

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроенерготехніки та автоматики**

**Кафедра автоматизації енергосистем**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О.І. Толочко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“11” червня 2020 р.

**Дипломний проект**

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (управління, захист та автоматизація енергосистем) на тему:

**Реконструкція підстанції 35/10 кВ**

Виконав: студент III курсу, групи ЕК-п71  
(шифр групи)

Полуботкін Олександр Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник доцент, к.т.н. Курсон О.І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет електроенерготехніки та автоматики**  
**Кафедра автоматизації енергосистем**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (управління, захист та автоматизація енергосистем)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) О.І. Толочко  
(ініціали, прізвище)

“11” червня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Полуботкіну Олександр Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту **Реконструкція підстанції 35/10 кВ**

керівник проекту Курсон Олег Іванович доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «28» квітня 2020 р. №1047-с

2. Термін подання студентом проекту 10.06.2020

3. Вихідні дані до проекту Схема підстанції. Технічні умови. Розрахункова схема електропостачання. Матеріали науково-дослідних та проектних організацій. Каталоги виробників обладнання. Довідкова література.

4. Зміст пояснювальної записки Схема підстанції. Технічні умови. Розрахунки струмів короткого замикання. Вибір обладнання ЗРП 35 кВ та ЗРП 10 кВ. Релейний захист приєднань 10 кВ. АВР на стороні 10 кВ.

5. Перелік графічного матеріалу 1. Схема електрична однолінійна заданої підстанції. 2-3 Схеми до реконструйованої підстанції.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)\*

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

## 7. Дата видачі завдання 05.02.2020 р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання роботи	Примітка
1.	Характеристика заданої підстанції	20.02.2020	
2.	Розрахунки струмів короткого замикання	10.03.2020	
3.	Вибір обладнання ЗРП 35 кВ. Схема реконструйованого ЗРП	01.04.2020	
4.	Вибір обладнання РП 10 кВ. Схема реконструйованого ЗРП	20.04.2020	
5.	Розрахунки релейного захисту ЗРП 10 кВ.	15.05.2020	
6.	Схема АВР Графічні ілюстрації	30.05.2020	
7.	Оформлення закінченої роботи	10.06.2020	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	141.71-2.001.ДБ	Пояснювальна записка	91	
3	A2	141.71-2.001.ТК1	Задана схема підстанції 35/10 кВ	1	
5	A2	141.71-2.001.ТК2	ЗРП 10 кВ	1	
6	A2	141.71-2.001.ТК3	АВР 10 кВ	1	

					<i>141.71-2.001.ДБ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Відомість дипломного проекту</i>		
Розробив		<i>Полуботкін О.С.</i>					
Перевірив		<i>Курсон О.І.</i>					
Н. Контр.		<i>Настенко Д.В.</i>					
Затверд.		<i>Толочко О.І.</i>			<div>Літ.</div> <div>Аркуш</div> <div>Аркушів</div> <div>3</div> <div>1</div> <div>КПІ ім. Ігоря Сікорського</div> <div>ФЕА, гр. ЕК-п71</div>		

# **Пояснювальна записка до дипломного проекту**

на тему: Реконструкція підстанції 35/10 кВ

Київ – 2020 року

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить 91 аркуш та 39 рисунків, 17 таблиць, 3 листи графічної частини, 10 додатків та 30 літературних посилань.

**Актуальність теми** – забезпечення надійності електропостачання і безаварійної роботи електрообладнання, мінімізація витрат на обслуговування.

**Об'єкт дослідження** – підстанція Моланська 35 кВ.

**Предмет дослідження** – реконструкція підстанції.

**Мета дослідження** – вибір обладнання що відповідає заданим технічним вимогам.

**Методи дослідження** – розрахунок параметрів для вибору обладнання та релейного захисту і автоматики.

Ключові слова: ПІДСТАНЦІЯ, ТРАНСФОРМАТОР, ВИМИКАЧ, СЕКЦІЯ, КОМІРКА, ШИНА, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ І АВТОМАТИКА, МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ, АВТОМАТИЧНЕ ВВЕДЕННЯ РЕЗЕРВУ.

						Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ABSTRACT

The diploma project features 91 pages and 39 figures, 17 tables, 3 pages of the graphic part, 10 annexes and 30 literature links.

**Relevance of the topic** – reliability control of the security of power supply and accident-free operation of electric equipment, minimization of maintenance costs.

**Object of study** – substation Molanska 35 kV.

**Subject of research** – substation upgrade.

**Aim of the study** – selection of equipment which is consistent with defined test regulations.

**Research methods** – parameter calculations for selection of equipment and relay protection and automatics.

Key words: SUBSTATION, TRANSFORMER, CIRCUIT BREAKER, SECTION, CUBICLE, BUSBAR, SHORT-CIRCUIT, RELAY PROTECTION AND AUTOMATICS, OVERCURRENT PROTECTION, AUTOMATIC TRANSFER SWITCH.

						Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАНОЇ ПІДСТАНЦІЇ .....	12
1.1 Схема електричних з'єднань .....	12
1.2 Основне обладнання.....	13
1.2.1 Силові трансформатори.....	13
1.2.2 Обладнання ВРП 35 кВ.....	13
1.2.3 Обладнання ЗРП 10 кВ .....	14
1.3 Розрахунок струмів короткого замикання .....	16
1.3.1 Вихідні дані.....	16
1.3.2 Розрахунок струмів КЗ без врахування навантаження.....	18
1.3.2.1 Розрахунок струмів КЗ в точці К1 .....	20
1.3.2.2 Розрахунок струмів КЗ в точці К2.....	21
1.3.3 Розрахунок струмів КЗ з врахуванням навантаження.....	22
Висновки .....	34
2 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЗРП 35 кВ.....	36
2.1 Вимоги до вибору обладнання .....	36
2.1.1 Вимоги до вибору комірок .....	36
2.2 Огляд представленого в Україні обладнання .....	37
2.2.1 Обладнання фірми АВВ.....	37
2.2.2 Обладнання фірми Siemens .....	38
2.2.3 Обладнання фірми Schneider Electric .....	39
2.2.4 Обладнання фірми РЗВА .....	40

						Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



2.2.5	Остаточний вибір обладнання .....	41
2.3	Схема реконструйованого ЗРП 35 кВ.....	42
	Висновки .....	43
3	ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЗРП 10 кВ.....	44
3.1	Вимоги до вибору обладнання .....	44
3.1.1	Вимоги до вибору комірок .....	44
3.2	Огляд представленого в Україні обладнання .....	45
3.2.1	Обладнання фірми ABB.....	45
3.2.2	Обладнання фірми Siemens .....	46
3.2.3.	Обладнання фірми Schneider Electric .....	46
3.2.4.	Обладнання фірми РЗВА .....	47
3.2.5.	Остаточний вибір обладнання .....	48
3.3	Схема реконструйованого ЗРП 10 кВ.....	49
	Висновки .....	50
4	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА ПРИЄДНАНЬ ЗРП 10 кВ .....	51
4.1	Вибір захистів приєднань 10 кВ.....	51
4.1.1	Кабельні лінії 10 КВ.....	51
4.1.2	Секційний вимикач 10 кВ.....	51
4.1.3	Трансформатори власних потреб.....	51
4.2	Розрахунок захистів приєднань 10 кВ .....	52
4.2.1	Захист фідерів .....	53
4.2.2	Розрахунок захисту секційного вимикача .....	56
4.3	Реалізація захистів приєднань 10 кВ .....	57
4.4	Автоматичне включення резервного живлення .....	59

						Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4.1	Організація АВР на базі пристроїв Seram .....	61
4.4.2	Послідовність роботи АВР .....	61
4.4.3	Розрахунок уставок АВР .....	64
	Висновки .....	65
	ВИСНОВКИ.....	66
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67
	Додаток А .....	71
	Додаток Б.....	74
	Додаток В .....	75
	Додаток Г .....	78
	Додаток Д .....	80
	Додаток Е .....	82
	Додаток Ж .....	84
	Додаток К .....	86
	Додаток Л .....	88
	Додаток М .....	90

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

П/СТ – підстанція;

ВРУ – відкритий розподільчий пристрій;

ЗРУ – закритий розподільчий пристрій;

ПЛ – повітряна лінія;

КЛ – кабельна лінія;

КА – комутаційний апарат;

КЗ – коротке замикання;

АВР – автоматичне введення резерву;

РЗА – релейний захист і автоматика;

АСУТП – автоматична система управління технологічним процесом;

МСЗ – максимальний струмовий захист;

СВ – струмова відсічка;

ТС – трансформатор струму;

ТН – трансформатор напруги;

ПУЕ – правила улаштування електроустановок.

						Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Енергетика відіграє дуже важливу роль в розвитку будь-якої країни та її економіки. Тому її розвинення безпосередньо впливає на добробут держави.

На даний момент в Україні генерація електроенергії складає близько 50 000 МВт, з яких 60% припадає на теплові електростанції, 23% – атомні, 10% – гідро і решта це відновлювальні джерела та мала енергетика.

В наш час існує декілька факторів які суттєво пригальмовують розвиток енергетики в Україні. Один з найвагоміших – застаріле обладнання. На більшості енергооб'єктів встановлені електроустановки які вже давно відпрацювали свій термін служби або близькі до цього. В зв'язку з цим, можливі часті відмови обладнання, що веде за собою, в кращому випадку, відключення споживачів, а в гіршому – аварії і в будь-якому випадку значні збитки.

На мою думку, першочергове завдання яке стоїть перед Національним енергетичним комплексом України – це спорудження нових та реконструкція старих електричних станцій, підстанцій, розподільчих установок і електричних мереж з застосуванням передового силового обладнання та засобів релейного захисту та автоматики для забезпечення надійної і безперебійної роботи енергосистеми.

В даному дипломному проекті буде розглядатися реконструкція підстанції 35/10 кВ. Вихідними даними являється однолінійна схема електричних з'єднань підстанції з переліком встановленого на ній обладнання та схема для розрахунків струмів КЗ.

Виконання проекту передбачає розрахунок струмів КЗ, огляд представленого в Україні високовольтного обладнання і вибір останнього, вибір і розрахунок захистів приєднань РП 10 кВ, організація і розрахунок уставок АВР.

						Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

## 1.1 Схема електричних з'єднань

Задана підстанція 35/10 кВ представлена на листі 1 (рис. А.1 додатку А). Пст являється тупиковою, так як живлення до неї надходить двома лініями від одного джерела. ПС складається з двох РП і двох трансформаторів.

РП 35 кВ відринотого типу виконано за схемою «Містка» з встановленими вимикачами та роз'єднувачами з боку ліній [3, с.333]. ВРП складається з двох секцій, які розділені роз'єднувачами та вимикачем. Живлення здійснюється від повітряних ліній 35 кВ через трансформатори струму. Також до секцій приєднані трансформатори напруги.

РП 10 кВ закритого типу виконано за схемою «одна, секціонована вимикачем, система шин». В кожній з секцій розташовані по чотири комірки, які обладнані вимикачами, роз'єднувачами, заземлюючими ножами та трансформаторами струму. До шин 10 кВ також приєднані трансформатори напруги і трансформатори власних потреб, які захищені запобіжниками. Від ЗРП відходять 6 ліній 10 кВ. На секційному вимикачі встановлено АВР.

Аналізуючи дану схему, можна виділити наступні режими її роботи:

1) Нормальний режим: дві лінії і два трансформатора в роботі, секційні вимикачі 35 кВ і 10 кВ відключено.

2) За схемою «одна лінія – два трансформатора» (одна ПЛ в роботі). Живлення одного трансформатора здійснюється від лінії, а іншого – від тої ж лінії через СВ 35 кВ.

3) За схемою «одна лінія – один трансформатор»: СВ 35 кВ – відключено, СВ 10 кВ – включено.

					141.71-2.001.ДБ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Разробив		Полуботкін О.С.			Характеристика заданої підстанції	Літ.	Аркуш
Перевірів		Курсон О.І.					Аркушів
							12
Н. Контр.		Настенко Д.В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Затверд.		Толочко О.І.				ФЕА, гр. ЕК-п71	
						24	

## 1.2 Основне обладнання

### 1.2.1 Силові трансформатори

На підстанції встановлені два силові масляні трифазні двохобмоткові з природною циркуляцією повітря і масла трансформатори ТМН-6300/35 які обладнані РПН (див. рис. 1.1.1). Трансформатори заміні не підлягають

Технічні характеристики трансформаторів приведені в таблиці А.1 додатку А [4, с.140].

### 1.2.2 Обладнання ВРП 35 кВ

До складу ВРП 35 кВ входять (див. рис. 1.1.1):

- 1) Вимикачі високовольні триполюсні масляні типу ВТ-35, С-35. Призначені для комутацій електричних кіл в нормальних режимах і для розмикання їх при аварійних режимах. [4, с.248]
- 2) Роз'єднувачі триполюсні горизонтально-поворотні типу РНДЗ. Призначені для створення видимого розриву ланцюга після знеструмлення ділянки вимикачем. [4, с.269]
- 3) Трансформатор напруги однофазний з природною циркуляцією повітря і масла, що заземляється типу ЗНОМ-35-66-У1. Призначений для зменшення первинної величини напруги до значення, необхідного для підключення пристроїв РЗ та вимірювальних приладів. [5]
- 4) Розрядники вентильні стаціонарні типу РВС-35. Призначені для захисту обладнання від атмосферних перенапруг. [4, с.364]
- 5) Обмежувачі перенапруги типу ОПН-35. Призначені для захисту обладнання від атмосферних та комутаційних перенапруг. [5]

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Технічні характеристики обладнання ВРП 35 кВ приведені в таблицях А.2-А.6 додатку А.

### 1.2.3 Обладнання ЗРП 10 кВ

До складу ЗРП 10 кВ входять (див. рис. 1.1.1):

- 1) Вимикачі високовольтні триполюсні маломасляні колонкового типу ВК-10. [4, с.234]
- 2) Трансформатор напруги однофазний з природною циркуляцією повітря і масла, що заземляється типу ЗНОМ-10. Призначений для зменшення первинної величини напруги до значення, необхідного для підключення пристроїв РЗ та вимірювальних приладів. [5]
- 3) Трансформатор напруги трифазний анти резонансний з природною циркуляцією повітря і масла для контролю ізоляції мережі типу НАМИ-10. [5]
- 4) Трансформатори струму сухі опорні литі типу ТОЛ-10. Призначені для зменшення первинної величини струму до значення, необхідного для підключення пристроїв РЗ і вимірювальних приладів. [4, с.298]
- 5) Трансформатори власних потреб трифазні двообмоткові з природною циркуляцією повітря і масла з захисною азотною подушкою з ПБЗ типу ТМЗ-40/10. [5]
- 6) Запобіжники високовольтні кварцеві типу ПТ-10, ПК-10. Призначені для захисту обладнання від струмів перевантаження і струмів КЗ. [4, с. 256]
- 7) Розрядники вентильні опорні типу РВО-10. Призначені для захисту обладнання від атмосферних перенапруг. [4, с.364]

						Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики обладнання ЗРП 10 кВ приведені в таблицях А.7 – А.12 додатку А.

На підстанції всі встановлені вимикачі являються масляними/маломасляними. Принцип роботи даних вимикачів базується на гасінні електричної дуги за рахунок потоку газомасляної суміші, яка виникає в результаті розкладання масла під дією високої температури.

Експлуатація такого обладнання вимагає наступні регулярні перевірки: рівня масла в баках, відсутність протікання, відсутність тріску/шуму в баках, стан виводів, відсутність слідів викиду масла через клапани. [6]

В поворотному механізмі роз'єднувачів з часом виникають люфти, які негативно впливають на надійність контакту і механізм в цілому.

Так як РП 35 кВ відкритого типу, усе встановлене в ньому обладнання, в продовж довгих років експлуатації піддавалося впливу навколишнього середовища, що значною мірою вплинуло на стан апаратури.

Дані комутаційні апарати являються на даний момент морально і технічно застарілими, тому в ході реконструкції ПС, вони підлягають заміні на нове сучасне обладнання.

Схему електричних з'єднань, з точки зору надійності, приймаємо наступну: РП 35 кВ закритого типу за схемою «одна, секціонована роз'єднувачем, система шин» з вимикачами в колах ліній та трансформаторів; РП 10 кВ закритого типу за схемою «одна, секціонована вимикачем, система шин» з АВР встановленим на секційному вимикачі 10 кВ та вимикачах трансформаторів.

						Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 1.3 Розрахунок струмів короткого замикання [2]

### 1.3.1 Вихідні дані

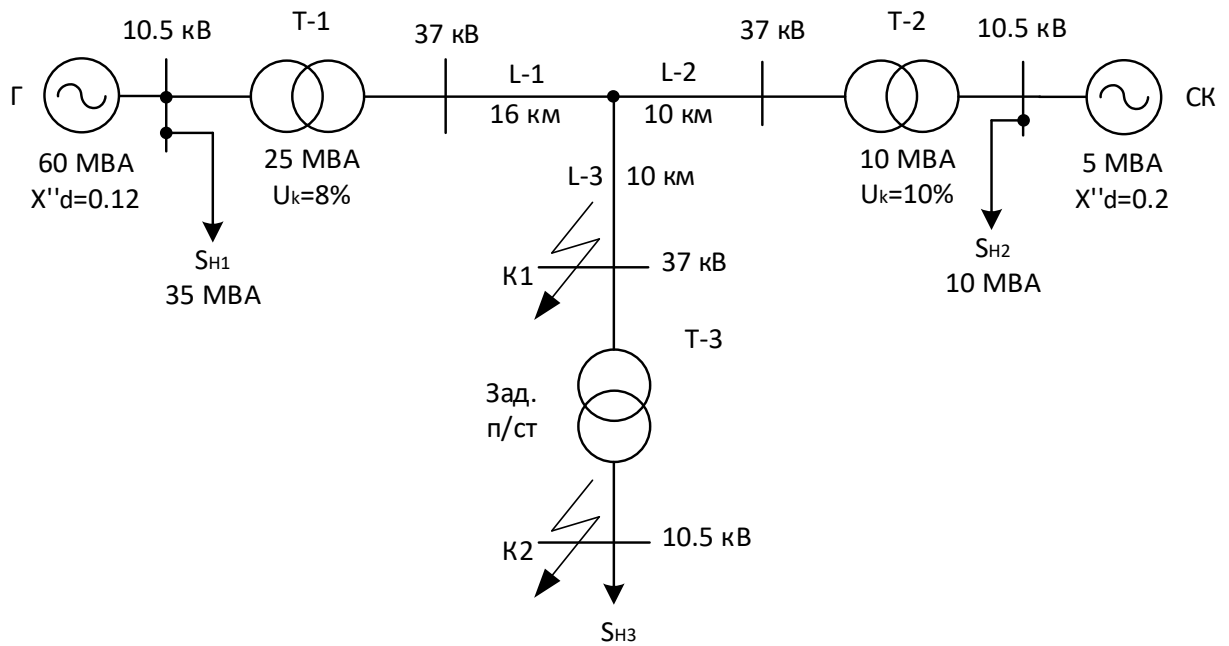


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема

Параметри обладнання, необхідні для розрахунків параметрів схеми заміщення, представлені в таблицях Б.1 – Б.5 додатку Б (див. рис. – А.1 додатку А).

