

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Анатолій Марченко

“12” червня 2024 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Управління, захист та автоматизація енергосистем»

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему: Релейний захист та автоматика двотрансформаторної підстанції

35/10 кВ з частковою заміною обладнання

Виконав:

Студент IV курсу, групи ЕК-01

Корзун Данило Сергійович

Керівник:

к.т.н., доцент,

Курсон Олег Іванович

Рецензент:

доцент, к.т.н., доцент,

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

Студент _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
Кафедра відновлюваних джерел енергії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій МАРЧЕНКО

«12» червня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Корзуну Данилу Сергійовичу

1. **Тема проєкту** «Релейний захист та автоматика двотрансформаторної підстанції 35/10 кВ з частковою заміною обладнання», керівник проєкту Курсон Олег Іванович, доц., к.т.н., затверджені наказом по університету від «28»05 2024р. №2121-с
2. **Термін подання** студентом проєкту 12 червня 2024р.
3. **Вихідні дані до роботи** : Схема підстанції . Матеріали науково-дослідних та проєктних організацій. Каталоги виробників обладнання. Довідкова література
4. **Перелік питань, які мають бути розроблені**: Аналіз схеми та встановленого обладнання. Розрахунки струмів короткого замикання. Заміна обладнання РП35 кВ. Релейний захист РП 35 кВ. Релейний захист трансформаторів. Релейний захист та автоматика ЗРП 10 кВ
5. Перелік графічного матеріалу *1- схема електричних з'єднань підстанції; 2- релейний захист РП 35 кВ; 3- релейний захист та автоматика ЗРП 10 кВ*
7. **Дата видачі завдання** “ 08 ” листопада 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз схеми та обладнання	30.11.2023	
2	Розрахунки струмів короткого замикання	25.12.2023	
3	Вибір обладнання та релейний РП 35 кВ.	01.03.2024	
4	Релейний захист трансформаторів	01.04.2024	
5	Релейний захист та автоматика обладнання ЗРП 10 кВ	30.04.2024	
6	Графічна частина. Оформлення роботи	10. 05.2024	

Студент

(підпис)

Данило КОРЗУН

Керівник

(підпис)

Олег КУРСОН

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2			Відгук керівника	1	
3			Рецензія	1	
4	A4	ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Пояснювальна записка	68	
5	A1	ДП 141.ЕК0107.004.ТК1	Головна схема електричних з'єднань ПС 35/10 кВ	1	
6	A1	ДП 141.ЕК0107.004.ТК2	Вибір релейного захисту РП 35 кВ	1	
7	A1	ДП 141.ЕК0107.004.ТК3	Вибір релейного захисту РП 10 кВ	1	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 141.ЕК0107.004.ДБ			
Розроб.		Корзун Д.С.			Відомість дипломного проекту	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Курсон О.І.					4	1
Н. Контр.		Шполянський О.Г.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-01		
Затв.		Марченко А. А.						

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Релейний захист та автоматика двотрансформаторної пі-
дстанції 35/10 кВ з частковою заміною обладнання»

Київ – 2024 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 68 аркушах, 42 рисунків, 21 таблиць, 3 листи графічної частини, 20 літературних посилань.

Актуальність теми – забезпечення споживачів безперервним електроживленням, захист встановленого обладнання на підстанції.

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

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

Мета дослідження – Дослідити релейний захист та автоматику підстанції 35/10 кВ та провести часткову заміну обладнання.

У дипломному проекті була досліджена підстанція напругою 35/10 кВ, розраховані струми короткого замикання при різних режимах роботи, проведена часткова заміна обладнання на підстанції.

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

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ABSTRACT

The diploma project is completed on 68 sheets, 42 figures, 21 tables, 3 sheets of the graphic part, 20 literary references.

The topicality of the topic is providing consumers with uninterrupted power supply, protection of the installed equipment at the substation.

The research object is a 35/10 kV electrical substation.

The subject of research is the relay protection and automation equipment of the 35/10 kV substation.

The purpose of the study is to study the relay protection and automation of the 35/10 kV substation and carry out a partial replacement of the equipment.

In the diploma project, a substation with a voltage of 35/10 kV was investigated, short-circuit currents were calculated at different operating modes, and partial replacement of equipment at the substation was carried out.

