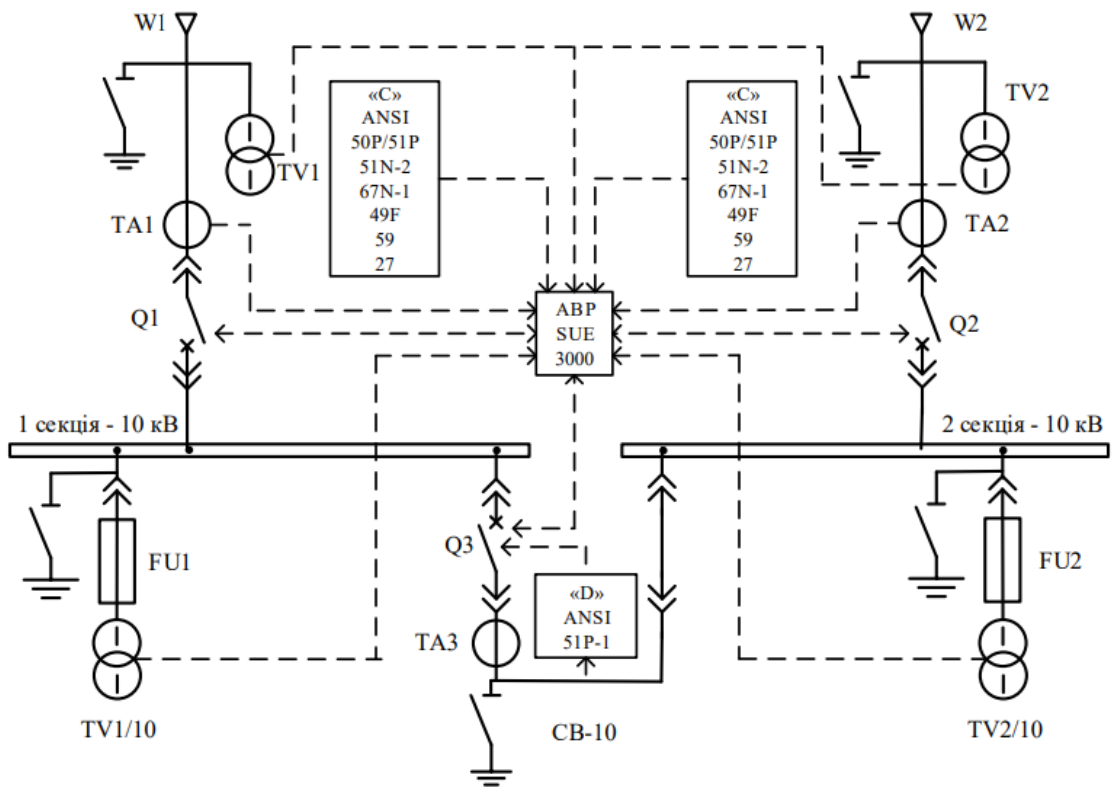


Рисунок 4.4 – Схема виконання роботи АВР

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

Використана схема АВР з двома вводами, двома секціями шин та секційним вимикачем.

Найбільш поширена та гнучка схема для підстанцій 10 кВ. Шини 10 кВ розділені на дві (або більше) секції секційним вимикачем, який у нормальному режимі зазвичай розімкнений. Кожна секція живиться від свого вводу.

Уставки спрацювання:

Напруга:

$$U_{\text{сп.РН}}^I = (0.25 - 0.4) \cdot U_{\text{н}} = 0.25 \cdot 10.5 = 2.625 \text{ кВ}$$

$$U_{\text{сп.РН}}^{II} = \frac{U_{\text{сп.РН}}^I}{n_{\text{тн.роб}}} = \frac{2625}{100} = 26.25 \text{ В}$$

Реле РОВ працює за принципом контролю опору ізоляції між фазами та землею. Воно реагує на зміну цих параметрів, що свідчить про погіршення ізоляції або виникнення ОЗЗ.