Приймаємо за базисні наступні параметри:

$$S_6 = 100 \text{ MVA}$$

$$U_{6\_ВН} = 37 \text{ кВ}$$

$$U_{6\_НН} = 11 \text{ кВ}$$

$$I_{6\_ВН} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1.56 \text{ кА}$$

$$I_{6\_НН} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 11} = 5.249 \text{ кА}$$

Складання схеми заміщення і визначення її основних параметрів [2]

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

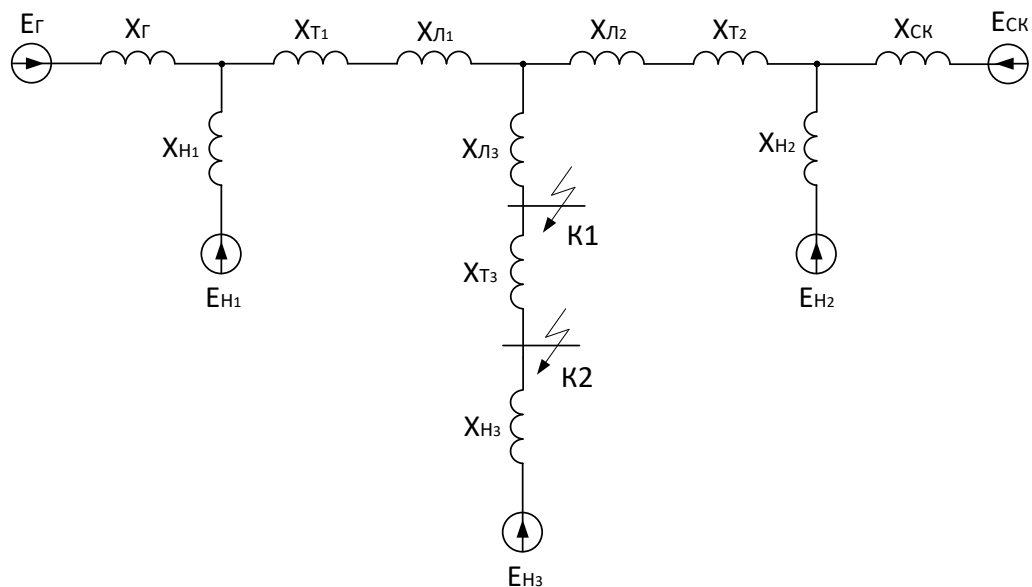


Рисунок 1.2 – Вихідна схема заміщення

Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

Двообмоткові трансформатори:

$$X_{T1} = \frac{U_{K1\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T1}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0.32 \text{ в. о.}$$

$$X_{T2} = \frac{U_{K2\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T2}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{100}{10} = 1 \text{ в. о.}$$

$$X_{T3} = \frac{U_{K3\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T3}} = \frac{7.5}{100} \cdot \frac{100}{6.3} = 1.19 \text{ в. о.}$$

Генератори:

$$X_{Г} = X''_{dГ} \cdot \frac{S_6}{S_{Г}} = 0.12 \cdot \frac{100}{60} = 0.2 \text{ в. о.}$$

$$E_{Г} = 1.08 \quad [1, 24c]$$

Синхронні компенсатори:

$$X_{СК} = X''_{dСК} \cdot \frac{S_6}{S_{СК}} = 0.2 \cdot \frac{100}{5} = 4 \text{ в. о.}$$

$$E_{СК} = 1.2 \quad [1, 24c]$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	17

ЛЕП:

$$X_{Л1} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_6}{U_L^2} = 0.4 \cdot 16 \cdot \frac{100}{37^2} = 0.467 \text{ в. о.}$$

$$X_{Л2} = X_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_6}{U_L^2} = 0.4 \cdot 10 \cdot \frac{100}{37^2} = 0.292 \text{ в. о.}$$

$$X_{Л3} = X_0 \cdot l_3 \cdot \frac{S_6}{U_L^2} = 0.4 \cdot 10 \cdot \frac{100}{37^2} = 0.292 \text{ в. о.}$$

Навантаження:

$$X_{Н1} = X_1 \cdot \frac{S_6}{U_H^2} = 0.35 \cdot \frac{100}{10.5^2} = 0.317 \text{ в. о.}$$

$$X_{Н2} = X_2 \cdot \frac{S_6}{U_H^2} = 0.35 \cdot \frac{100}{10.5^2} = 0.317 \text{ в. о.}$$

$$X_{Н3} = X_3 \cdot \frac{S_6}{U_H^2} = 0.35 \cdot \frac{100}{10.5^2} = 0.317 \text{ в. о.}$$

### 1.3.2 Розрахунок струмів КЗ без врахування навантаження

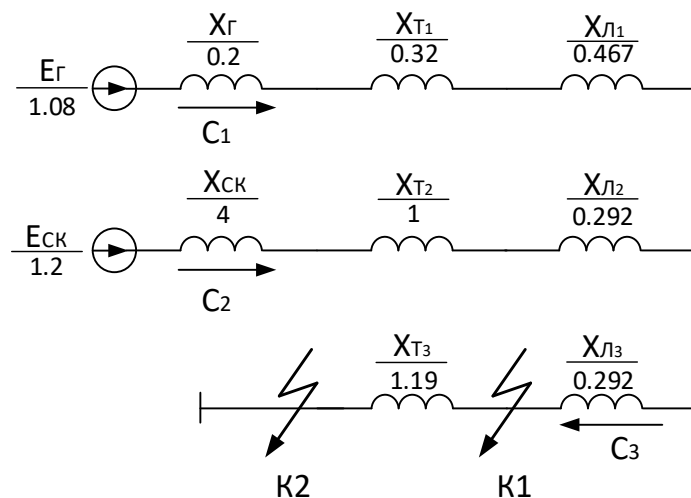


Рисунок 1.3. – Схема заміщення з визначеними параметрами, без врахування навантаження

Спрощення схеми заміщення:

$$X_1 = X_{Г} + X_{Т1} + X_{Л1} = 0.2 + 0.32 + 0.467 = 0.987 \text{ в. о.}$$

$$X_2 = X_{СК} + X_{Т2} + X_{Л2} = 4 + 1 + 0.292 = 5.292 \text{ в. о.}$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	18

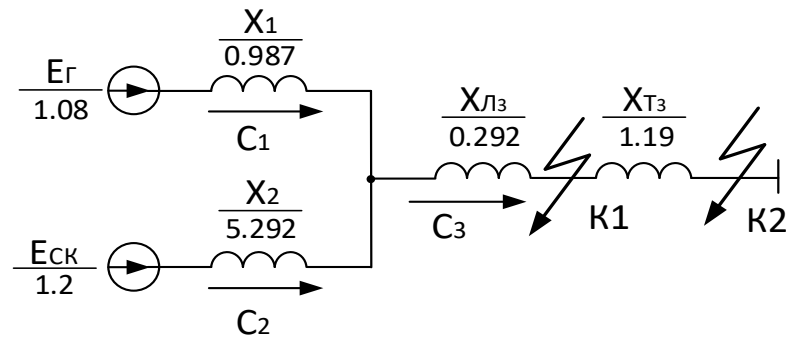


Рисунок 1.4 – Спрощена схема заміщення на першому етапі

$$X_3 = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} = \frac{0.987 \cdot 5.292}{0.987 + 5.292} = 0.832 \text{ в. о.}$$

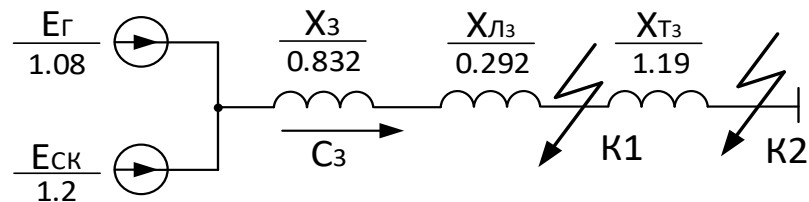


Рисунок 1.5 – Спрощена схема заміщення на другому етапі

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_{\text{Г}} \cdot X_2 + E_{\text{СК}} \cdot X_1}{X_1 + X_2} = \frac{1.08 \cdot 5.292 + 1.2 \cdot 0.987}{0.987 + 5.292} = 1.099 \text{ в. о.}$$

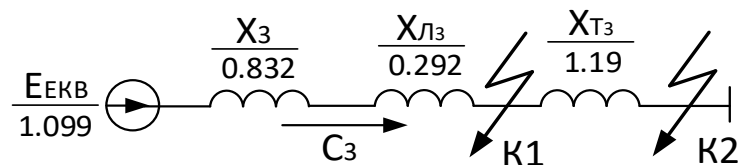


Рисунок 1.6 – Спрощена схема заміщення на третьому етапі

$$X_4 = X_3 + X_{\text{ЛЗ}} = 0.832 + 0.292 = 1.124 \text{ в. о.}$$

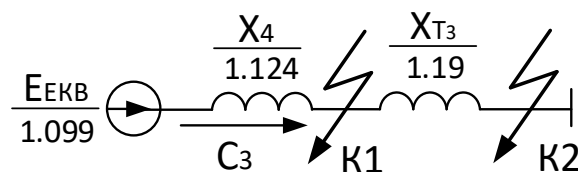


Рисунок 1.7 – Спрощена схема заміщення на четвертому етапі

### 1.3.2.1 Розрахунок струмів КЗ в точці К1

$$X_{\text{ЕКВ}} = X_4 = 1.124 \text{ в. о.}$$

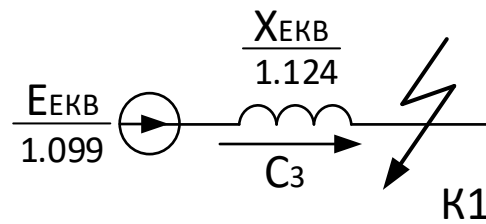


Рисунок 1.8 – Спрощена схема заміщення для точки К1

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

$$C_3 = C = 1$$

$$C_2 = C_3 \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{0.987}{0.987 + 5.292} = 0.157$$

$$C_1 = C_3 \cdot \frac{X_2}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{5.292}{0.987 + 5.292} = 0.843$$

Перевірка:

$$C_1 + C_2 - C = 0.843 + 0.157 - 1 = 0$$

Знаходження початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I_K'' = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{1.099}{1.124} = 0.977$$

$$I_K = I_K'' \cdot I_{\text{б_ВН}} = 0.977 \cdot 1.56 = 1.525 \text{ кА}$$

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

$$T_{\text{а_ВН}} = 0.05 [1, 23\text{с}]$$

$$i_{\text{а_ПС}} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{\text{а_ВН}}}} = \sqrt{2} \cdot 1.525 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.05}} = 0.292 \text{ кА}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Ударний струм:

$$K_{y\_ПС} = 1.8 \quad [1, 23с]$$

$$i_{y\_ПС} = \sqrt{2} \cdot K_{y\_ПС} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 1.525 = 3.882 \text{ кА}$$

### 1.3.2.2 Розрахунок струмів КЗ в точці К2

Спрощення схеми заміщення:

Виходячи з рис. 1.3.2.5:

$$X_{ЕКВ} = X_{ТЗ} + X_4 = 1.19 + 1.124 = 2.315 \text{ в. о.}$$

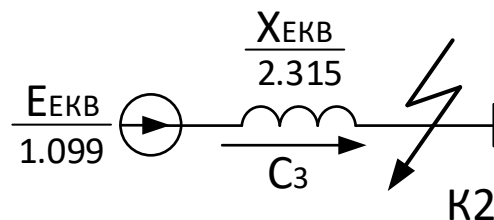


Рисунок 1.9 – Спрощена схема заміщення для точки К2

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

$$C_3 = C = 1$$

$$C_2 = C_3 \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{0.987}{0.987 + 5.292} = 0.157$$

$$C_1 = C_3 \cdot \frac{X_2}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{5.292}{0.987 + 5.292} = 0.843$$

Перевірка:

$$C_1 + C_2 - C = 0.843 + 0.157 - 1 = 0$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Знаходження початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I_K'' = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{1.099}{2.315} = 0.475$$

$$I_K = I_K'' \cdot I_{\text{б_НН}} = 0.475 \cdot 5.249 = 2.492 \text{ кА}$$

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

$$T_{\text{а_НН}} = 0.06 [1, 23\text{с}]$$

$$i_{\text{а_ПС}} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{\text{а_НН}}}} = \sqrt{2} \cdot 2.492 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.06}} = 0.666 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_{\text{у_ПС}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{у_ПС}} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 2.492 = 6.342 \text{ кА}$$

### 1.3.3 Розрахунок струмів КЗ з врахуванням навантаження

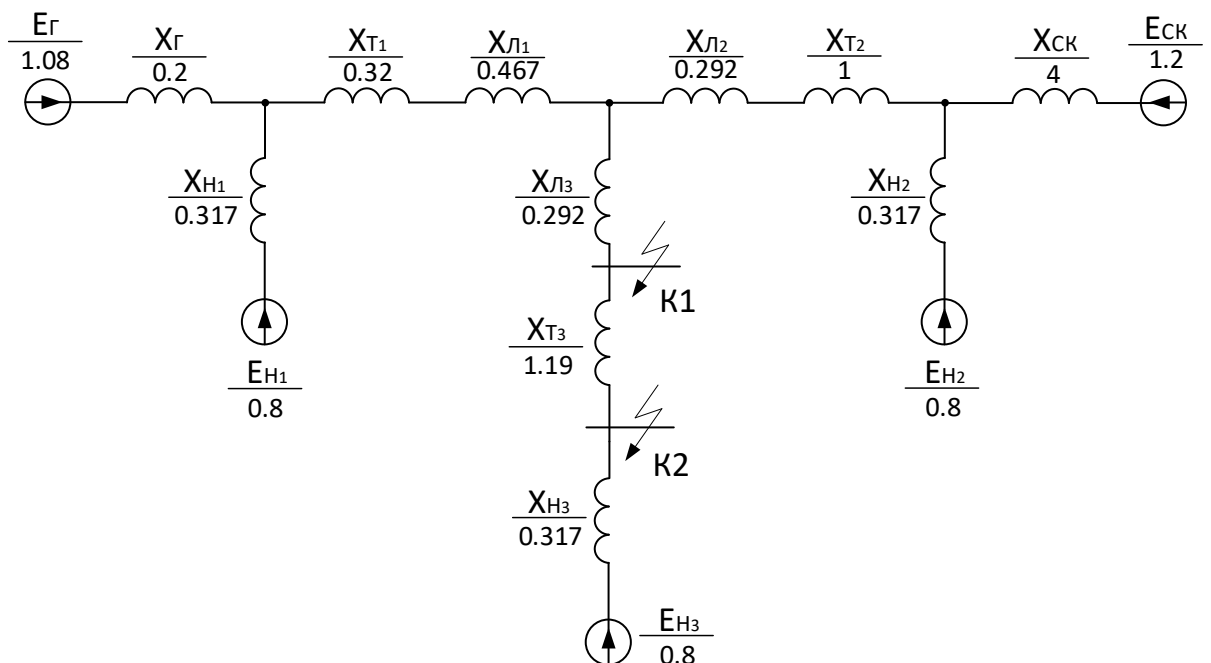


Рисунок 1.10 – Схема заміщення з визначеними параметрами, з врахуванням навантаження

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	22

Спрощення схеми заміщення:

$$X_1 = \frac{X_{\Gamma} \cdot X_{H1}}{X_{\Gamma} + X_{H1}} = \frac{0.2 \cdot 0.317}{0.2 + 0.317} = 0.123 \text{ в. о.}$$

$$X_2 = \frac{X_{CK} \cdot X_{H2}}{X_{CK} + X_{H2}} = \frac{4 \cdot 0.317}{4 + 0.317} = 0.322 \text{ в. о.}$$

$$E_1 = \frac{E_{H1} \cdot X_{\Gamma} + E_{\Gamma} \cdot X_{H1}}{X_{\Gamma} + X_{H1}} = \frac{0.8 \cdot 0.2 + 1.08 \cdot 0.317}{0.2 + 0.317} = 0.972 \text{ в. о.}$$

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

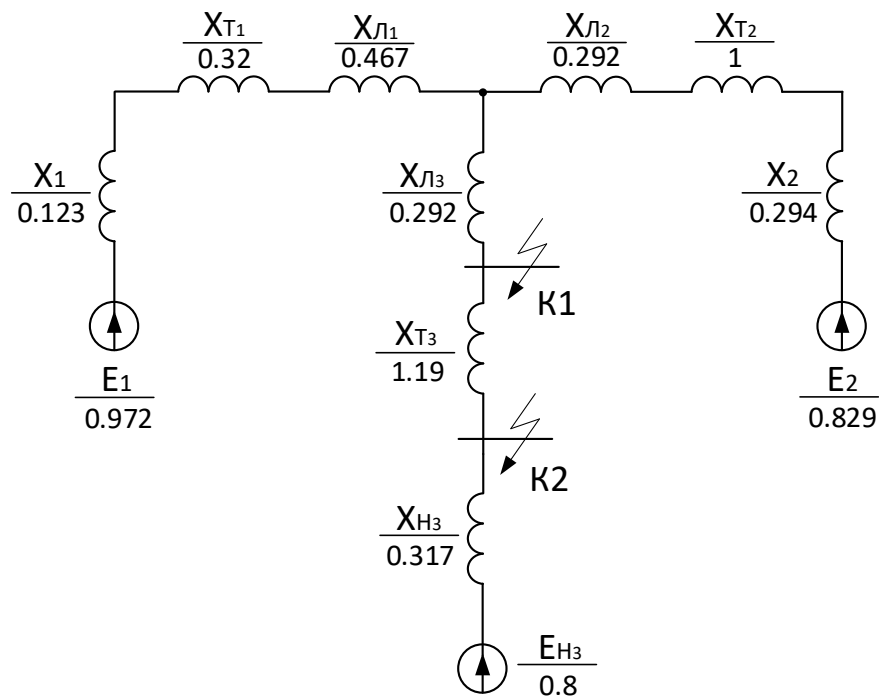


Рисунок 1.11 – Спрощена схема заміщення на першому етапі

$$X_3 = X_1 + X_{T1} + X_{L1} = 0.123 + 0.32 + 0.467 = 0.91 \text{ в. о.}$$

$$X_4 = X_2 + X_{T2} + X_{L2} = 0.294 + 1 + 0.292 = 1.586 \text{ в. о.}$$



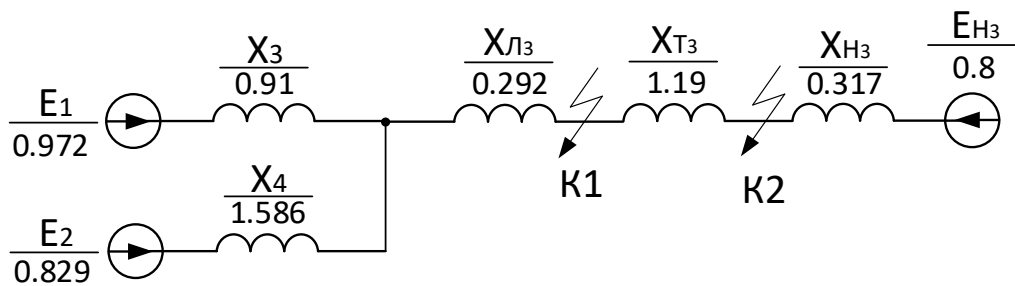


Рисунок 1.12 – Спрощена схема заміщення на другому етапі

$$X_5 = \frac{X_3 \cdot X_4}{X_3 + X_4} = \frac{0.91 \cdot 1.586}{0.91 + 1.586} = 0.578 \text{ в. о.}$$

$$E_3 = \frac{E_1 \cdot X_4 + E_2 \cdot X_3}{X_4 + X_3} = \frac{0.972 \cdot 1.586 + 0.829 \cdot 0.91}{1.586 + 0.91} = 0.92 \text{ в. о.}$$