Keywords: SUBSTATION, SHORT CIRCUITS, TRANSFORMER, CIRCUIT BREAKER, MICROPROCESSOR PROTECTION, RELAY PROTECTION, AUTOMATIC, MAXIMUM CURRENT PROTECTION, AUTOMATIC RESERVE INJECTION, DISTRIBUTION DEVICE.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПІДСТАНЦІ ТА ЇЇ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	12
1.1 Опис головної схеми електропідстанції напругою 35/10 кВ.....	12
1.2 Обладнання, яке встановлене на електропідстанції.....	12
1.2.1 Силові трансформатори.....	12
1.2.2 Вимикачі.....	14
1.2.3 Роз'єднувачі.....	15
1.2.4 Розрядники.....	16
1.2.5 Трансформатори струму та напруги.....	16
1.2.6 Комірки напругою 10 кВ.....	18
1.2.7 Трансформатори власних потреб.....	18
1.3 Розрахунки струмів короткого замикання в режимі без навантаження...	19
1.4 Розрахунок струмів КЗ з врахуванням навантаження.....	30
Висновки.....	45
2. УДОСКОНАЛЕННЯ ТА РЗА РП 35 КВ.....	46
2.1 Заміна обладнання та перехід від ВРП 35 кВ до ЗРП 35 кВ.....	46
2.2 Вимоги до релейного захисту ліній та шин 35 кВ.....	49
2.3 Розрахунки захистів приєднань 35 кВ.....	50
2.4 Розрахунок РЗ секційного вимикача.....	52
2.5 Автоматичне повторне включення (АПВ)	53
Висновки.....	53
3. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРУ ТМН-2500/35.....	54
3.1 Захист трансформатору ТМН-2500/35.	55

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

3.2 Розрахунок уставки струмової відсічки.....	56
Висновки.....	57
4 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА РП 10 КВ.....	58
4.1 Вибір захистів для приєднань напругою 10 кВ.. ..	58
4.2 Розрахунки захистів приєднань 10 кВ.....	58
4.3 Розрахунок РЗ секційного вимикача.....	60
4.4 Реалізація захистів приєднань 10 кВ на базі пристроїв REF630 та RET630.	61
4.5 Автоматичний ввід резерву.....	62
Висновки.....	64
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

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

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

ВСТУП

Ця дипломна робота присвячена дослідженню переваг заміни застарілого релейного захисту та автоматики на сучасне мікропроцесорне обладнання в двотрансформаторних підстанціях 35/10 кВ. Метою даної роботи є обґрунтування необхідності та переваг заміни, а також розробка методів впровадження та ефективного використання мікропроцесорних систем у системах релейного захисту та автоматики.

Одним із ключових елементів в системах електрозахисту та автоматики є релейний захист, який відповідає за надійне виявлення та відключення ділянок електричних мереж у випадку виникнення несправностей чи аварійних ситуацій. Однак, з розвитком технологій та відомостей у галузі електроенергетики, традиційне релейне обладнання потребує модернізації та заміни на сучасні мікропроцесорні системи.

Зростання технологічного розвитку, а також збільшення споживання електроенергії ставлять перед електроенергетикою складні виклики, зокрема, потребу в постійному удосконаленні систем релейного захисту та автоматики.

У порівнянні з традиційними релейними системами, мікропроцесорні системи релейного захисту та автоматики відкривають широкі можливості для підвищення надійності та ефективності електромереж. Їхні переваги включають в себе вищу швидкість реакції на виникнення подій, більшу точність виявлення несправностей, а також більш гнучкі конфігураційні можливості, що дозволяють пристосувати роботу системи до конкретних умов експлуатації.