Сучасні реле опору витоку, як правило, є мікропроцесорними пристроями, що дозволяють реалізувати складніші алгоритми виявлення ОЗЗ.

Витримка часу:

$$t_{\text{РОВ}} = t_{\text{в.в.}} + \Delta t_{\text{РОВ}} = 0.06 + 0.25 = 0.31 \text{ с}$$

Витримка часу органу пуску АВР:

$$t_{\text{РВ}} = \max((t_{\text{рз}}, t_{\text{с.з.СВ}}) + \Delta t) = 0.6 + 0.7 = 1.3 \text{ с}$$

У мережах 10 кВ з ізольованою або компенсованою нейтраллю (що є типовим для України), реле опору витоку є обов'язковим елементом захисту. Воно встановлюється на кожному фідері (приєднанні) 10 кВ, що відходить від підстанції.

#### Висновки до розділу 4

Сучасний релейний захист приєднань 10 кВ реалізується на базі багато-функціональних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та автоматики (МПРЗА). Ці пристрої дозволяють реалізувати всі необхідні функції захисту та автоматики в одному компактному корпусі.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- Максимальний струмовий захист (МСЗ);
- Струмова відсічка (СО);
- Автоматичне повторне включення (АПВ);
- Захист від замикань на землю;
- Захист від перевантажень.

Вибрано уставки захистів приєднань напругою 10 кВ, уставки РЗ для секційного вимикача.

Для реалізації функцій релейного захисту та автоматики (РЗА) приєднань напругою 10 кВ на підстанції обрано мікропроцесорний пристрій ABB REF630. Цей вибір є оптимальним, оскільки REF630, як частина серії ABB Relion® 630, спеціально розроблений для комплексного захисту, керування та моніторингу фідерів у розподільчих мережах середньої напруги.

Для забезпечення безперебійного електропостачання споживачів 10 кВ на підстанції 35/10 кВ, критично важливим є реалізація автоматичного введення резерву (АВР). Ця функція дозволяє швидко відновити живлення у разі зникнення напруги на основному джерелі, автоматично переключється на резервне.

Використана схема АВР з двома вводами, двома секціями шин та секційним вимикачем.

Найбільш поширена та гнучка схема для підстанцій 10 кВ. Шини 10 кВ розділені на дві (або більше) секції секційним вимикачем, який у нормальному режимі зазвичай розімкнений. Кожна секція живиться від свого вводу.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВИСНОВКИ

Після модернізації РП підстанції змінить конфігурацію і стане ЗРП (раніше була ВРП).

Було встановлено комплектні розподільчі пристрої UniGear ZS3.2 - високотехнологічне обладнання виробництва компанії АВВ, призначене для первинного розподілу електроенергії середньої напруги. Вони є ключовим елементом сучасних підстанцій та великих промислових об'єктів.

Основні комутаційні апарати, такі як вимикачі (вакуумні), встановлені на вичуваних візках. Це дозволяє легко виводити їх для обслуговування або заміни без необхідності повного відключення всієї секції шин, що підвищує експлуатаційну гнучність та безпеку.

Вакуумні вимикачі серії VD4 виробництва АВВ (тепер Hitachi Energy) є одними з найпоширеніших та надійних комутаційних апаратів для розподільчих мереж середньої напруги. Вони призначені для керування та захисту електричних кіл, таких як кабельні лінії, повітряні лінії, трансформатори, генератори, двигуни та конденсаторні батареї.

Захист шин 35 кВ забезпечує мікропроцесорний пристрій типу REF630.

Використання пристрою АВВ REF630 є сучасним та ефективним рішенням для релейного захисту на підстанціях. REF630 – це фідерний термінал (захист фідерів), який є частиною серії Relion від АВВ і призначений для комплексного захисту, керування, моніторингу та зв'язку в електричних мережах середньої напруги.

Конфігурація «В» пристрою REF630 вказує на певний набір функцій захисту та логіки, реалізований у пристрої за замовчуванням або спеціально налаштований для конкретних умов. Розраховані уставки для роботи пристрою.