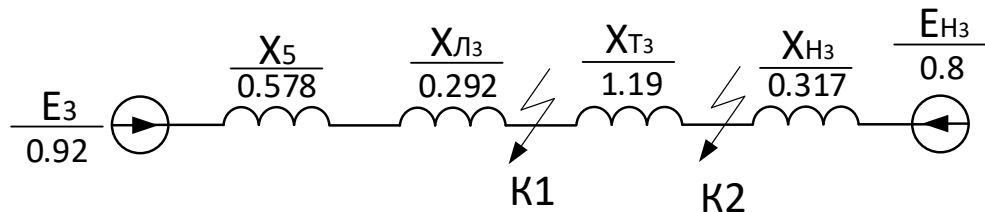


Рисунок 1.13 – Спрощена схема заміщення на третьому етапі

### 1.3.3.1 Розрахунок струмів КЗ в точці К1 при нормальному режимі роботи

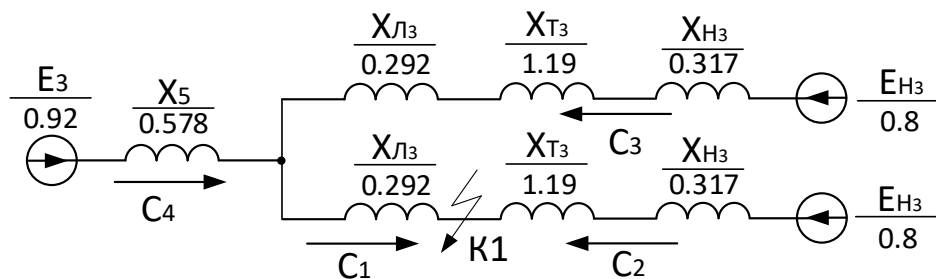


Рисунок 1.14 – Спрощена схема для розрахунку КЗ в точці К1

Спрощення схеми заміщення:

$$X_6 = X_{ЛЗ} + X_{ТЗ} + X_{НЗ} = 0.292 + 1.19 + 0.317 = 1.8 \text{ в. о.}$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	24

$$X_7 = X_{T3} + X_{H3} = 1.19 + 0.317 = 1.508 \text{ в. о.}$$

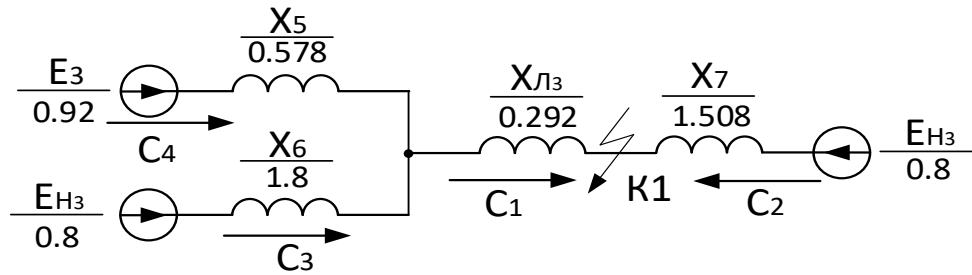


Рисунок 1.15 – Спрощена схема заміщення на першому етапі

$$X_8 = \frac{X_6 \cdot X_5}{X_6 + X_5} = \frac{1.8 \cdot 0.578}{1.8 + 0.578} = 0.438 \text{ в. о.}$$

$$E_4 = \frac{E_{H3} \cdot X_5 + E_3 \cdot X_6}{X_5 + X_6} = \frac{0.8 \cdot 0.578 + 0.92 \cdot 1.8}{0.578 + 1.8} = 0.891 \text{ в. о.}$$

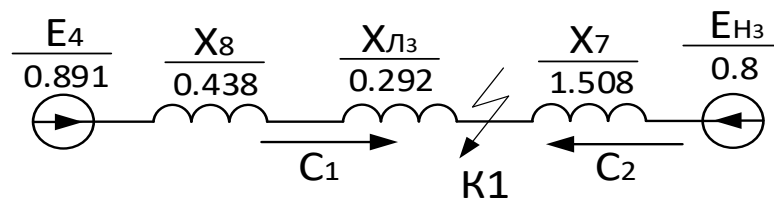


Рисунок 1.16 – Спрощена схема заміщення на другому етапі

$$X_9 = X_8 + X_{Л3} = 0.438 + 0.292 = 0.73 \text{ в. о.}$$

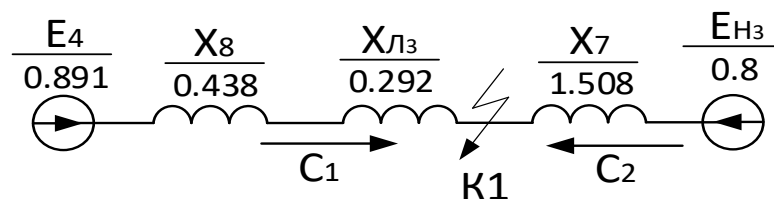


Рисунок 1.17 – Спрощена схема заміщення на третьому етапі

$$X_{EKB} = \frac{X_9 \cdot X_7}{X_9 + X_7} = \frac{0.73 \cdot 1.508}{0.73 + 1.508} = 0.492 \text{ в. о.}$$

$$E_{EKB} = \frac{E_4 \cdot X_7 + E_{H3} \cdot X_9}{X_7 + X_9} = \frac{0.891 \cdot 1.508 + 0.8 \cdot 0.73}{1.508 + 0.73} = 0.861 \text{ в. о.}$$

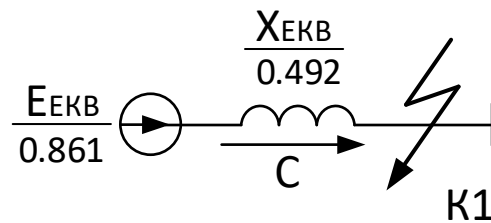


Рисунок 1.8 – Спрощена схема заміщення на четвертому етапі

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

$$C_1 = C \cdot \frac{X_7}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{1.508}{1.508 + 0.73} = 0.674$$

$$C_2 = C \cdot \frac{X_9}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{0.73}{1.508 + 0.73} = 0.326$$

$$C_3 = C_1 \cdot \frac{X_5}{X_5 + X_6} = 0.674 \cdot \frac{0.578}{0.578 + 1.8} = 0.164$$

$$C_4 = C_1 \cdot \frac{X_6}{X_5 + X_6} = 0.674 \cdot \frac{1.8}{0.578 + 1.8} = 0.51$$

Перевірка:

$$C_2 + C_3 + C_4 - C = 0.326 + 0.164 + 0.51 - 1 = 0$$

Знаходження початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I''_K = \frac{E_{EKB}}{X_{EKB}} = \frac{0.861}{0.492} = 1.751$$

$$I_K = I''_K \cdot I_{6\_BH} = 1.751 \cdot 1.56 = 2.732 \text{ кА}$$

Аперіодична складова струму КЗ у момент часу  $t = 0.1 \text{ с}$  [1, 23с]:

$$i_{a\_ПС} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{авн}}} = \sqrt{2} \cdot 2.732 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.05}} = 0.523 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_{y\_ПС} = \sqrt{2} \cdot K_{y\_ПС} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 2.732 = 6.955 \text{ кА}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

### 1.3.3.2 Розрахунок струмів КЗ в точці К2 при нормальному режимі роботи

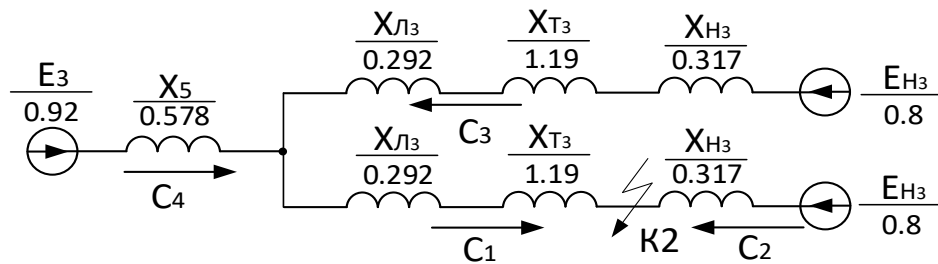


Рисунок 1.19 – Спрощена схема для розрахунку КЗ в точці К2

Спрощення схеми заміщення:

$$X_6 = X_{ЛЗ} + X_{ТЗ} + X_{НЗ} = 0.292 + 1.19 + 0.317 = 1.8 \text{ в. о.}$$

$$X_7 = X_{ТЗ} + X_{ЛЗ} = 1.19 + 0.292 = 1.483 \text{ в. о.}$$

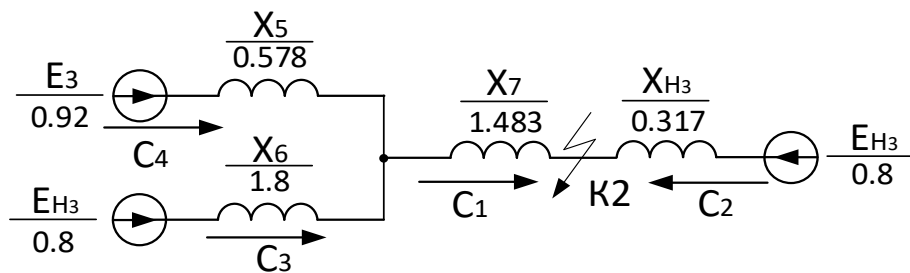


Рисунок 1.20 – Спрощена схема заміщення на першому етапі

$$X_8 = \frac{X_6 \cdot X_5}{X_6 + X_5} = \frac{1.8 \cdot 0.578}{1.8 + 0.578} = 0.438 \text{ в. о.}$$

$$E_4 = \frac{E_{НЗ} \cdot X_5 + E_3 \cdot X_6}{X_5 + X_6} = \frac{0.8 \cdot 0.578 + 0.92 \cdot 1.8}{0.578 + 1.8} = 0.891 \text{ в. о.}$$

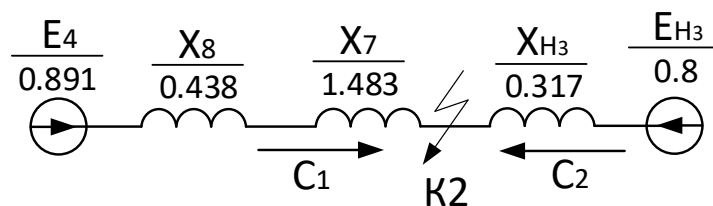


Рисунок 1.21 – Спрощена схема заміщення на другому етапі

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	27

$$X_9 = X_8 + X_7 = 0.438 + 1.483 = 1.92 \text{ в. о.}$$

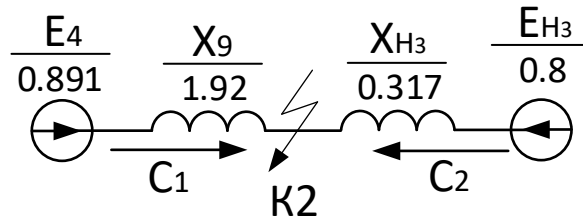


Рисунок 1.22 – Спрощена схема заміщення на третьому етапі

$$X_{\text{ЕКВ}} = \frac{X_{\text{H3}} \cdot X_9}{X_{\text{H3}} + X_9} = \frac{0.317 \cdot 1.92}{0.317 + 1.92} = 0.272 \text{ в. о.}$$

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_4 \cdot X_{\text{H3}} + E_{\text{H3}} \cdot X_9}{X_{\text{H3}} + X_9} = \frac{0.891 \cdot 0.317 + 0.8 \cdot 1.92}{0.317 + 1.92} = 0.813 \text{ в. о.}$$

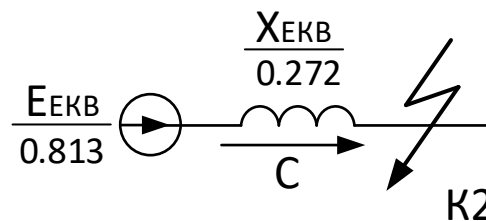


Рисунок 1.23 – Спрощена схема заміщення на четвертому етапі

Визначення коефіцієнтів струмозподілу:

$$C = 1$$

$$C_1 = C \cdot \frac{X_7}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{1.483}{1.483 + 1.92} = 0.436$$

$$C_2 = C \cdot \frac{X_9}{X_7 + X_9} = 1 \cdot \frac{1.92}{1.483 + 1.92} = 0.564$$

$$C_3 = C_1 \cdot \frac{X_5}{X_5 + X_6} = 0.436 \cdot \frac{0.578}{0.578 + 1.8} = 0.106$$

$$C_4 = C_1 \cdot \frac{X_6}{X_5 + X_6} = 0.436 \cdot \frac{1.8}{0.578 + 1.8} = 0.33$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	28

Перевірка:

$$C_2 + C_3 + C_4 - C = 0.564 + 0.106 + 0.33 - 1 = 0$$

Знаходження початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I_K'' = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{0.813}{0.272} = 2.984$$

$$I_K = I_K'' \cdot I_{\text{бНН}} = 2.984 \cdot 5.249 = 15.661 \text{ кА}$$

Аперіодична складова струму КЗ у момент часу  $t = 0.1 \text{ с}$  [1, 23с]:

$$i_{\text{а_ПС}} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{\text{анн}}}} = \sqrt{2} \cdot 15.661 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.06}} = 4.183 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_{\text{у_ПС}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{уПС}} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 15.661 = 39.866 \text{ кА}$$

### 1.3.3.3 Розрахунок струмів КЗ в точці К1 за схемою «одна лінія – два трансформатора»

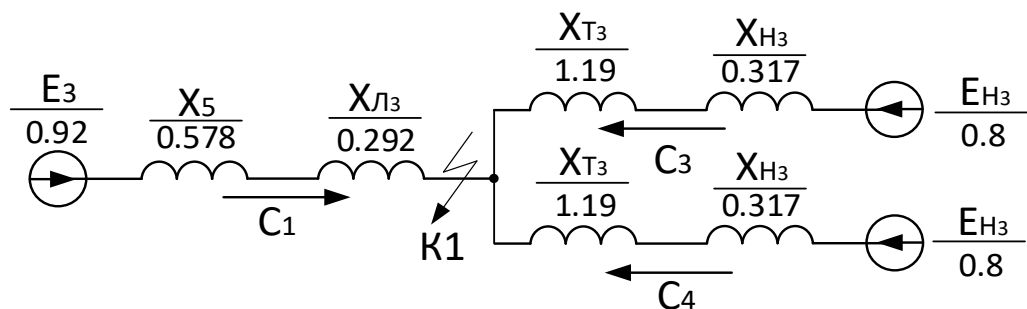


Рисунок 1.24 – Спрощена схема для розрахунку КЗ в точці К1

Спрощення схеми заміщення:

$$X_6 = X_{T3} + X_{H3} = 1.19 + 0.317 = 1.508 \text{ в. о.}$$

$$X_7 = X_5 + X_{L3} = 0.578 + 0.292 = 0.871 \text{ в. о.}$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	29

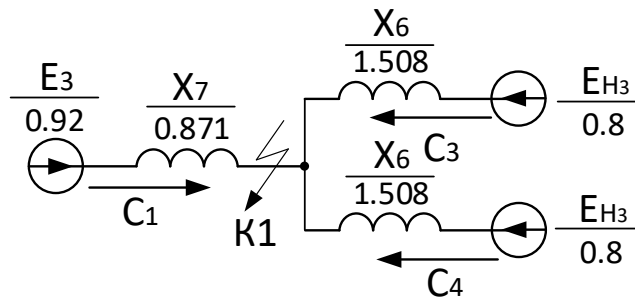


Рисунок 1.25 – Спрощена схема заміщення на першому етапі

$$X_8 = \frac{X_6}{2} = \frac{1.508}{2} = 0.754 \text{ в. о.}$$

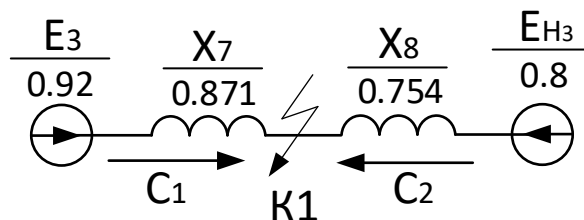


Рисунок 1.26 – Спрощена схема заміщення на другому етапі

$$X_{\text{ЕКВ}} = \frac{X_8 \cdot X_7}{X_8 + X_7} = \frac{0.754 \cdot 0.871}{0.754 + 0.871} = 0.404 \text{ в. о.}$$

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_3 \cdot X_8 + E_{\text{НЗ}} \cdot X_7}{X_8 + X_7} = \frac{0.92 \cdot 0.754 + 0.8 \cdot 0.871}{0.754 + 0.871} = 0.856 \text{ в. о.}$$

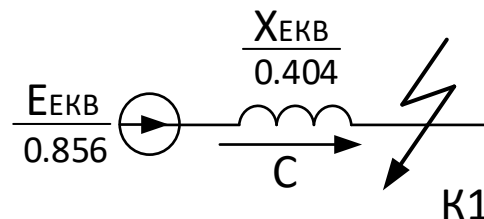


Рисунок 1.27 – Спрощена схема заміщення на третьому етапі

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	30

$$C_1 = C \cdot \frac{X_8}{X_7 + X_8} = 1 \cdot \frac{0.754}{0.871 + 0.754} = 0.464$$

$$C_2 = C \cdot \frac{X_7}{X_7 + X_8} = 1 \cdot \frac{0.871}{0.871 + 0.754} = 0.536$$

$$C_3 = \frac{C_2}{2} = \frac{0.536}{2} = 0.268$$

$$C_4 = \frac{C_2}{2} = \frac{0.536}{2} = 0.268$$

Перевірка:

$$C_2 + C_3 + C_4 - C = 0.464 + 0.268 + 0.268 - 1 = 0$$

Знаходження початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I''_K = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{0.856}{0.404} = 2.118$$

$$I_K = I''_K \cdot I_{\text{б.ВН}} = 2.118 \cdot 1.56 = 3.305 \text{ кА}$$

Аперіодична складова струму КЗ у момент часу  $t = 0.1 \text{ с}$  [1, 23с]:

$$i_{\text{а.ПС}} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{\text{а.ВН}}}} = \sqrt{2} \cdot 3.305 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.05}} = 1.244 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_{\text{у.ПС}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{у.ПС}} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 3.305 = 8.412 \text{ кА}$$

#### 1.3.3.4 Розрахунок струмів КЗ в точці К2 за схемою «одна лінія – два трансформатора»

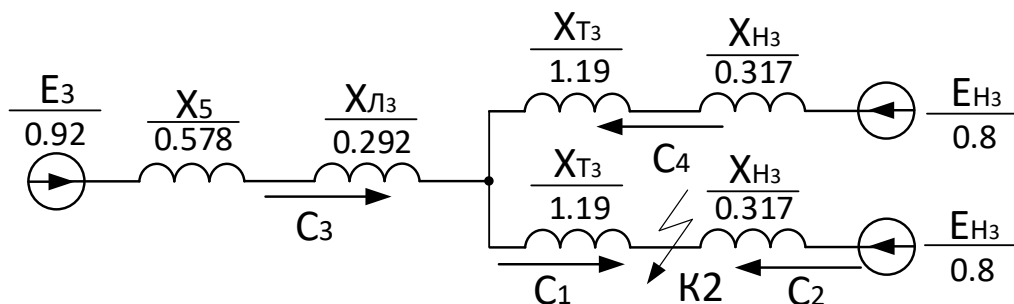


Рисунок 1.28 – Спрощена схема для розрахунку КЗ в точці К2

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	31



Спрощення схеми заміщення:

$$X_6 = X_{ТЗ} + X_{НЗ} = 1.19 + 0.317 = 1.508 \text{ в. о.}$$

$$X_7 = X_5 + X_{ЛЗ} = 0.578 + 0.292 = 0.871 \text{ в. о.}$$

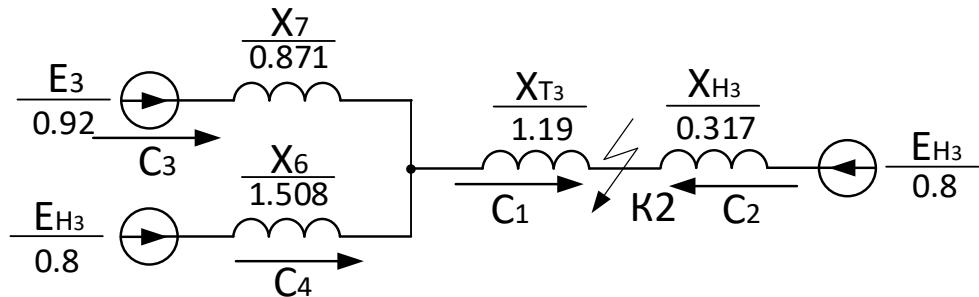


Рисунок 1.29 – Спрощена схема заміщення на першому етапі

$$X_8 = \frac{X_6 \cdot X_7}{X_6 + X_7} = \frac{1.508 \cdot 0.871}{1.508 + 0.871} = 0.552 \text{ в. о.}$$

$$E_4 = \frac{E_{НЗ} \cdot X_7 + E_3 \cdot X_6}{X_7 + X_6} = \frac{0.8 \cdot 0.871 + 0.92 \cdot 1.508}{0.871 + 1.508} = 0.876 \text{ в. о.}$$