Заміна застарілого релейного захисту та автоматики на сучасне мікропроцесорне обладнання є кроком у напрямку оптимізації енергетичних систем, що відповідає вимогам сучасного розвитку та енергоефективності. Впровадження таких технологій не лише підвищує рівень надійності та безпеки електропостачання, але й сприяє зменшенню витрат на обслуговування та управління електромережами.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Результати дослідження, що представлені в цій дипломній роботі, не лише вказують на необхідність заміни застарілого обладнання, але й обґрунтовують переваги впровадження мікропроцесорних систем у системи релейного захисту та автоматики двотрансформаторних підстанцій 35/10 кВ. Дана робота ставить перед собою завдання виявлення оптимальних методів заміни та ефективного використання нових технологій з метою забезпечення стабільності та надійності роботи електричних мереж у сучасних умовах.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПІДСТАНЦІ ТА ЇЇ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Опис головної схеми електропідстанції напругою 35/10 кВ

Підстанція напругою 35/10 кВ являє собою ПС двохтрансформаторного типу, яка отримує живлення по лініям напруги 35 кВ, і має в своєму складі систему збірних шин з номінальною напругою 10 кВ.

Схема електричних з'єднань електропідстанції показана на рисунку. 1.1 та на плакаті 1.

Початкова підстанція в рамках роботи буде модернізована шляхом заміни обладнання на РП та прокладкою ще однієї живлячої кабельної лінії, яка з'єднуватиме секцію ПС напругою 35 кВ з загальною енергосистемою.

Схема ВРП - відкритого розподільчого пристрою напругою 35 кВ виконана у вигляді двох блоків типу трансформатор-лінія. Для підвищення надійності живлення в рамках модернізації прокладена друга живляча лінія.

На схемі ВРП 35 кВ встановлене таке основне обладнання: роз'єднувачі, вимикачі, відділювачі, трансформатори струму та напруги.

Схема розподільчого пристрою 10 кВ представлена одинарною системою шин з двома секціями. Секції поєднані між собою за допомогою секційного вимикача, який включає в себе систему автоматичного включення резерву. В кожній із секцій розташовані комірки, вони обладнані комутаційним обладнанням - вимикачами, роз'єднувачами та трансформаторами струму.

1.2 Обладнання, яке встановлене на електропідстанції

1.2.1 Силкові трансформатори

На підстанції встановлені трансформатори типу ТМН 2500/35У1 з регулюванням напруги під навантаженням РПН типу РНТА-35/125 та з діапазоном регулювання $\pm 4 \times 2,5\%$.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 141.ЕК0107.004.ДБ			
Розроб.		Корзун Д.С.			ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПІДСТАНЦІ ТА ЇЇ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Курсон О.І.					12	34
Н. Контр.		Шполянський О.Г.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-01		
Затв.		Марченко А. А.						