Вибрано уставки захистів приєднань напругою 10 кВ, уставки РЗ для секційного вимикача.

Для реалізації функцій релейного захисту та автоматики (РЗА) приєднань напругою 10 кВ на підстанції обрано мікропроцесорний пристрій АВВ REF630. Цей

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

вибір є оптимальним, оскільки REF630, як частина серії ABB Relion® 630, спеціально розроблений для комплексного захисту, керування та моніторингу фідерів у розподільчих мережах середньої напруги.

Для забезпечення безперебійного електропостачання споживачів 10 кВ на підстанції 35/10 кВ, критично важливим є реалізація автоматичного введення резерву (АВР). Ця функція дозволяє швидко відновити живлення у разі зникнення напруги на основному джерелі, автоматично переключється на резервне.

Використана схема АВР з двома вводами, двома секціями шин та секційним вимикачем.

Найбільш поширена та гнучка схема для підстанцій 10 кВ. Шини 10 кВ розділені на дві (або більше) секції секційним вимикачем, який у нормальному режимі зазвичай розімкнений. Кожна секція живиться від свого вводу.

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вайнберг А.М. Компенсація реактивної потужності в електричних мережах. Київ: Техніка, 2005. 240 с.
2. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. Харків : Фортуна, 2017. 704 с.
3. Б. Н. Неклепаєв та І. П. Крючков, Електрична частина електростанцій та підстанцій: Довідкові матеріали для курсового та дипломного проектування, "Енергоатоміздат", 1989.
4. Бардик Є. І., Безбереж'єв Ю. В. Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах: Методичні вказівки. – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2013. – 33 с.
5. Рішення АББ для розподільчих мереж [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://new.abb.com/docs/librariesprovider25/catalogues/abb-build-ready-1.pdf?sfvrsn=2> (дата звернення: 06.06.2025).
6. UniGear ZS3.2 metal-enclosed switchgear [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://searchext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1YHD000000A0993&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (дата звернення: 06.06.2025).
7. Омельчук А.О. «Електрична частина станцій і підстанцій». Київ, 2017.
8. Кідиба В. П. «Релейний захист електроенергетичних систем». – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.
9. Transformer protection RET650 Version 2.1. Technical manual.
10. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем: навчальний посібник Ч.2 / укл.:Д.П. Козярьський, Е.В. Майструк, І.П. Козярьський. Чернівці: Чернівецький нац. ун. 2019. 133 с.
11. Технічні характеристики ТН типу НАМИ-10-95 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://voltten.com/nami-10-95-transformator-napryazheniya-iz-meritelnyjmaslyanyj-antirezonsny> (дата звернення: 06.06.2025).

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61

12. Обладнання виробника АВВ на напругу 35 кВ [Електронний ресурс] Режим доступу: [https://voltline.ua/files/voltline/reg\\_files/abb\\_seti\\_final.pdf](https://voltline.ua/files/voltline/reg_files/abb_seti_final.pdf) (дата звернення: 06.06.2025).
13. Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. «Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання». Кропивницький, 2020.
14. Релейний захист та автоматизація енергосистем. Дослідження двоступеневого струмового захисту з незалежною витримкою часу. Розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс] : навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. О. О. Дмитренко, В. М. Хлистов. – Електронні текстові данні (1 файл: 4 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 15 с. (дата звернення: 06.06.2025).
15. Пристрій REF630. Feeder protection and control. АВВ [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://new.abb.com/medium-voltage/substation-automation/products/feeder-protection-and-control/ref620> (дата звернення: 06.06.2025).
16. Пристрій SUE 3000 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://pomegerim.ua/rza/img/bavrsue3000.pdf> (дата звернення: 06.06.2025).
17. Пристрій RET630 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS757349&LanguageCode=ru&DocumentPartId=&Action=Launch> (дата звернення: 06.06.2025).
18. Дмитерко О.О., Хоменко О.В. Цифрові пристрої релейного захисту та автоматики. Практикум [Електронний ресурс]. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 18 с. (дата звернення: 06.06.2025).

					141.ЕК1113.007.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62