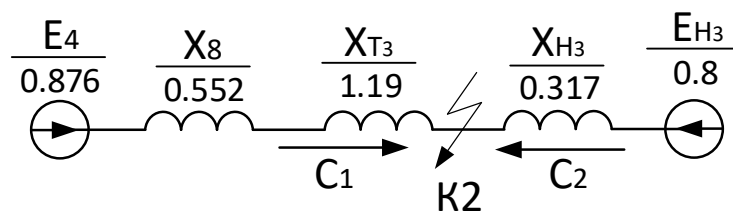


Рисунок 1.30 – Спрощена схема заміщення на другому етапі

$$X_9 = X_{ТЗ} + X_8 = 1.19 + 0.552 = 1.742 \text{ в. о.}$$

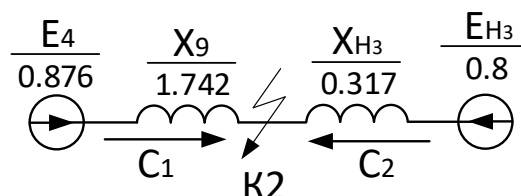


Рисунок 1.31 – Спрощена схема заміщення на третьому етапі

$$X_{\text{ЕКВ}} = \frac{X_{\text{НЗ}} \cdot X_9}{X_{\text{НЗ}} + X_9} = \frac{0.317 \cdot 1.742}{0.317 + 1.742} = 0.269 \text{ в. о.}$$

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_4 \cdot X_{\text{НЗ}} + E_{\text{НЗ}} \cdot X_9}{X_{\text{НЗ}} + X_9} = \frac{0.876 \cdot 0.317 + 0.8 \cdot 1.742}{0.317 + 1.742} = 0.812 \text{ в. о.}$$

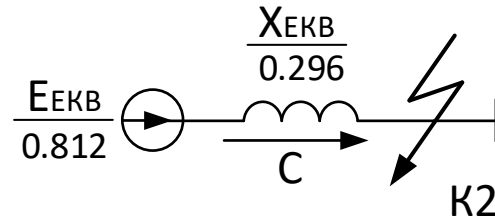


Рисунок 1.32 – Спрощена схема заміщення на третьому етапі

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

$$C_1 = C \cdot \frac{X_{\text{НЗ}}}{X_{\text{НЗ}} + X_9} = 1 \cdot \frac{0.317}{0.317 + 1.742} = 0.154$$

$$C_2 = C \cdot \frac{X_9}{X_{\text{НЗ}} + X_9} = 1 \cdot \frac{1.742}{0.317 + 1.742} = 0.846$$

$$C_3 = C \cdot \frac{X_6}{X_6 + X_7} = 0.154 \cdot \frac{1.508}{1.508 + 0.871} = 0.098$$

$$C_4 = C \cdot \frac{X_7}{X_6 + X_7} = 0.154 \cdot \frac{0.871}{1.508 + 0.871} = 0.056$$

Перевірка:

$$C_2 + C_3 + C_4 - C = 0.846 + 0.098 + 0.056 - 1 = 0$$

Знаходження початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I''_K = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{0.812}{0.269} = 3.023$$

$$I_K = I''_K \cdot I_{\text{бНН}} = 3.023 \cdot 5.249 = 15.865 \text{ кА}$$

Аперіодична складова струму КЗ у момент часу  $t = 0.1 \text{ с}$  [1, 23с]:

$$i_{a\_ПС} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{анн}}} = \sqrt{2} \cdot 15.865 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.06}} = 4.238 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_{y\_ПС} = \sqrt{2} \cdot K_{y\_ПС} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 15.865 = 40.387 \text{ кА}$$

Провівши розрахунок струмів КЗ для заданої підстанції за різних умов, була сформована таблиця з результатами (див. табл. 1.1). Аналізуючи дану таблицю, розрахункові струми короткого замикання будуть найбільшими як в точці К1, так і в точці К2 з врахуванням навантаження при обтяженому режимі роботи. Саме для цих умов буде здійснюватися вибір обладнання.

Таблиця 1.1 – Результати розрахунку струмів КЗ

Умови			I <sub>поч</sub> , кА	i <sub>апер</sub> , кА	i <sub>уд</sub> , кА
Навантаж	Режим	В точці			
Без урахування	—	К1	1.525	0.292	3.882
		К2	2.492	0.666	6.342
З урахуванням	Норм.	К1	2.732	0.523	6.955
		К2	15.661	4.183	39.866
	Обт.	К1	3.305	0.632	8.412
		К2	15.865	4.238	40.387

## Висновки

1. Задана схема РП ВН виконана за схемою «містка» з встановленим вимикачем в перемичці. З точки зору надійності, доцільно застосувати схему «одна, секціонована роз'єднувачем, система шин» з вимикачами в колах ліній та трансформаторів. Використання секційного роз'єднувача замість вимикача виправдовує себе з економічної точки зору, так як вартість вимикачів набагато вища.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

2. З метою зменшення недовідпуску електроенергії в наслідок відповідних оперативних перемикань в схемі для виведення в ремонт секційного роз'єднувача, приймається схема з двома СР.

3. Дана схема РП ВН дозволяє здійснювати безперебійне живлення споживачів навіть при планових ТО і ремонтах комутаційних апаратів.

4. Масляні вимикачі мають суттєві недоліки. Серед них – великий об'єм масла, значні габарити, підвищені вимоги до пожежо- і вибухонебезпеки.

5. Встановлене на підстанції обладнання морально і технічно застаріле, тому все воно (крім силових трансформаторів) підлягає заміні.

						Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЗРП 35 кВ

### 2.1 Вимоги до вибору обладнання

Так як відповідно до технічних умов РП 35кВ повинно бути закритим основу РП будуть складати комірки. Тому треба враховувати загальні вимоги до ЗРП, такі як найменші габарити ЗРП; повітряна ізоляція з використанням вакуумних або елегазових вимикачів. Основними апаратами комірок являються вимикачі. Роз'єднувачі, трансформатори струму та напруги вибираються виробником і забезпечують роботу комірки у відповідності до параметрів комірки.

#### 2.1.1 Вимоги до вибору комірок

Згідно з [1] та розрахунками, проведеними у першому розділі, до вимикачів висуваються наступні вимоги:

- 1) Номінальна напруга

$$U_n \geq U_{уст} = 35 \text{ Кв}$$

- 2) Струм обтяженого режиму – відключена одна з ліній (див рис. 1.1.1).

В випадку відключення вимикача Л-657, через вимикач Л-659 може протікати подвійний номінальний струм

$$I_n \geq I_{обт} = 2 \cdot \frac{S_{ТЗ}}{\sqrt{3} \cdot U_p} = 2 \cdot \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} = 218.785 \text{ А}$$

- 3) Номінальний струм відключення

$$I_{відкл} \geq I_{КЗ} = 4.717 \text{ кА}$$

- 4) Струм електродинамічної стійкості

$$I_{дин} \geq I_{уд} = 12.007 \text{ кА}$$

					141.71-2.001.ДБ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Разробив		Полуботкін О.С.			Вибір обладнання ЗРП 35 кВ		Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Курсон О.І.						36	8
							КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.		Настенко Д.В.					ФЕА, гр. ЕК-п71		
Затверд.		Толочко О.І.							

## 5) Струм електротермічної стійкості

$$I_{\text{терм}} \geq I_{\text{кз}}^2 = 4.717^2 = 22.25 \text{ кА}^2\text{с}$$

### 2.2 Огляд представленого в Україні обладнання

На вітчизняному ринку високовольтного електрообладнання конкурентоспроможними є такі виробники: "Рівненський завод високовольтної апаратури" ("РЗВА"), "Asea Brown Boveri Ltd" ("ABB"), "Siemens" і "Schneider Electric". Фірми "ABB", "Siemens" і "Schneider Electric" конкурують між собою не тільки в Україні, але й у всьому світі. Продукція даних заводів характеризується високою якістю та надійністю.

#### 2.2.1 Обладнання фірми ABB [7]

Компанія ABB має в своєму асортименті КРП в залізній оболонці з повітряною ізоляцією серії UniGear ZS3.2. Це пристрій середньої напруги в металевому корпусі, призначений для внутрішньої установки.

Конструкція комірки приведена в додатку В.

Основні технічні параметри приведені в табл. 2.1 – 2.2.

Таблиця 2.1 – Основні технічні параметри UniGear ZS3.2:

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

Таблиця 2.2 – Габаритні розміри базової комірки:

Висота, мм	2400/3050 <sup>(1)</sup>
Ширина, мм	1200
Глибина, мм	2570
Маса, кг	1300 – 1500

(1) – з шинним вводом

Комірки комплектуються вимикачами, встановленими на підлогу: елегазовими типу HD4 або вакуумними VD4, а також вимірювальними трансформаторами. Крім цього є інші виконання: комірка секційного вимикача/роз'єднувача, вимірювальна комірка та інші [8].

Технічні параметри обладнання комірок представлені в табл. В.1-В.4 додатку В.

### 2.2.2 Обладнання фірми Siemens [9]

Німецька фірма «Siemens» випускає серію обладнання NXAIR S – комплектний розподільчий пристрій середньої напруги заводської готовності в металевому корпусі з комутаційними або вимірювальними апаратами на викатному модулі для експлуатації всередині приміщень.

Конструкція комірки приведена в додатку Г.

Основні технічні параметри приведені в таблиці 2.3 – 2.4

Таблиця 2.3 – Габаритні розміри базової комірки:

Висота, мм	2800
Ширина, мм	1200
Глибина, мм	2650
Маса, кг	2300 (макс)

Таблиця 2.4 – Основні технічні параметри NXAIR S:

Номинальна напруга, кВ	40,5
Номинальна частота, Гц	50/60
Номинальний струм відключення, кА	25; 31,5
Номинальний короткочасний струм (4 с), кА	25; 31,5
Номинальний струм включення при КЗ, кА	63; 80
Номинальне пікове значення наскрізного струму, кА	63; 80
Номинальний струм збірних шин, кА	1,25; 2,5; 3,15
Номинальний струм живлячої лінії, А	1,25; 2,5; 3,15
Час термічної стійкості, с	4
Вид ізоляції	Повітря

Комірки комплектуються вакуумним вимикачами типу 3AE, трансформаторами напруги типу 4MU4, трансформаторами струму типу 4МС4 [9, 10].

Технічні параметри обладнання комірок представлені в табл. Г.1-Г.3 додатку Г.

### 2.2.3 Обладнання фірми Schneider Electric [11]

РП F400 в металевому корпусі складається з з'ємних модулів, які призначені для монтажу в умовах приміщення. Пристрій F400 призначений для підстанцій ВН/СН.

Конструкція комірки приведена в додатку Д

Основні технічні параметри комірки приведені в табл. 2.5 – 2.6

РП може складатися з наступних функціональних блоків [11, 12]:

- Ввід або фідер вимикачем;
- Фідер з плавким запобіжником;

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



- Прямий ввід;
- Прямий лінійний ввід;
- Секціонування шин;
- Вимірювання шин;
- Вимірювання характеристик струму і напруги;

Таблиця 2.5 – Основні технічні параметри F400:

Номінальна напруга, кВ	36
Номінальна частота, Гц	50/60
Номінальний короткочасний струм (3 с)	25; 31,5; 40
Номінальний струм електродинамічної стійкості, кА	до 80
Номінальний струм збірних шин, А	1250; 2500
Номінальний струм вимикача, А	1250; 2500
Стійкість до впливу внутрішньої дуги, кА/с	25
Вид ізоляції	Повітря

Таблиця 2.6 – Габаритні розміри базової комірки:

Висота, мм	2255
Ширина, мм	1100
Глибина, мм	3020
Маса, кг	1929 (макс)

Комірки комплектуються вимикачами типу SF. Технічні параметри обладнання комірок представлені в табл. Д.1-Д3 додатку Д.

#### 2.2.4 Обладнання фірми РЗВА [13]

КРП внутрішньої установки серії КУ35 виготовлені з сталевих листів товщиною 2, 3 і 4 мм, представляють собою набір окремих комірок з

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

комутаційним обладнанням і іншою високовольтною апаратурою.

Комплектуються вимикачами типу ВР 35.

Конструкція комірки приведена в додатку Е.

Основні технічні параметри комірки приведені в табл. 2.7 – 2.8.

Таблиця 2.7 – Основні технічні параметри КУ35:

Номинальна напруга, кВ	35
Найбільша робоча напруга, кВ	40,5
Номинальний струм головних з'єднань, А	630 – 3150
Номинальний струм збірних шин, А	1000 – 3150
Номинальний струм вимкнення, кА	20; 25; 31,5
Струм термічної стійкості, кА (3 с)	20; 25; 31,5
Струм електродинамічної стійкості, кА	51; 81
Вид ізоляції	Повітря

Таблиця 2.8 – Габаритні розміри базової комірки:

Висота, мм	2532
Ширина, мм	1500
Глибина, мм	2800
Маса, кг	2000 (макс)

Основні технічні параметри обладнання комірок приведені в табл. Е.1 – Е.3 додатку Е.

### 2.2.5 Остаточний вибір обладнання

Основні характеристики обладнання приведені до загального виду і представлені в табл. 2.9.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Таблиця 2.9 – Порівняльний аналіз

	ABB	Siemens	Schneider Electric	РЗБА
$U_{\text{ном}}$ , кВ	35	40.5	36	35
$f_{\text{ном}}$ , Гц	50/60	50/60	50/60	50/60
$I_{\text{терм}}$ , кА	... 31.5	... 31.5	...40	... 31.5
$t_{\text{терм}}$ , с	3	4	3	3
$I_{\text{дин}}$ , кА	... 80	... 80	... 80	... 81
$I_{\text{відкл}}$ , кА	... 31.5	... 31.5	...40	... 31.5
$I_{\text{ном}}$ збірних шин, А	... 3150	... 3150	... 2500	... 3150
Висота, мм	2400	2800	2255	2532
Ширина, мм	1200	1200	900	1500
Глибина, мм	2570	2650	2670	2800
Маса, кг (макс)	1500	2300	1929	2000

Все представлене обладнання має приблизно допустимі технічні характеристики. Тому, з огляду на компактні розміри і порівняно невелику вагу, приймаємо ЗРП компанії Schneider Electric серії F400 з вимикачами SF1.

Комірки будуть комплектуватися наступним обладнанням [14]:

1. Вимикачі типу SF;
2. Трансформатор струму типу ARM9T /N2;
3. Трансформатор напруги типу VRF3n/S2.

### 2.3 Схема реконструйованого ЗРП 35 кВ

ЗРП ВН буде виконуватися за схемою «одна, секціонована роз'єднувачем, система шин» з вимикачами в колах ліній та трансформаторів за допомогою комірок типу AD6 (1; 2), TT6 (3), CL6 (4). Однолінійна схема представлена на рис. 2.1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

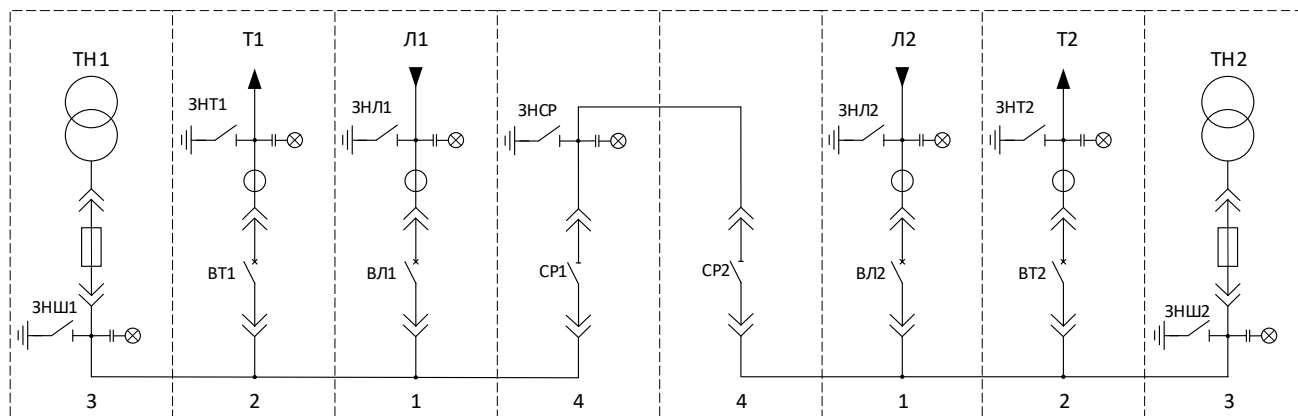


Рисунок 2.1 – Схема реконструйованого ЗРП 35 кВ

### Висновки

1. Застосування ЗРП забезпечує надійний захист обладнання від пагубного впливу навколишнього середовища.
2. КРП є універсальним рішенням в багатьох випадках проектування підстанцій закритого типу, так як дозволяє компактно розмістити різноманітне електричне обладнання в обмеженому просторі.
3. Вибір обладнання ЗРП 35 кВ має здійснюватися на основі технічних умов та комерційних пропозицій виробників обладнання присутніх на ринку України. Першочерговим являється вибір відповідно до технічних вимог до реконструкції заданої підстанції.
4. Обладнання представлених на ринку України виробників "РЗВА", "ABB", "Siemens" і "Schneider Electric" задовольняють поставленим технічним умовам. Приймаючи за основу габаритні розміри, до застосування рекомендуються комірки "Schneider Electric" серії F400.
5. Комірки серії F400 можуть комплектуватися відповідними мікропроцесорними пристроями релейного захисту, які дозволяють об'єднуватися в єдину мережу і складати частину АСУТП.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

### 3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЗРП 10 кВ

#### 3.1 Вимоги до вибору обладнання

Вимоги до вибору РП 10 кВ такі ж, як і до РП 35 кВ (див. розділ 2 п. 2.1). З огляду на відсутність в навантаженні п/ст двигунів, відпадає необхідність використання елегазових вимикачів, які мають більшу вартість в порівнянні з вакуумними вимикачами.

##### 3.1.1 Вимоги до вибору комірок

Згідно з [1] та розрахунками, проведеними у першому розділі, до вимикачів висуваються наступні вимоги:

- 1) Номінальна напруга

$$U_n \geq U_{уст} = 10 \text{ кВ}$$

- 2) Струм обтяженого режиму – відключений один з трансформаторів (див рис. 1.1.1). В випадку відключення вимикача Т-12, через вимикач Т-11 може протікати подвійний номінальний струм

$$I_n \geq I_{обт} = 2 \cdot \frac{S_{ТЗ}}{\sqrt{3} \cdot U_p} = 2 \cdot \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10} = 727.46 \text{ А}$$

- 3) Номінальний струм відключення

$$I_{відкл} \geq I_{КЗ}^{nn} = 15.661 \text{ кА}$$

- 4) Струм електродинамічної стійкості

$$I_{дин} \geq I_{уд}^{nn} = 40.387 \text{ кА}$$

- 5) Струм електротермічної стійкості

$$I_{терм} \geq I_{КЗ}^{nn2} = 15.661^2 = 245.266 \text{ кА}^2\text{с}$$

- 6) Вимикачі – вакуумні.

					141.71-2.001.ДБ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Разробив		Полуботкін О.С.			Вибір обладнання ЗРП 10 кВ		Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Курсон О.І.						44	7
							КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.		Настенко Д.В.					ФЕА, гр. ЕК-п71		
Затверд.		Толочко О.І.							

### 3.2 Огляд представленого в Україні обладнання

Огляд обладнання на напругу 10 кВ буде проводитися серед тих же компаній, що і в розділі 2 (див. п.2.2).