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

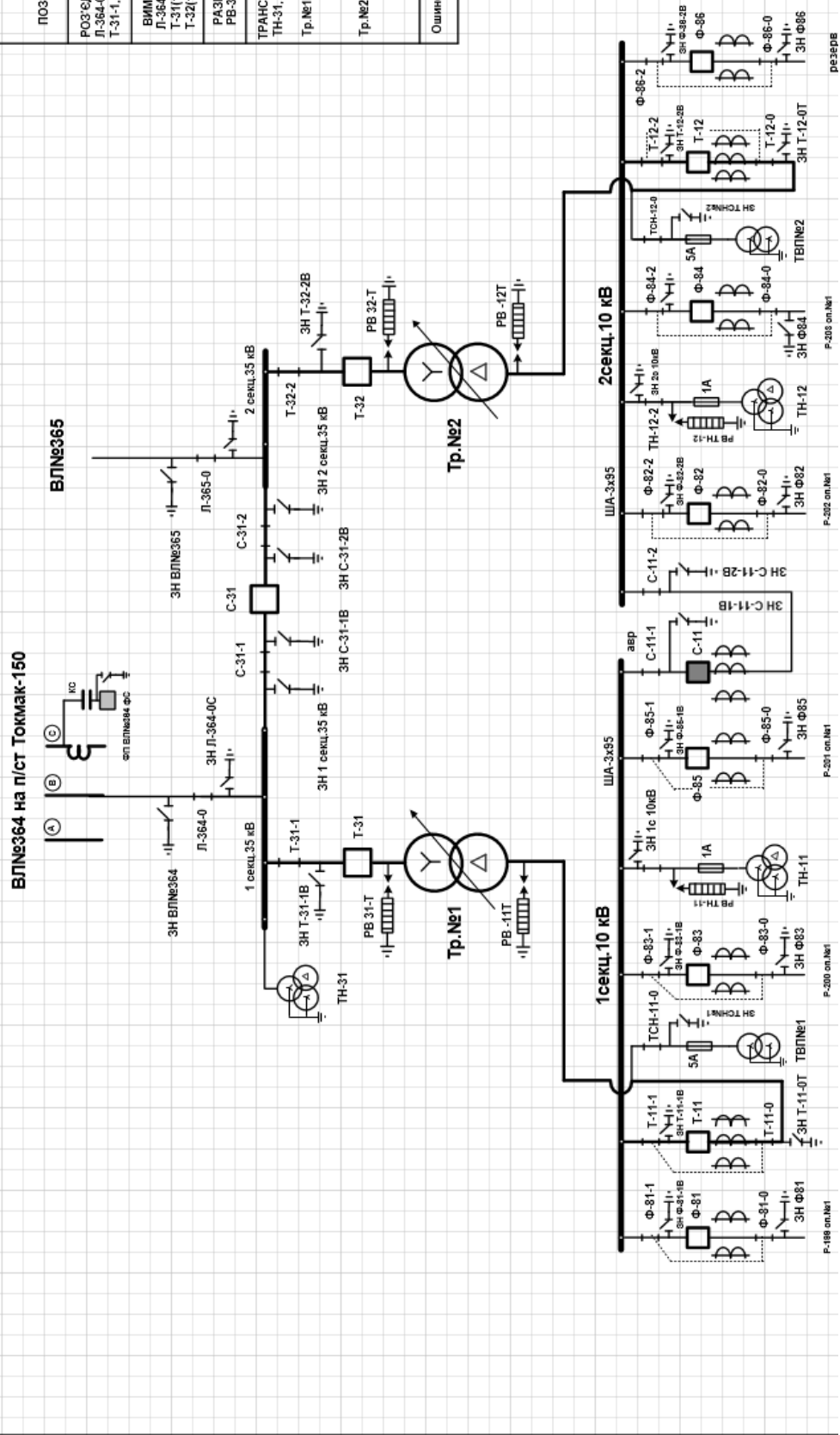


Рис.1.1 - Схема електричних з'єднань електростанції

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Основні технічні характеристики трансформаторів типу ТМН-2500/35 наведені в табл.1.1.

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

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

1.2.2 Вимикачі

У якості вимикачів по напрузі 35 кВ встановлене обладнання типу ВТ-35-630-10.5У1 з пружинним приводом ПП-67К.

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

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

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

У якості вимикачів по напрузі 10 кВ встановлене обладнання типу ВВВ-10 з пружинним приводом ПП-67К.

Основні характеристики наведені у таблиці 1.3.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

Таблиця 1.3 – Основні параметри вимикачів типу ВВВ-10 [2]

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

1.2.3 Роз'єднувачі

На підстанції встановлені трьохполюсні порцелянові роз'єднувачі типу РДЗ-2-35/1000 та трьохполюсні роз'єднувачі типу РВЗ-10/630 із заземлювачами та опорними ізоляторами.

Основні параметри роз'єднувачів типу РДЗ-2-35/1000 та РВЗ-10/630 вказані в таблицях 1.4 та 1.5 відповідно.

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

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

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

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

1.2.4 Розрядники

Для захисту силових трансформаторів від перенапруг на ПС зі сторони кожної обмотки встановлені вентиляні розрядники типу РВС -35.

В табл. 1.6 приведені технічні параметри використаних на підстанції розрядників.

Таблиця 1.6 – Параметри розрядників [1]

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

1.2.5 Трансформатори струму та напруги

В якості трансформатора напруги на ПС встановлені однофазні трансформатори напруги, що заземлюється типу ЗНОМ-35.

Основні технічні характеристики трансформаторів напруги типу ЗНОМ-35 наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 - Основні технічні характеристики трансформаторів напруги типу ЗНОМ-35 [2]

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

В якості трансформаторів струму на ПС встановлені модернізований малогабаритний вимірювальний трансформатори струму типу ТВЛМ-10 та ТВК-10.

Основні технічні характеристики трансформаторів струму типу ТВЛМ-10 та ТВК-10 наведені в табл.1.8.

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

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

1.2.6 Комірки напругою 10 кВ

На ПС прийом та розподіл електричної енергії змінного трифазного струму здійснюється через комплектний розподільний пристрій зовнішньої установки типу КРУН-10.