#### 3.2.1 Обладнання фірми ABB [15]

Компанія ABB випускає КРП 10 кВ з повітряною ізоляцією серії UniGear ZS1. Це пристрій середньої напруги в металевому корпусі, призначений для внутрішньої установки.

Конструкція комірки приведена в додатку Ж. Основні технічні параметри приведені в табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Основні технічні параметри UniGear ZS1:

Номинальна напруга, кВ	12
Найбільша робоча напруга, кВ	12
Номинальна частота, Гц	50/60
Струм термічної стійкості $\text{кА}^2\text{с}$ (3 с)	до 50
Номинальний струм електродинамічної стійкості, кА	до 125
Номинальний струм відключення вбудованого вимикача, кА	до 50
Номинальний струм збірних шин, А	до 4000
Вид ізоляції	Повітря
Висота, мм	2200/2595
Ширина, мм	650/800/1000
Глибина, мм	1340 – 1890

Комірки комплектуються викатними вимикачами: елегазовими типу HD4, вакуумними VD4 або VM1. Крім цього є інші виконання: комірка секційного вимикача/роз'єднувача, вимірювальна комірка та інші [16, 17, 18, 19].

Технічні параметри обладнання комірок представлені в табл. Ж.1-Ж.3 додатку Ж.

						Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2.2 Обладнання фірми Siemens [20]

Фірма «Siemens» випускає серію обладнання NXAIR – розподільчі пристрої середньої напруги з силовим вимикачем заводської готовності призначені для експлуатації всередині приміщень. Застосовуються на ТП і РП переважно на первинному рівні розподілення електроенергії.

Конструкція комірки приведена в додатку К.

Основні технічні параметри приведені в таблиці 3.2.

Комірки комплектуються вакуумним вимикачами серії SION трансформаторами напруги, трансформаторами струму.

Технічні параметри обладнання комірок представлені в табл. К.1 – К.3 додатку К.

Таблиця 3.2 – Основні технічні параметри NXAIR:

Номинальна напруга, кВ	12
Номинальна частота, Гц	50/60
Номинальний струм відключення, кА	40
Номинальний короткочасний струм (3 с), кА	40
Струм електродинамічної стійкості, кА	102
Номинальний струм збірних шин, А	4000
Вид ізоляції	Повітря
Висота, мм	2300
Ширина, мм	800/1000
Глибина, мм	1350/1500

### 3.2.3. Обладнання фірми Schneider Electric [21]

SM6 – серія модульних комірок в металевих корпусах з повітряною ізоляцією, які призначені для монтажу в умовах приміщення. Можуть комплектуватися як елегазовими вимикачами, так і вакуумними.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Конструкція комірки приведена в додатку Л.

Основні технічні параметри комірки приведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Основні технічні параметри SM6:

Найменування параметру	Значення параметру
Номинальна напруга, кВ	12
Номинальна частота, Гц	50
Номинальний струм, А	630
Номинальний струм електродинамічної стійкості, кА	40
Номинальний струм відключення вбудованого вимикача, кА	25
Струм термічної стійкості 3с, кА	16
Габарити	
Висота, мм	1600
Ширина, мм	625
Глибина, мм	840

РП може складатися з наступних функціональних блоків [21]:

- Комірка з вимикачем навантаження;
- Комірка з вимикачем навантаження і плавким запобіжником;
- Комірка з контактором;
- Комірка з вимикачем
- Вимірювання характеристик струму і напруги;

Технічні параметри обладнання комірок представлені в табл. Л.1-Л.3 додатку Л.

#### 3.2.4. Обладнання фірми РЗВА [22]

КРП серії КУ10С являють собою набір окремих комірок з комутаційними апаратами та іншою високовольною апаратурою, з приладами вимірювання,

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



пристроями автоматики і захисту, а також апаратурою управління, сигналізації та іншими допоміжними пристроями.

Конструкція комірки приведена в додатку М.

Основні технічні параметри комірки приведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Основні технічні параметри КУ10С:

Номинальна напруга, кВ	10
Номинальний струм головних кіл, А	630 ... 4000
Номинальний струм збірних шин, А	1000 ... 4000
Номинальний струм вимкнення, кА	20 ... 40
Струм термічної стійкості, кА (3 с)	20 ... 40
Струм електродинамічної стійкості, кА	51; 102
Вид ізоляції	Повітря
Висота, мм	2300
Ширина, мм	650/750
Глибина, мм	1500

Комірки можуть комплектуватися вимикачами VD4, HD4 або ВРС[25]; трансформаторами напруги типу ЗНОЛП [23] трансформаторами струму типу ТОЛ [24].

Технічні параметри обладнання комірок представлені в табл. М.1-М.3 додатку М

### 3.2.5. Остаточний вибір обладнання

Основні характеристики обладнання приведені до загального виду і представлені в табл. 3.5.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Таблиця 3.5 – Порівняльний аналіз

	ABB	Siemens	Schneider Electric	РЗВА
$U_{\text{ном}}$ , кВ	12	12	10	10
$I_{\text{терм}}$ , кА	до 50	до 40	до 25	до 40
$t_{\text{терм}}$ , с	3	3	3	3
$I_{\text{дин}}$ , кА	до 125	до 102	до 50	до 102
$I_{\text{відкл}}$ , кА	до 50	до 40	до 40	до 40
$I_{\text{ном}}$ збірних шин, А	до 4000	до 4000	до 2500	до 40
Висота, мм	2200-2595	2300	1600	2300
Ширина, мм	650-1000	800-1000	375 – 750	650-750
Глибина, мм	1890	1500	... 1200	1500

Все представлене обладнання має приблизно допустимі технічні характеристики, в тому числі і габаритні розміри. Тому, з огляду на вибране обладнання ЗРП 35 кВ, приймаємо ЗРП 10 кВ компанії Schneider Electric серії SM6 з вимикачами Evolis.

### 3.3Схема реконструйованого ЗРП 10 кВ

ЗРП НН буде виконуватися за схемою «одна, секціонована вимикачем, система шин» з вимикачами в колах ліній та трансформаторів на основі комірок типу DMV-A (1), ТМ (2), СМ (3), DM2 (4). Однолінійна схема зображена на рис. 3.3.1).

								Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				49

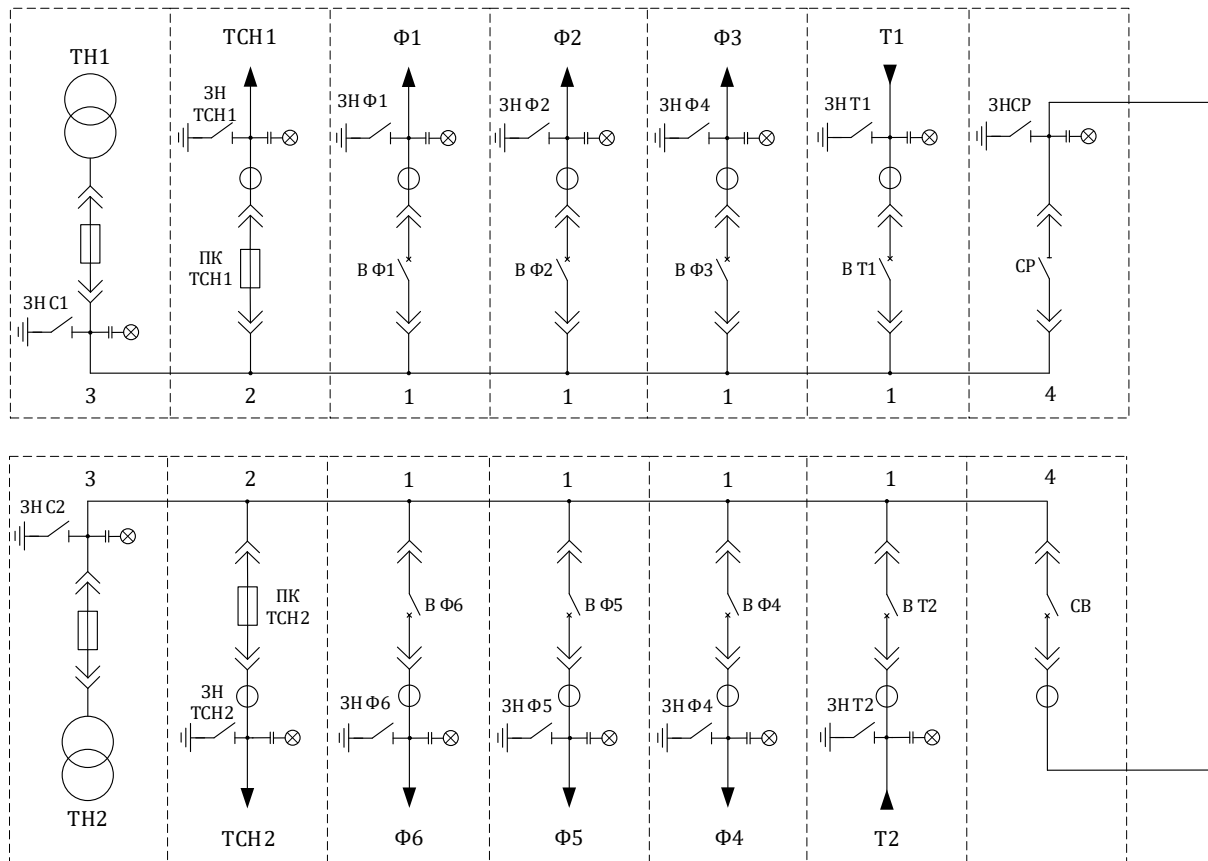


Рисунок 3.1 – Схема реконструйованого ЗРП 10 кВ

### Висновки

1. На ринку України є такі виробники високовольтної апаратури, як: "Рівненський завод високовольтної апаратури" ("РЗВА"), "Asea Brown Boveri Ltd" ("ABB"), "Siemens" і "Schneider Electric".
2. Представлені на огляд, виробники високовольтного обладнання випускають продукцію як задовольняє поставленим технічним вимогам.
3. З огляду на найменші габаритні розміри і на вибір обладнання для РП 35 кВ, до застосування рекомендуються комірки "Schneider Electric" серії SM6.
4. Так як в навантаженні підстанції відсутні двигуни, комірки будуть комплектуватися вакуумними вимикачами серії Evolis.
5. Комірки SM6 можуть комплектуватися мікропроцесорними пристроями релейного захисту серії Sepam.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	50

## 4 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА ПРИЄДНАНЬ ЗРП 10 кВ

### 4.1 Вибір захистів приєднань 10 кВ

#### 4.1.1 Кабельні лінії 10 кВ

Для кабельних ліній 10 кВ повинні бути передбачені пристрої РЗ від таких видів пошкоджень і ненормальних режимів роботи [26]:

- Від міжфазних КЗ;
- Від перевантаження;
- Від замикання на землю.

ПУЕ [26] регламентує наступні види захистів, які встановлюються на КЛ 10 кВ:

- Струмова відсічка (СВ) від міжфазних КЗ;
- Максимальний струмовий захист з витримкою часу;
- Захист від замикань на землю.

#### 4.1.2 Секційний вимикач 10 кВ

Згідно з ПУЕ [26], на секційному вимикачі передбачаються наступні види РЗА:

- Струмова відсічка;
- МСЗ з прискоренням при ручному і автоматичному включенні;
- Автоматичне включення резерву (АВР).

#### 4.1.3 Трансформатори власних потреб

До пошкоджень ТВП відносять [26]:

- Міжфазні КЗ на виводах і в обмотках;

					141.71-2.001.ДБ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Разробив		Полуботкін О.С.			Релейний захист і автоматика приєднань ЗРП 10 кВ	Літ.	Аркуш
Перевірів		Курсон О.І.					Аркушів
						51	15
Н. Контр.		Настенко Д.В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-п71	
Затверд.		Толочко О.І.					

- Однофазні КЗ (на землю і між витками обмотки);
- «пожежа сталі» сердечника.

До ненормальних режимів відносять: перевантаження, викликані відключенням, наприклад, одного з паралельно працюючих трансформаторів.

З метою економії коштів, захист ТВП ТМ-63/10/0.23 , згідно з ПУЕ [26], можна реалізувати за допомогою плавких запобіжників

При правильному виборі параметрів кварцових запобіжників і використанні тільки каліброваних патронів заводського виготовлення, ці запобіжники здатні забезпечити швидке, надійне і, в більшості випадків, селективне відключення пошкодженого трансформатора.

#### 4.2 Розрахунок захистів приєднань 10 кВ [27]

Навантаження приєднань приймаємо рівними номінальним значенням первинних струмів трансформаторів струму (див, рис. А.1, додатку А)

Параметри ТС приведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Параметри ТС:

	$I_{\text{перв}}, \text{А}$	$I_{\text{втор}}, \text{А}$	коеф. трансформації
КЛ1	100	5	20
КЛ2			
КЛ3	150		30
КЛ4	200		40
КЛ5			
КЛ6			
СВ	200		40

## 4.2.1 Захист фідерів

### 4.2.1.1 Розрахунок уставки МСЗ

Струм спрацювання визначається за виразом:

$$I_{C.3.} = \frac{K_H \cdot K_3}{K_B} \cdot I_{Pmax}^{\Phi} = \frac{1.2 \cdot 2}{0.9} \cdot 100 = 266.66 \text{ A}$$

Де:  $K_H$  – коефіцієнт надійності ( $1.1 \div 1.25$ );

$K_3$  – коефіцієнт самозапуску електродвигунів ( $2 \div 3$ );

$K_B$  – коефіцієнт повернення реле струму ( $0.85 \div 0.95$ );

Струм спрацювання МСЗ:

$$I_{C.P.} = \frac{K_{cx}}{n_i} \cdot I_{C.3.} = \frac{1}{20} \cdot 266.66 = 13.33 \text{ A}$$

Де:  $K_{cx}$  – коефіцієнт схеми (для повної зірки  $K_{cx} = 1$ );

$n_i$  – коефіцієнт трансформації ТС;

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{\chi} = \frac{I_{K3 min}}{I_{C.3.}} = \frac{13563}{266.66} = 50.86 > 1.5$$

Де:  $I_{K3 min}$  – струм двофазного КЗ за нормального режиму

$$I_{K3 min} = I_{K3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 15.661 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 13.563 \text{ кА}$$

Чутливість задовільна

Розрахунок уставки часу спрацювання:

$$t_{C3}^{\Pi} = t_{C3}' + \Delta t = 0 + 0.3 = 0.3 \text{ с}$$

Де:  $t_{C3}'$  – час спрацювання нижче стоячих захистів;

$\Delta t$  – ступінь селективності (для Seram – 0.3 с)

						Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.2.1.2 Розрахунок уставки струмової відсічки

Струм спрацювання визначається за виразом:

$$I_{\text{с.з.}} = K_{\text{відс}} \cdot I_{\text{кз}}$$

Де:  $K_{\text{відс}}$  – коефіцієнт відсічки (1.2 ÷ 1.3);

$I_{\text{кз}}$  – максимальний струм КЗ в найбільш віддаленій точці лінії:

$$I_{\text{кз}} = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}} + X_{\text{лінії}}} \cdot I_{\text{Б}}$$

Де:  $E_{\text{ЕКВ}} = 0.813$  в.о.

$$X_{\text{ЕКВ}} = 0.272 \text{ в.о.}$$

$$I_{\text{Б}} = 5.249 \text{ кА}$$

$X_{\text{лінії}}$  – опір лінії:

$$X_{\text{лінії}} = X_0 \cdot l_{\text{лінії}} \cdot \frac{S_6}{U_{\phi}^2}$$

Де:  $X_0$  – питомий опір лінії. Для КЛ – 0.091 Ом/км;

$l_{\text{лінії}}$  – довжина лінії (4 ÷ 5) км;

$S_6$  – базисна потужність – 100 МВА;

$U_{\phi}$  – номінальна фазна напруга – 11 кВ.

Підставляючи числові значення, отримаємо:

$$X_{\text{лінії}} = X_0 \cdot l_{\text{лінії}} \cdot \frac{S_6}{U_{\phi}^2} = 0.091 \cdot 5 \cdot \frac{100}{11^2} = 0.376 \text{ в.о.}$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}} + X_{\text{лінії}}} \cdot I_{\text{Б}} = \frac{0.813}{0.272 + 0.376} \cdot 5.249 = 6.585 \text{ кА}$$

$$I_{\text{с.з.}} = K_{\text{відс}} \cdot I_{\text{кз}} = 1.2 \cdot 6.585 = 7.9 \text{ кА}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Вторинний струм спрацювання визначається за виразом:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{K_{\text{сх}}}{n_i} \cdot I_{\text{с.з.}} = \frac{1}{20} \cdot 7902 = 395.1 \text{ А}$$

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз min}}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{13.563}{7902} = 1.72 > 1.5$$

Чутливість задовільна

#### 4.2.1.3 Розрахунок уставки струму замикання на землю

Струм замикання на землю кабелю, на якому встановлено захист за емпіричною формулою [28]:

$$3I_0^{\text{КЛ}} = \frac{K_{\text{р}} \cdot U_{\text{ф}} \cdot l_{\text{лінії}}}{10} = \frac{0.9 \cdot 11 \cdot 5}{10} = 4.95 \text{ А}$$

Де:  $K_{\text{р}}$  – коефіцієнт який враховує ремонтний режим – 0.9;

Струм замикання на землю всієї кабельної мережі 10 кВ:

$$3I_0^{\text{КМ}} = \frac{K_{\text{р}} \cdot U_{\text{ф}} \cdot l_{\text{мережі}}}{10} = \frac{0.9 \cdot 11 \cdot 50}{10} = 49.5 \text{ А}$$

Струм спрацювання захисту визначається за виразом:

$$I_{\text{с.з.}} = K_{\text{н}} \cdot K_{\text{кд}} \cdot 3I_0^{\text{КЛ}} = 1.1 \cdot 1 \cdot 4.95 = 5.45 \text{ А}$$

Де:  $K_{\text{кд}}$  – коефіцієнт кидка, який враховує кидок ємнісного струму при дії захисту без витримки часу (для  $S_{\text{срм}} = 1 \div 1.5$ );

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{3I_0^{\text{КМ}} - 3I_0^{\text{КЛ}}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{49.5 - 4.95}{5.45} = 8.18 > 1.25$$

Чутливість, згідно ПУЕ для кабельних ліній [26], задовільна.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55



Так як, розрахунок вторинного струму трансформатора струму нульової послідовності є дуже складним, налаштування захисту здійснюється по первинному струмі.

Для решти ліній розрахунки аналогічні і їх результати приведені в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Уставки РЗ ліній

№ КЛ	L <sub>кл</sub> , км	МСЗ			СВ			ОЗЗ		
		I <sub>с.з.</sub> , А	I <sub>с.р.</sub> , А	К <sub>ч</sub>	I <sub>с.з.</sub> , кА	I <sub>с.р.</sub> , А	К <sub>ч</sub>	3I <sub>0</sub> <sup>КЛ</sup> , А	I <sub>с.з.</sub> , А	К <sub>ч</sub>
1	5	266.66	13.33	50.86	7.9	395.1	1.72	4.95	5.45	8.18
2										
3	4	400	13.33	33.9	8.94	297.9	1.52	3.96	4.35	10.45
4		533.33	13.33	25.43	8.94	223.5	1.52			
5										
6										

#### 4.2.2 Розрахунок захисту секційного вимикача

Струм спрацювання визначається за виразом:

$$I_{с.з.} = \frac{K_H \cdot K_3}{K_B} \cdot I_{Pmax}^{CB} = \frac{1.2 \cdot 2}{0.9} \cdot 200 = 533.33 \text{ А}$$

Струм спрацювання МСЗ:

$$I_{с.р.} = \frac{K_{сх}}{n_i} \cdot I_{с.з.} = \frac{1}{40} \cdot 533.33 = 13.33 \text{ А}$$

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{ч} = \frac{I_{кз min}}{I_{с.з.}} = \frac{13739.5}{533.33} = 25.76 > 1.5$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Де:  $I_{K3 \min}$  – струм двофазного КЗ за аварійного режиму

$$I_{K3 \min} = I_{K3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 15865 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 13739.5 \text{ кА}$$

Чутливість задовільна

Розрахунок уставки часу спрацювання:

$$t_{C3}^{CB} = t_{C3}' + \Delta t = 0.3 + 0.3 = 0.6 \text{ с}$$

Де :  $t_{C3}'$  – час спрацювання нижче стоячих захистів ( $t_{C3}^{\Pi} = 0.3 \text{ с}$ );

$\Delta t$  – ступінь селективності (для Seram – 0.3 с)

#### 4.3 Реалізація захистів приєднань 10 кВ [29]

Вибрані комірки компанії Schneider Electric серії SM6 можуть комплектуватися мікропроцесорними пристроями релейного захисту серії Seram.

Для захисту кабельних ліній необхідно і достатньо використовувати Seram S20, який передбачає налаштування МСЗ, МСЗ від замикань на землю і СВ (ANSI 50/51, ANSI 50N/51N).

Реалізацію захистів фідерів на мікропроцесорних пристроях Seram 20 зображено на рис.4.1.

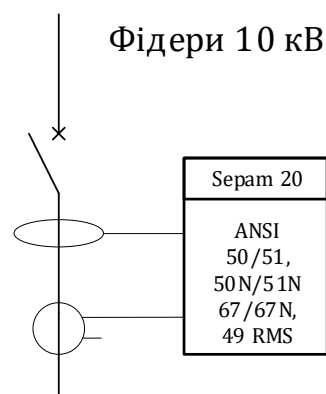


Рисунок 4.1 – Захист на базі Seram 20

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

### 1. Міжфазні замикання

Фідери мають МСЗ (ANSI 51/51), який забезпечую ліквідацію КЗ з витримкою часу, адаптованої до роботи суміжних захистів. Крім того, мають спрямований захист (ANSI 67).

### 2. Замикання на землю

Фідери 10 кВ мають МСЗ від замикань на землю з регульованою уставкою значення ємнісного струму і витримкою часу (ANSI 50N/51N). Крім того, мають спрямований захист від замикань на землю (ANSI 67N) з витримкою часу.

### 3. Теплове перевантаження

Функція теплового захисту (ANSI 49 RMS) забезпечує захист фідерів від тривалих струмів перевантаження, що викликають нагрів проводів.

Так як в РП 10 кВ передбачається встановлення АВР, на вводи необхідно встановити Seram S40, які окрім захистів, розглянутих для Seram 20 мають захист мінімальної напруги (ANSI 27) та захист максимальної напруги (ANSI 59) .

Реалізацію захистів вводів на мікропроцесорних пристроях Seram 40 зображено на рис.4.2.

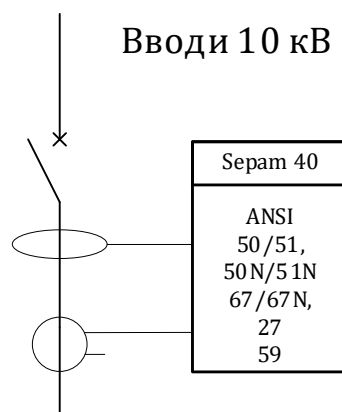


Рисунок 4.2 – Захист на базі Seram 40

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

В комірку секційного вимикача, необхідно встановити Sepam S40 для забезпечення логіки роботи АВР і реалізації МСЗ (ANSI 50/51, ANSI 50N/51N).

Реалізацію захисту секційного вимикача на мікропроцесорному пристрої Sepam 40 зображено на рис.4.3.

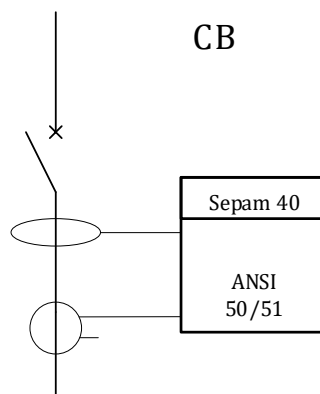


Рисунок 4.3 – Захист на базі Sepam 40

Реалізація захистів приєднань зображена на листі 2 (див .рис. 4.4 – Схема ЗРП 10 кВ).

#### 4.4 Автоматичне включення резервного живлення

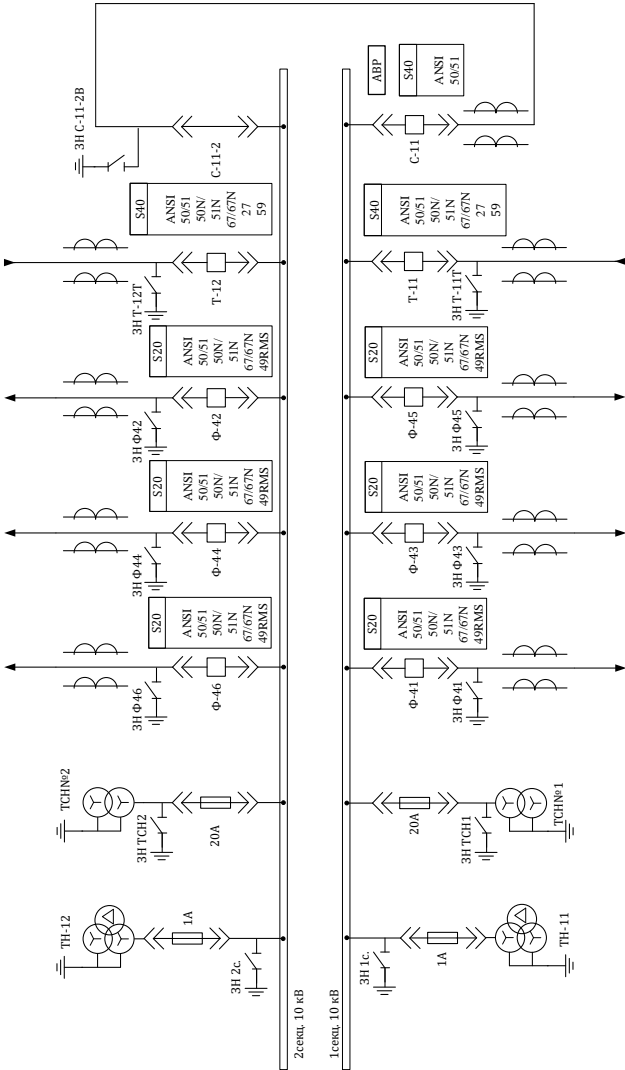
Для зменшення часу перерви електропостачання в наслідок відключення однієї з секцій від живлення (наприклад, вихід з ладу силового трансформатора), в схемі ЗРП 10 кВ передбачається встановлення АВР.

До АВР висувається ряд вимог:

- Пуск АВР повинен здійснюватися при втраті живлення від робочого джерела з будь-якої причини (виключення – робота АЧР);
- АВР повинне здійснюватися тільки після відключення вимикача вводу робочого джерела;
- АВР повинне бути однократним.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Призначення	ТН	ТСН	Лінія	Лінія	Вид	СР
Диспетч. Позначення	ТН-12	ТСН№2	Ф-42	Ф-46	Т-12	С-11-2
Допуст. струм коопрки	50	50	630	630	630	630
Випиач			Evolis	Evolis	Evolis	
Привід випиача			P2	P2	P2	
Тр-р струму, коеф. тр-ції			ARJ, 200/5	ARJ, 100/5	ARJ, 400/5	ARJ, 200/5
Запобіжник	DIN 43625, 1A	DIN 43625, 20A				
Тип ТН, ТСН	VRQ	ТМ3-40/10				
Тип копірок	СМ	ТМ	DMV-A	DMV-A	DMV-A	DM2



Призначення	ТН	ТСН	Лінія	Лінія	Вид	СВ
Диспетч. Позначення	ТН-11	ТСН№1	Ф-41	Ф-43	Т-11	С-11
Допуст. струм коопрки	50	50	630	630	630	630
Випиач			Evolis	Evolis	Evolis	
Привід випиача			P2	P2	P2	
Тр-р струму, коеф. тр-ції			ARJ, 200/5	ARJ, 150/5	ARJ, 100/5	ARJ, 200/5
Запобіжник	DIN 43625, 1A	DIN 43625, 20A				
Тип ТН, ТСН	VRQ	ТМ3-40/10				
Тип копірок	СМ	ТМ	DMV-A	DMV-A	DMV-A	DM2

Рисунок 4.4 – Схема ЗРП 10 кВ

#### 4.4.1 Організація АВР на базі пристроїв Seram

Функціонал мікропроцесорних пристроїв РЗ серії Seram дозволяє організувати АВР з дотриманням усіх вимог. Дана функція забезпечується застосуванням модулів Seram S40 і вище, в яких присутній вимірювальний орган напруги [29].

Функції виміру напруги:

- Вимір фазної напруги;
- Вимір лінійної напруги;
- Вимір напруги прямої послідовності;
- Вимір напруги оберненої послідовності;
- Вимір напруги нульової послідовності;

#### 4.4.2 Послідовність роботи АВР

На вводах встановлені пристрої Seram S40 які контролюють струми вводи і за допомогою трансформаторів напруги, які встановлені на шинах РП, напругу секцій. В секційній комірці встановлено Seram S40 який приймає команди від Seram S40 вводів.

Розглянемо роботу АВР на прикладі першої секції.

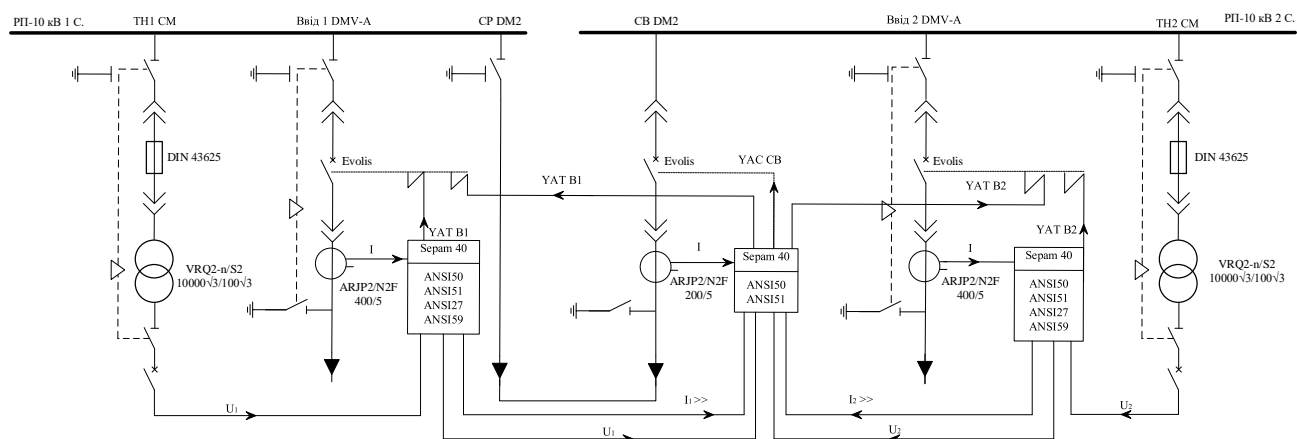
В випадку зниження напруги на першій секції нижче заданої уставки (наприклад, КЗ на живлячій лінії РП 35 кВ), на S40 вводу 1 спрацює захист по мінімальній напрузі і з витримкою часу відключить ввідний вимикач (В1). Після його відключення з S40 вводу 1 на S40 секційної коміртки надійде сигнал для включення секційного вимикача (СВ), що призведе до успішної дії АВР.

В випадку роботи РЗ S40 вводу 1 на відповідне КЗ на шинах 10 кВ, також будуть забезпечені умови для включення СВ, так як В1 буде вимкненим а напруга секції буде меншою за уставку, що приведе до включення СВ. Після чого

						Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЗ S40 секційної комірки спрацює і відключить СВ, що призведе до неуспішної дії АВР.

Система АВР на базі комірок SM6 та пристроїв захисту Sepam представлена на листі 3 (рис. 4.5).



Функціональна схема АВР

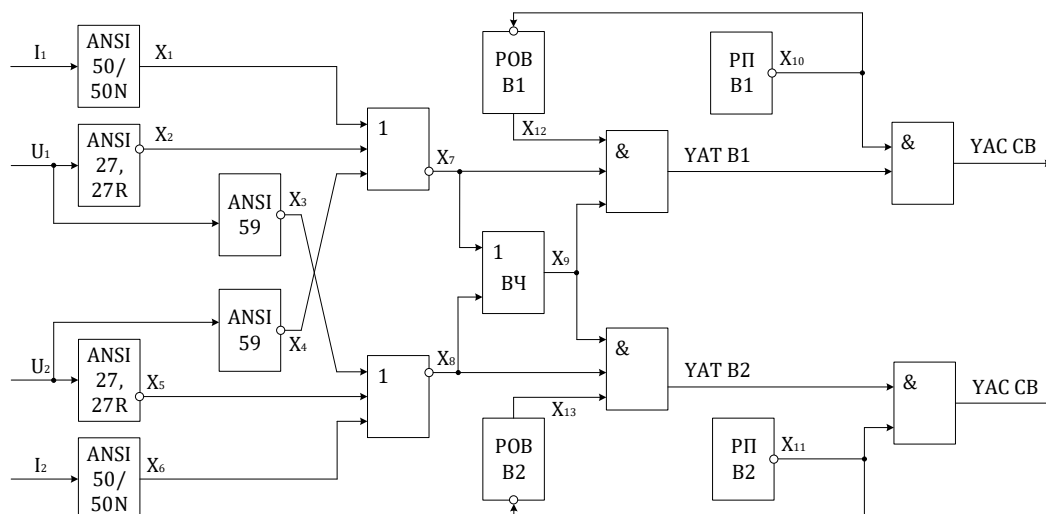


Схема комбінованого пускового органу на логічних елементах

Рисунок 4.5 – Організація АВР. Схема електрична функціональна

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	62

Алгоритм роботи:

- пуск АВР при виявленні зниження напруги  $U_1$  захистом по мінімальній напрузі (ANSI27) джерела 1;
- блокування АВР при спрацьовуванні максимального струмового захисту (ANSI 50 та 50N);
- дозвіл АВР після перевірки зникнення напруги, підтримуваного обертними машинами, однофазним захистом по мінімальній напрузі (ANSI 27R);
- дозвіл АВР після перевірки наявності достатньої напруги (ANSI 59) від джерела 2;
- Витримка часу «ВЧ» на роботу АПВ і вище стоячих захистів та відключення вводу В1;
- Витримка часу «РОВ» для забезпечення однократної роботи АВР;
- Перевірка вимкненого стану В1 (РП В1 – реле положення) і включення СВ.

Логічні рівняння для схеми комбінованого пускового органу на логічних елементах (див. лист 3):

$YAC\ CB = YAT\ B1 \cdot X_{10}$  – включення секційного вимикача;

$YAT\ B1 = X_7 \cdot X_9 \cdot X_{12}$

$X_{12} = TOF(\overline{X_{10}})$  – витримка часу на вимкнення;

$X_9 = TON(X_7 + X_8)$  – витримка часу на включення;

$X_8 = \overline{(X_6 + \overline{X_5} + \overline{X_3})}$

$X_7 = \overline{(X_1 + \overline{X_2} + \overline{X_4})}$

$YAC\ CB = X_{10} \cdot \overline{(X_1 + \overline{X_2} + \overline{X_4})} \cdot TON[\overline{(X_6 + \overline{X_5} + \overline{X_3})} + \overline{(X_1 + \overline{X_2} + \overline{X_4})}] \cdot TOF(\overline{X_{10}})$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63



#### 4.4.3 Розрахунок уставок АВР [30]

Розрахунок первинної напруги спрацювання захисту мінімальної напруги:

$$U_{\text{сз}}^{\text{перв}} = (0.25 - 0.45) \cdot U_{\text{н}} = 0.3 \cdot 10 = 3.33 \text{ кВ}$$

Розрахунок уставки вторинної напруги спрацювання захисту мінімальної напруги:

$$U_{\text{сз}}^{\text{втор}} = \frac{U_{\text{сз}}^{\text{перв}}}{n_{\text{ТН}}} = \frac{3333}{100} = 33.3 \text{ В}$$

Де:  $n_{\text{ТН}}$  – коефіцієнт трансформації ТН

Розрахунок витримки часу для забезпечення однократного включення:

$$t_0 = t_{\text{ВВ}} + \Delta t = 0.3 + 0.065 = 0.365 \text{ с}$$

Де:  $t_{\text{ВВ}}$  – час включення СВ для Evolis  $\leq 65 \text{ мс}$ ;

$\Delta t$  –  $(0.2 \div 0.3) \text{ с}$ .

Розрахунок витримки часу спрацювання пускового органу:

$$t_{\text{рв}} = t_{\text{рз}} + \Delta t = 0.6 + 0.5 = 1.1 \text{ с}$$

Де:  $t_{\text{рз}}$  – найбільший час спрацювання вище стоячих захистів. Так як відсутня інформація по захистах 35 кВ і вище, прийmemo їх як диференційні з витримкою часу 0 с; АПВ – відсутнє ( $t_{\text{сз}}^{\text{В}} = 0.6 \text{ с}$ );

$\Delta t$  – ступінь селективності  $(0.4 \div 1.0) \text{ с}$ .

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

### **Висновки**

1. Усі захисти приєднань РП 10 кВ встановлюються згідно з ПУЕ.
2. Для реалізації релейного захисту використовуються мікропроцесорні пристрої релейного захисту Seram
3. Захисти приєднань виконуються на мікропроцесорних пристроях релейного захисту серії Seram S20.
4. Для забезпечення роботи АВР, необхідна додаткова функція – захист по мінімальній напрузі (ANSI 27), який передбачається в модулях Seram S40, які встановлюються на вводи ЗРП.
5. Всі розраховані захисти відповідають необхідним вимогам чутливості.
6. Наведені функціональна схема побудови АВР та схемна реалізація на логічних елементах дозволяють полегшити програмування пристроїв Seram при реалізації АВР.

						Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. Задана схема п/ст відповідає технічним вимогам і нормативним документам. Відповідно до завдання дипломного проекту, силові трансформатори заміні не підлягають.
2. Обладнання заданої підстанції на даний момент являється морально та технічно застарілим. Зношення та несвоєчасне обслуговування деякого обладнання (зокрема масляних вимикачів) може призвести до негативних наслідків. Сучасне обладнання від провідних виробників є набагато надійнішим.
3. На ринку України є такі виробники високовольтної апаратури, як: "Рівненський завод високовольтної апаратури" ("РЗВА"), "Asea Brown Boveri Ltd" ("ABB"), "Siemens" і "Schneider Electric".
4. Вибір нового обладнання проводився на основі розрахованих струмів короткого замикання та відповідно до вимог ПУЕ.
5. Для забезпечення надійної роботи, покращення умов обслуговування обладнання і виключення фактору навколишнього середовища, було замінено відкритий розподільчий пристрій 35 кВ на РП закритого типу.
6. При співставленні технічних характеристик розглянутого обладнання, були вибрані комірки типу F400 для ЗРП 35 кВ та комірки типу SM6 для ЗРП 10 кВ виробництва Schneider Electric.
7. Релейний захист приєднань РП 10 кВ виконано на мікропроцесорних пристроях типу Seram. Вибір та розрахунки захистів приєднань РП 10 кВ були проведені згідно з діючими нормативними документами.
8. Для організації автоматичного введення резерву був використаний функціонал пристроїв Seram. Для забезпечення контролю напруги на шинах секцій і логіки роботи були застосовані Seram 40
9. Приведений алгоритм взаємодії пристроїв Seram дозволяє полегшити їх програмування при реалізації роботи АВР.

						Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Денисюк П.Л., Безбереж'єв Ю.В., Матеєнко Ю.П., Бардик Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій: виконання та оформлення курсового проекту: Навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 83 с.
2. Бардик Є.І., Безбереж'єв Ю.В. Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах: Методичні вказівки. Київ НТУУ «КПІ» ФЕА, 2013 33 с.
3. Неклепаєв Б.Н. Електрична частина електростанцій та підстанцій: Навчальний посібник. Москва: Енергоатомвид, 1986. 640 с.
4. Неклепаєв Б.Н., Крючков І.П. Електрична частина електростанцій та підстанцій: Довідкові матеріали для курсового і дипломного проектування: Навчальний посібник. Москва: Енергоатомвид, 1986. 608 с.
5. Обладнання електричних підстанцій і ліній електропередач. URL: <http://ukrelektrik.com/oborudovanie> (дата звернення: 10.02.2020).
6. Експлуатація вимикачів. URL: <https://leg.co.ua/arhiv/podstancii/maloobemnye-maslyanye-vyklyuchateli-3-10-kv-13.html> (дата звернення: 10.02.2020).
7. Рішення АББ для розподільчих мереж. URL: <https://new.abb.com/docs/librariesprovider25/catalogues/abb-build-ready-1.pdf?sfvrsn=2> (дата звернення: 16.03.2020).
8. UniGear ZS3.2 metal-enclosed switchgear. URL: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1YHD000000A0993&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
9. Розподільний пристрій NXAIR S 40,5 кВ з повітряною ізоляцією. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:cf21fdd0-b80a-4ed0-9636-ef54cc09856c/version:1564388657/raspredelitelnoye->

						Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ustroystvo-s-vozdushnoy-izolyatsiyey-nxair-s-4.pdf (дата звернення: 24.03.2020).

10. Розподільний пристрій середньої напруги NXAIR. URL: [http://low-medium-voltage.siemens.ru/files/lmv/MS\\_Manuals/8DA10\\_Manual\\_RU.pdf](http://low-medium-voltage.siemens.ru/files/lmv/MS_Manuals/8DA10_Manual_RU.pdf) (дата звернення: 24.03.2020).
11. Розподільне обладнання середньої напруги F400. URL: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=AMTED399053\\_EN.pdf&p\\_Doc\\_Ref=AMTED399053\\_EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=AMTED399053_EN.pdf&p_Doc_Ref=AMTED399053_EN) (дата звернення: 26.03.2020).
12. Трансформатори струму вимірювальні ARM9T. URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/40734-09-arm9t-42491> (дата звернення: 26.03.2020).
13. Пристрої комплектні розподільні серії КУ35. URL: [http://www.rzva.ua/modules/pages/files/01\\_%D0%A2%D0%86\\_%D0%9A%D0%A335.pdf](http://www.rzva.ua/modules/pages/files/01_%D0%A2%D0%86_%D0%9A%D0%A335.pdf) (дата звернення: 30.03.2020).
14. Комірка КРП F400 з викатним автоматичним вимикачем URL: [https://schneider.center/sites/default/files/files/documentation/yacheyka\\_kr\\_u\\_f400\\_s\\_vykatnym\\_avtomaticheskim\\_vyklyuchatelem\\_1\\_-\\_405\\_kv.pdf](https://schneider.center/sites/default/files/files/documentation/yacheyka_kr_u_f400_s_vykatnym_avtomaticheskim_vyklyuchatelem_1_-_405_kv.pdf) (дата звернення: 01.04.2020).
15. UniGear ZS1 КРП середньої напруги. URL: [https://library.e.abb.com/public/6843ab07fb9a1b1ec1257c62005a5f04/Catalogue%20UG%20ZS1\\_RevF\\_2013\\_12\\_ru.pdf](https://library.e.abb.com/public/6843ab07fb9a1b1ec1257c62005a5f04/Catalogue%20UG%20ZS1_RevF_2013_12_ru.pdf) (дата звернення: 03.04.2020).
16. HD4 Gas insulated MV circuit breakers. URL: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VCP000004%202015.09&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (дата звернення: 07.04.2020).

						Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. VD4 Вакуумні вимикачі середньої напруги. URL:  
[https://library.e.abb.com/public/5478a1e2ec7a4cef96d0ae71310a4ee0/CA\\_VD4-50kA\(RU\)Y\\_1VCP000001.pdf](https://library.e.abb.com/public/5478a1e2ec7a4cef96d0ae71310a4ee0/CA_VD4-50kA(RU)Y_1VCP000001.pdf) (дата звернення: 05.04.2020).
18. TPU Опорні трансформатори струму. URL:  
[https://library.e.abb.com/public/65be22207414e001c1257c4500309a77/TP\\_U\\_RU.pdf](https://library.e.abb.com/public/65be22207414e001c1257c4500309a77/TP_U_RU.pdf) (дата звернення: 08.04.2020).
19. АBB Трансформатори напруги типу TJC, TDC, TJP. URL:  
<https://www.twirpx.com/file/2782676/> (дата звернення: 12.04.2020).
20. NXAIR КРП з вакуумним силовим вимикачем. URL:  
[http://www.smartenergo.net/8djh/NXAIR\\_RU\\_2012-09.pdf](http://www.smartenergo.net/8djh/NXAIR_RU_2012-09.pdf) (дата звернення: 15.04.2020).
21. Комірки КСО серії SM6. URL: <https://www.electro-profi.ru/upload/iblock/035/035ec34c1bd6bead92116a6b6899d7c3.pdf>  
(дата звернення: 17.04.2020).
22. Пристрої комплектні розподільні серії КУ 10С. URL:  
<http://www.rzva.ua/modules/pages/files/TIKU10SRED23.pdf> (дата звернення: 18.04.2020).
23. ТН серії ЗНОЛП URL:  
[http://ukrelektrik.com/publ/oborudovanie/izmeritelnymeritelnye\\_transformatory/tn\\_serii\\_znolp/7-1-0-405](http://ukrelektrik.com/publ/oborudovanie/izmeritelnymeritelnye_transformatory/tn_serii_znolp/7-1-0-405) (дата звернення: 20.04.2020).
24. Трансформатори струму ТОЛ-10. URL:  
[http://www.cztt.ru/userFiles/Rukovodstva/RE\\_TOL-10.pdf](http://www.cztt.ru/userFiles/Rukovodstva/RE_TOL-10.pdf) (дата звернення: 20.04.2020).
25. Вимикачі вакуумні типу ВРС. URL:  
[http://www.rzva.ua/modules/pages/files/TI\\_VPC6\\_10.pdf](http://www.rzva.ua/modules/pages/files/TI_VPC6_10.pdf) (дата звернення: 20.04.2020).
26. Правила улаштування електроустановок. Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

27. Дмитренко О. О. Розрахунок параметрів спрацювання захистів за струмом електричних мереж 6 – 35 кВ: Методичні вказівки. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2014. 49 с.
28. Шабад М. А. Розрахунки релейного захисту і автоматики розподільчих мереж. СПб.: ПЭИПК, 203. 350 с.
29. Sepam серій 20, 40, 60 і 80. URL: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=Sepam\\_20-40-60-80-web-2013.pdf&p\\_Doc\\_Ref=sepam\\_cat\\_ua\\_2014](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Sepam_20-40-60-80-web-2013.pdf&p_Doc_Ref=sepam_cat_ua_2014) (дата звернення: 10.05.2020).
30. Дмитренко О. О. Розрахунок параметрів пристроїв АПВ, АВР: Методичні вказівки. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2014. 22 с.

						Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Таблиця А.1 - Каталогні дані трансформаторів

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}, \text{MBA}$	Напруга обмотки, кВ		Втрати, кВт		$U_k, \%$	$I_x, \%$
		ВН	НН	$P_x$	$P_k$		
ТМН-6300/35	6,3	35	11	8	46,5	7,29	0,8
ТМН-6300/35	6,3	35	11	8	46,5	7,12	0,8

Таблиця А.2 - Каталогні дані роз'єднувачів

Тип	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$i_{\text{терм}}, \text{кА}$	$i_{\text{уд}}, \text{кА}$	$t_{\text{кз}}, \text{с}$
РНДЗ-2-35/1000У1	35	1000	25	63	3
РНДЗ-1-35/1000У1	35	1000	25	63	3

Таблиця А.3 - Каталогні дані вимикачів

Тип	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$I_{\text{відкл}}, \text{кА}$	$i_{\text{уд}}, \text{кА}$	$t_{\text{відкл}}, \text{с}$
ВТ-35-630-12,5У1	35	630	12,5	31	0,1
С-35-630-10,5У1	35	630	10,5	26	0,1

Таблиця А.4 - Каталогні дані трансформаторів напруги

Тип	$U_1, \text{кВ}$	$U_2, \text{В}$	$S_{\text{ном}}, \text{ВА}$
ЗНОМ-35-66-У1	35	100	150/250/600

Таблиця А.5 - Каталогні дані розрядників

Тип	$U_{\text{мережі}}, \text{кВ}$	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$U_{\text{пробою}}, \text{кВ}$
РВС-35	35	40,5	78-98

Таблиця А.6 – Каталогні дані ОПН

Тип	$U_{\text{роб}}, \text{кВ}$	$I_{\text{розр}}, \text{кА}$
ОПН-35	37	10

Таблиця А.7 – Каталогні дані вимикачів

Тип	U <sub>ном</sub> , кВ	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>відкл</sub> , кА	i <sub>уд</sub> , кА	t <sub>відкл</sub> , с
ВК-10	10	630	20	52	0,07

Таблиця А.8 - Каталогні дані трансформаторів напруги

Тип	U <sub>1</sub> , кВ	U <sub>2</sub> , В	S <sub>ном</sub> , ВА
ЗНОМ-10	10	100	75/150/300
НАМИ-10	10	100	200/300/600

Таблиця А.9 - Каталогні дані трансформаторів струму

Тип	U <sub>1</sub> , кВ	I <sub>1</sub> , А	I <sub>2</sub> , А	S <sub>ном</sub> , ВА
ТОЛ-10	10	100-400	5	3х(3÷30)

Таблиця А.10 - Каталогні дані трансформаторів власних потреб

Тип	S <sub>ном</sub> , кВА	Напруга обмотки , кВ		Втрати, Вт		U <sub>к</sub> , %	I <sub>х</sub> , %
		ВН	НН	P <sub>х</sub>	P <sub>к</sub>		
ТМЗ-40/10	40	10	0,4	180	830	4,5	3

Таблиця А.11 - Каталогні дані запобіжників

Тип	U <sub>1</sub> , кВ	I <sub>ном</sub> , А
ПТ-10	10	20
ПК-10	10	1

Таблиця А.12 - Каталогні дані розрядників

Тип	U <sub>мережі</sub> , кВ	U <sub>ном</sub> , кВ	U <sub>пробою</sub> , кВ
РВО-10	10	12,7	26-30,5

## Додаток Б

Таблиця Б.1 – Каталогні дані трансформаторів

Позначення на схемі	$S_{\text{НОМ}}$ , МВА	Напруга обмотки , кВ		$U_K$ , %
		ВН	НН	
Т-1	25	37	10.5	8
Т-2	10	37	10.5	10
Т-3	6.3	37	10.5	7.5

Таблиця Б.2 – Каталогні дані генераторів

Позначення на схемі	$S_{\text{НОМ}}$ , МВА	$U_{\text{НОМ}}$ , кВ	$X_d''$
Г	60	10.5	0.12

Таблиця Б.3 – Каталогні дані СК

Позначення на схемі	$S_{\text{НОМ}}$ , МВА	$U_{\text{НОМ}}$ , кВ	$X_d''$
СК	5	10.5	0.2

Таблиця Б.4 – Каталогні дані ЛЕП

Позначення на схемі	l, км	$X_0$ , Ом/км	$U_L$ , кВ
L-1	16	0.4	35
L-2	10		
L-3	2×10		

Таблиця Б.5 – Навантаження

Позначення на схемі	$X$ , Ом	Е, в.о.	$U_H$ , кВ
$S_{H1}$	0.35	0.8	10.5
$S_{H2}$			
$S_{H3}$			

## Додаток В

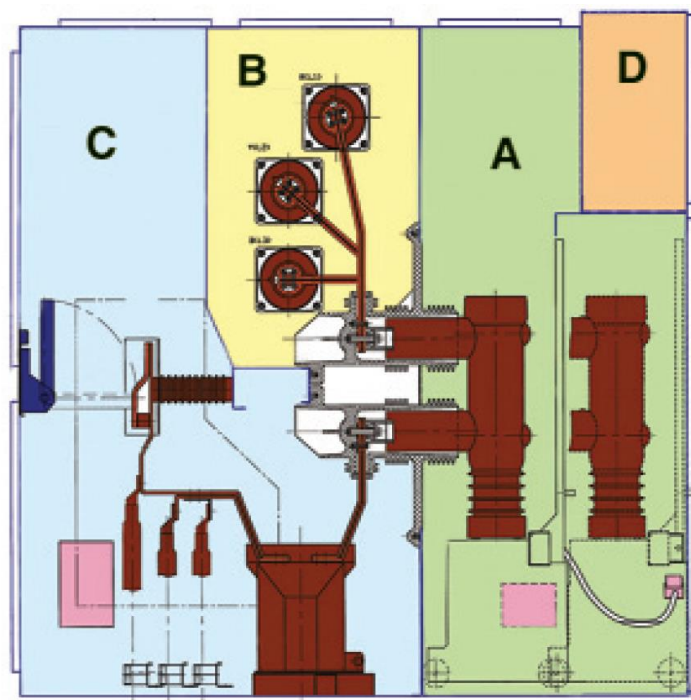


Рисунок В.1 – Конструкція комірки UniGear ZS3.2

де А – відсік вимикача;

В – відсік збірних шин ;

С – кабельний відсік;

Д – відсік низьковольтного обладнання.

В даній серії обладнання організовані наступні проектні рішення: локалізація дуги в межах відсіку при внутрішньому дуговому КЗ; перешкоджання поширенню дуги по збірним шинам; встановлені клапани розвантаження відсіків від підвищеного тиску; присутні блокування, які запобігають не правильним діям оператора.

Таблиця В.1 – Технічні параметри вимикачів HD4:

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	Елегаз

Таблиця В.2 – Технічні параметри вимикачів VD4:

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 В.3 – Технічні параметри трансформаторів струму:

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 В.4 – Технічні параметри трансформаторів напруги:

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

## Додаток Г

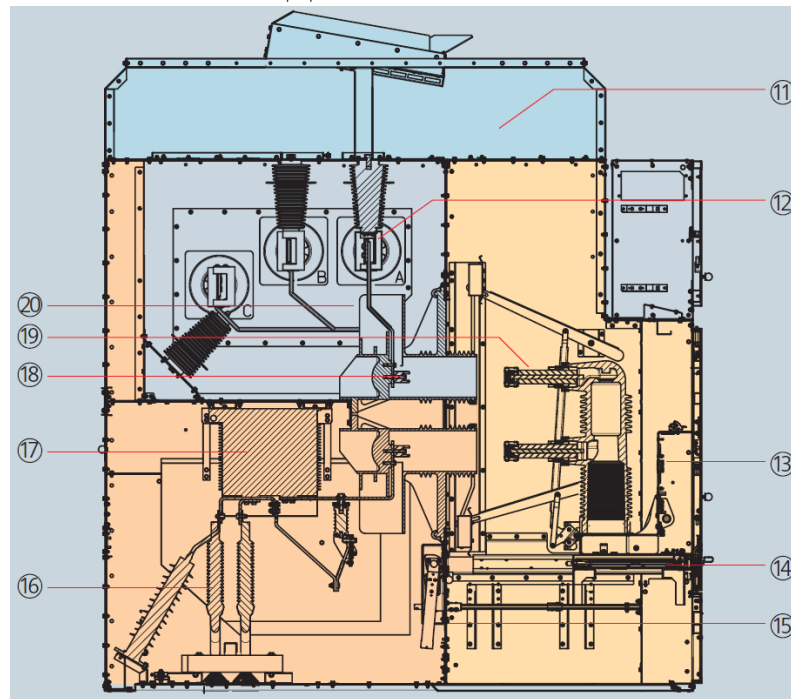


Рисунок Г.1 – Конструкція комірки NXAIR S

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| де 11 – Канал скидання тиску; | 17 – Трансформатор струму;                     |
| 12 – Збірні шини;             | 18 – Нерухомий контакт в прохідному ізоляторі; |
| 13 – Вимикач;                 | 19 – Контакт вимикача;                         |
| 14 – Викатний модуль;         | 20 – Захисний корпус контактної системи.       |
| 15 – Заземлювач;              |  |
| 16 – Кабельні з'єднання;      |  |

## Відмінні особливості:

- Поширена на всю серію NXAIR концепція платформи конструкції
- Застосування стандартизованих блочних трансформаторів струму
- Використання стандартних компонентів
- Проведення типових випробувань встановлених в комірці вакуумного силового вимикача і заземлювача зі здатністю ввімкнення на струм КЗ
- Стійкі до надлишкового тиску перегородки відсіків
- Гнучкість при комплектації низьковольтного відсіку

Таблиця Г.1 – Технічні параметри вимикачів:

Номинальна напруга, кВ	40,5
Найбільша робоча напруга (1 хв), кВ	95
Номинальна частота, Гц	50
Номинальний струм, А	... 3150
Номинальний струм відключення, кА	... 31.5
Номинальний короткочасний струм, кА/с	31,5/4
Максимальний струм включення при КЗ, кА	80
Максимальний піковий струм, кА	80
Час ввімкнення, мс	< 70
Час розімкнення, мс	< 80
Вид ізоляції	Вакуум

Таблиця Г.2 – Технічні параметри трансформаторів напруги:

Найбільша робоча напруга, кВ	1,2 ( $U_n$ )
Номинальна вторинна напруга, В	100 100/ $\sqrt{3}$
Клас точності	0.2; 0.5; 1
Номинальне навантаження, ВА	45 – 250

Таблиця Г.3 – Технічні параметри трансформаторів струму:

Робоча напруга, В	макс. 800
Номинальний первинний струм, А	40 ... 2500
Номинальний вторинний струм, А	1; 5
Клас точності	0,2; 0,5; 1
Номинальне навантаження, ВА	2,5 – 30
Струм термічної стійкості кА	40
Час термічної стійкості, с	3



## Додаток Д

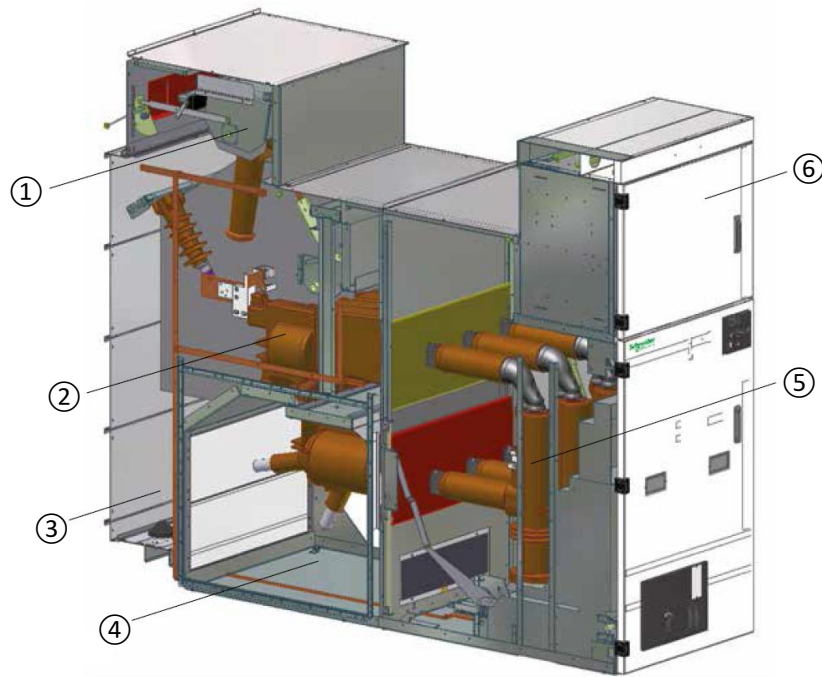


Рисунок Д.1 – Конструкція комірки F400

- де 1 – Трансформатор напруги;  
2 – Трансформатор струму;  
3 – Кабельне приєднання;  
4 – Секція шинопроводу;  
5 – Вимикач;  
6 – Секція керування НН;

Розподільний пристрій захищений корпусом, який здатен витримати внутрішній дуговий розряд. Також існує можливість встановлення модуля захисту від дугового розряду, який розпізнає будь-який спалах дуги. Всі операції виконуються з лицьової панелі при закритій дверці.

Таблиця Д.1 – Технічні параметри вимикачів SF:

Номінальна напруга, кВ	36
Найбільша робоча напруга (1 хв), кВ	70
Номінальна частота, Гц	50/60
Номінальний струм, А	1250; 2500
Струм КЗ, кА	25; 31,5; 40
Номінальний короткочасний струм, кА (3 с)	25; 31,5; 40
Час ввімкнення, мс	< 65
Час розімкнення, мс	< 60
Вид ізоляції	Елегаз

Таблиця Д.2 – Технічні параметри трансформаторів струму ARM9T:

Найбільша робоча напруга, кВ	36
Номінальний первинний струм, А	50 ... 2500
Номінальний вторинний струм, А	1; 5
Клас точності	0,2; 0,5; 1
Номінальне навантаження, ВА	до 50
Струм термічної стійкості кА	25 – 60
Час термічної стійкості, с	1

Таблиця Д.3 – Технічні параметри трансформаторів напруги VRF3:

Первинна напруга, кВ	$35/\sqrt{3}$
Номінальна вторинна напруга, В	$110/\sqrt{3}$
Клас точності	0,5; 1
Номінальне навантаження, ВА	50 – 150

## Додаток Е

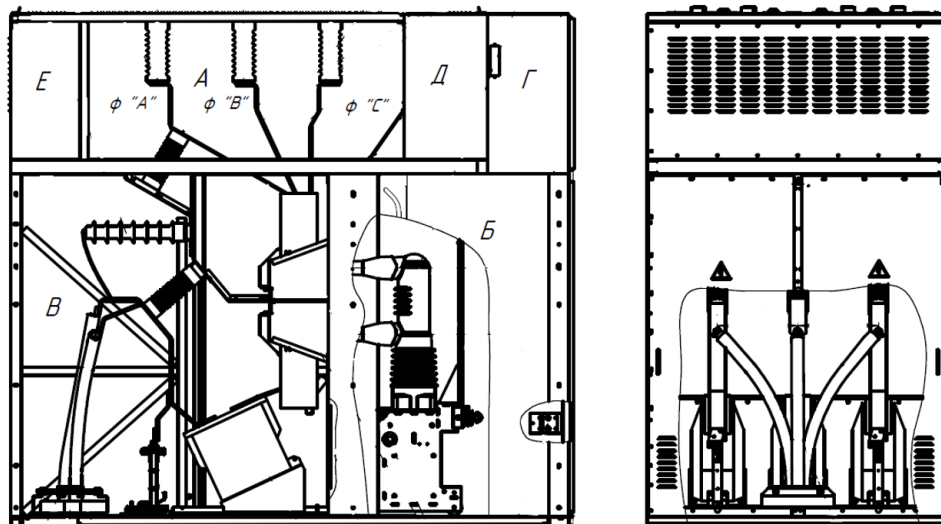


Рисунок Е.1 – Конструкція комірки КУ35

де А – Відсік збірних шин;

Б – Відсік викатного елементу;

В – відсік лінійних шин і трансформаторів струму;

Г – відсік низьковольтного обладнання;

Д; Е – канали розвантаження надлишкового тиску.

В якості основного високовольтного комплектуючого обладнання в шафах можуть застосовуватися :

- Вимикачі типу ВР35, VD4, HD4;
- Трансформатори струму типу ТЛК-35, ТРУ 7.1;
- Трансформатори напруги типу GZ 36, ТНР 7.1;
- Обмежувачі перенапруг типу MWK-41;
- Запобіжники струмообмежуючі ПКТ;

Таблиця Е.1 – Технічні параметри вимикачів ВР35:

Номінальна напруга, кВ	35
Найбільша робоча напруга (1 хв), кВ	40,5
Номінальний струм, А	630; 1250
Номінальний струм відключення, кА	20
Струм електродинамічної стійкості, кА	52
Струм термічної стійкості, кА (3 с)	20
Початкове значення діючої складової струму КЗ, кА	20
Вміст аперіодичної складової струму КЗ, %	35
Час ввімкнення, мс	< 100
Час розімкнення, мс	< 65
Вид ізоляції	Вакуум

Таблиця Е.2 – Технічні параметри трансформаторів струму ТЛК-35:

Номінальна напруга, кВ	35
Найбільша робоча напруга, кВ	40,5
Номінальний первинний струм, А	200 ... 3000
Номінальний вторинний струм, А	5
Клас точності	0,2; 0,5; 1; 5
Номінальне навантаження, ВА	до 30
Струм термічної стійкості, кА (3 с)	до 100
Струм електродинамічної стійкості, кА	до 250

Таблиця Е.3 – Технічні параметри трансформаторів напруги ТПР 7.1:

Первинна напруга, кВ	$35/\sqrt{3}$
Номінальна вторинна напруга, В	$100/\sqrt{3}$
Клас точності	0,2; 0,5; 1
Номінальне навантаження, ВА	30; 75; 150

## Додаток Ж

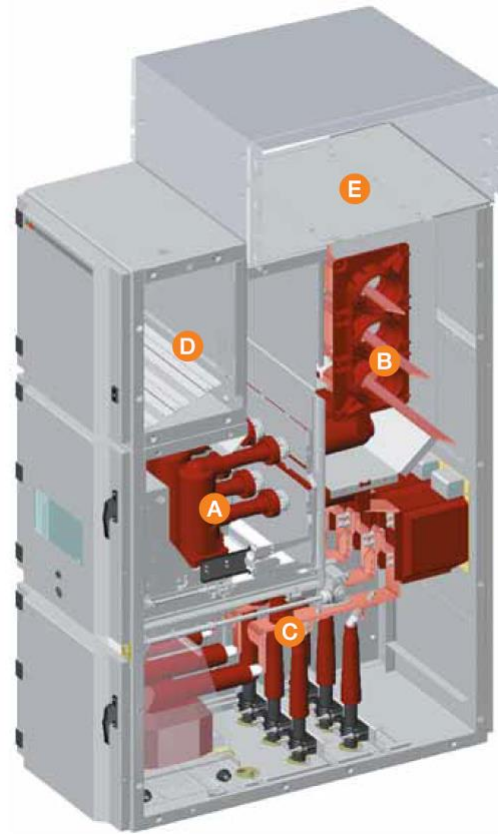


Рисунок Ж.1 – Конструкція комірки ZS1

де А – відсік вимикача;

В – відсік збірних шин ;

С – кабельний відсік;

Д – відсік низьковольтного обладнання;

Е – компактний газовий канал

Проектні рішення:

- Всі комірки КРП UniGear ZS1 можуть бути безпосередньо приєднаними до інших КРП сімейства UniGear.
- КРП не потребують доступу ззаду для проведення робіт по монтажу чи технічному огляді, всі операції виконуються з лицьового боку комірок.
- Функціональні відсіки КРП гарантовано захищені від внутрішньої дуги.

Таблиця Ж.1 – Технічні параметри вимикачів VD4:

Номінальна напруга, кВ	12
Номінальний струм, А	630 – 3150
Номінальний струм електродинамічної стійкості, кА	... 125
Номінальний струм відключення, кА	... 50
Струм термічної стійкості кА	... 50
Час термічної стійкості, с	3
Час ввімкнення, мс	30-60
Час розімкнення, мс	33-60
Вид ізоляції	Вакуум

Таблиця Ж.2 – Технічні параметри трансформаторів струму:

Номінальна напруга, кВ	3 – 35
Номінальний первинний струм, А	... 3200
Струм термічної стійкості кА (1 с або 3 с)	... 100
Номінальний вторинний струм, А	1; 5
Клас точності	0.2 ... 10P
Номінальне навантаження, ВА	... 60

Таблиця Ж.3 – Технічні параметри трансформаторів напруги:

Номінальна первинна напруга, кВ	$10/\sqrt{3}$
Номінальна вторинна напруга, В	$100/\sqrt{3}$ 100
Клас точності	0.2 – 1; 3P; 6P
Номінальне навантаження, ВА	2.5 – 300

## Додаток К

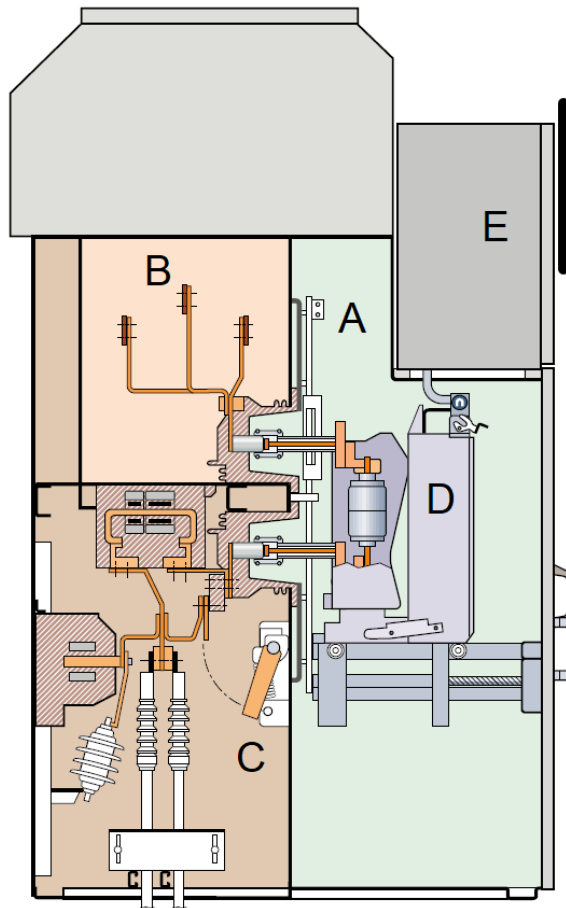


Рисунок К.1 – Конструкція комірки NXAIR

де А – Відсік комутаційного апарата;

В – Відсік збірних шин;

С – Відсік приєднань;

Д – Висувний силовий вимикач;

Е – Низьковольтний відсік.

Відмінні особливості:

- Вбудована мнемосхема з відображенням на ній положення КА
- Всі комутаційні операції можливі лише при закритій дверці
- Наявність блокувань, для запобігання хибних дій персоналу
- Ергономічно зручна висота розташування всіх органів керування

Таблиця К.1 – Технічні параметри вимикачів:

Номінальна напруга, кВ	до 17.5
Номінальний струм, А	... 3150
Номінальний струм відключення, кА	... 40
Номінальний короткочасний струм, кА (3 с)	40
Струм електродинамічної стійкості, кА	100
Час ввімкнення, мс	< 75
Час розімкнення, мс	< 80
Вид ізоляції	Вакуум

Таблиця К.2 – Технічні параметри трансформаторів струму:

Робоча напруга, кВ	до 24
Номінальний первинний струм, А	... 4000
Номінальний вторинний струм, А	1; 5
Клас точності	0,2 – 1; 5P/10P
Номінальне навантаження, ВА	... 30
Струм електродинамічної стійкості, кА	...130
Струм термічної стійкості, кА (1; 3 с)	50

Таблиця К.2 – Технічні параметри трансформаторів напруги:

Робоча напруга, кВ	до 24
Номінальна вторинна напруга, В	до 120; $120/\sqrt{3}$
Клас точності	0.2; 0.5; 1
Номінальне навантаження, ВА	... 200



## Додаток Л

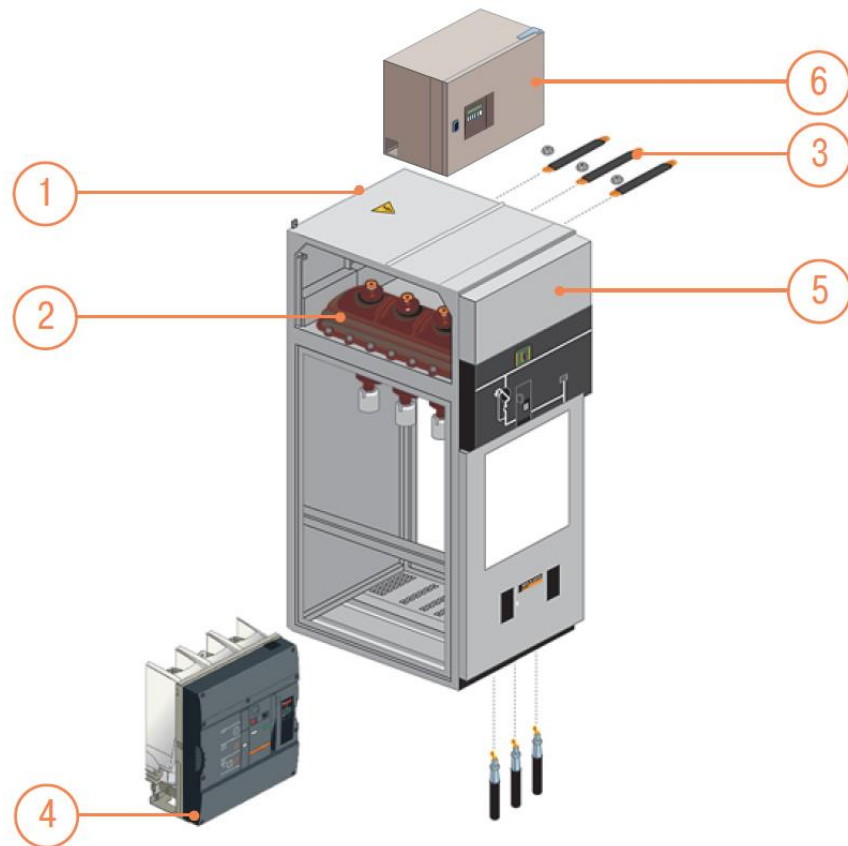


Рисунок Л.1 – Конструкція комірки SM6

де 1 – Корпус комірки;

2 – Шинний роз'єднувач;

3 – Збірні шини;

4 – Вимикач;

5 – Низьковольтний відсік;

6 – Додатковий низьковольтний відсік;

Можлива комплектація такими КА, як елегазові, вакуумні вимикачі, вимикачі навантаження, контактори і роз'єднувачі.

Застосовані такі проектні рішення:

- Підключення кабелів здійснюється спереду;
- Всі органи керування та стаціонарні показчики напруги розташовані на передній панелі;
- Механічний індикатор положення шинного роз'єднувача.

Таблиця Л.1 – Технічні параметри вимикачів Evolis:

Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	630; 1250; 2500
Номінальний струм відключення, кА	25; 31,5; 40
Струм термічної стійкості, кА (3 с)	25; 31,5; 40
Струм електродинамічної стійкості, кА	64; 80; 102
Час ввімкнення, мс	< 65
Час розімкнення, мс	< 60
Вид ізоляції	Вакуум

Таблиця Л.2 – Технічні параметри трансформаторів напруги VRQ:

Первинна напруга, кВ	$10/\sqrt{3}$
Номінальна вторинна напруга, В	$100/\sqrt{3}$
Клас точності	0.5 – 1
Номінальне навантаження, ВА	90

Таблиця Л.3 – Технічні параметри трансформаторів струму ARJ:

Найбільша робоча напруга, кВ	12
Номінальний первинний струм, А	25 ... 2500
Номінальний вторинний струм, А	1; 5
Клас точності	0,2; 0,5; 1
Номінальне навантаження, ВА	до 30
Струм термічної стійкості кА	16 – 50
Час термічної стійкості, с	1

## Додаток М

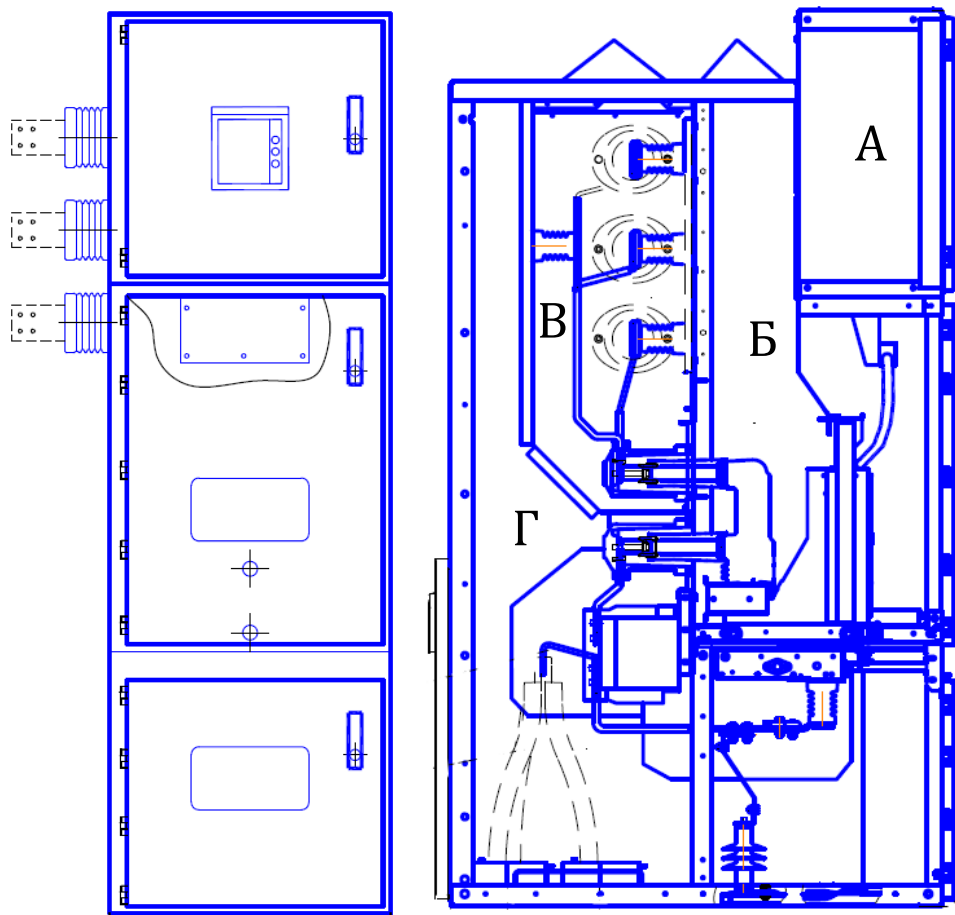


Рисунок М.1 – Конструкція комірки КУ10С

де А – Релейний відсік;

Б – Відсік висувного елемента;

В – Відсік збірних шин;

Г – Відсік трансформаторів струму та лінійних шин;

Комірки одного типу мають однакові габаритні та встановлювальні розміри і забезпечують взаємозамінність висувних елементів та комплектуючих пристроїв. Збірні шини знаходяться у верхній частині каркаса комірки і виконані з шин прямокутного перерізу. Дуговий захист виконаний за допомогою оптоволоконних датчиків дугового захисту. Конструкція комірки забезпечує можливість шинного вводу зверху або знизу, кабельного – знизу.

Таблиця М.1 – Технічні параметри вимикачів ВРС:

Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	630 ... 3150
Номінальний струм відключення, кА	20 ... 40
Струм електродинамічної стійкості, кА	52; 80; 102
Струм термічної стійкості, кА (3 с)	20 ... 40
Початкове значення діючої складової струму КЗ, кА	20 ... 40
Вміст аперіодичної складової струму КЗ, %	35; 40
Час ввімкнення, мс	90; 120
Час розімкнення, мс	35 – 50
Вид ізоляції	Вакуум

Таблиця М.1 – Технічні параметри ТС ТОЛ-10:

Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний первинний струм, А	10 ... 2000
Номінальний вторинний струм, А	5
Клас точності	0,2; 0,5; 5Р; 10Р
Номінальне навантаження, ВА	до 30
Струм термічної стійкості, кА	до 40
Струм електродинамічної стійкості, кА	до 102

Таблиця М.2 – Технічні параметри ТН ЗНОЛП:

Первинна напруга, кВ	$10000/\sqrt{3}$
Номінальна вторинна напруга, В	$100\sqrt{3}/100$
Клас точності	0,2; 0,5; 1; 3
Номінальне навантаження, ВА	30 ... 300