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

Таблиця 1.9 - Основні технічні характеристики комплектного розподільного пристрою КРУН-10

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

1.2.7 Трансформатори власних потреб

Власні потреби підстанції забезпечують два силові масляні трансформатори типу ТМ-25/10 [2].

Таблиця 1.10 - Основні технічні характеристики трансформаторів ТМ-25/10

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

1.3 Розрахунки струмів короткого замикання в режимі без навантаження

В схемі підстанції передбачити можливість живлення з двох сторін, з кожної сторони встановити вимикачі. Загальна розрахункова схема зображена на рисунку 1. Розглянути можливі режими: I3 вкл., I4 відкл. і навпаки, вимикач С-31 включений. Прийняти всі лінії повітряні. Коротке замикання в точках К1 та К2.

Розрахункова схема електричної системи наведена на рисунок 1.2.

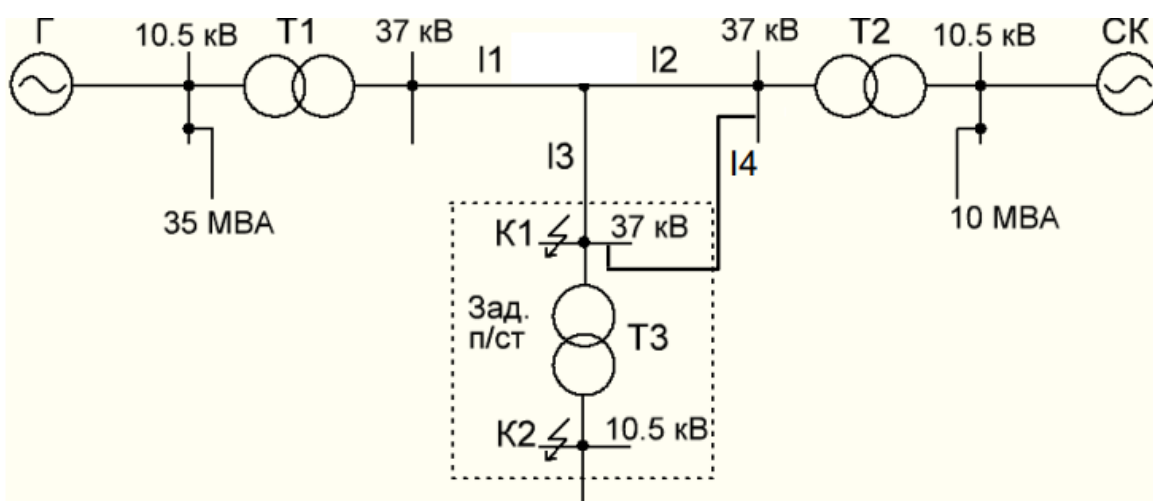


Рисунок 1.2 - Розрахункова схема електричної системи

Параметри трансформаторів, ЛЕП, генератора та синхронного компенсатора необхідні для розрахунків параметрів схеми заміщення, представлені в таблицях 1.11-1.13.

Таблиця 1.11 - Параметри ліній електропередач

Лінія	$U_{ном}$, кВ	Довжина, км	X_0 , Ом/км
I1	37	12	0.4
I2	37	12	0.4
I3	37	10	0.4
I4	37	7	0.4

Таблиця 1.12 - Параметри трансформаторів

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

Таблиця 1.13 - Параметри генератора та синхронного компенсатора

Позначення	S, МВа	X_d'' , в.о.
Г	56	0,12
СК	5	0,2

Інші вхідні дані:

Базисна потужність $S_B = 100$ МВА, напруга: $U_6 = U_{cp}$.

Параметри надперехідних ЕРС:

а) генератора - $E_G = 1,08$;

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

в) навантаження:

1) $X_H'' = 0,35$ в.о.

2) $E_H = 0,8$

Приймаємо наступні параметри в якості базових:

$$S_6 = 100 \text{ МВА}$$

$$U_{6_BH} = 37 \text{ кВ}$$

$$U_{6_HH} = 11 \text{ кВ}$$

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

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

Проведемо розрахунок без урахування навантаження.

Складаємо схему заміщення і визначаємо її основні параметри.

Вихідна схема заміщення наведена на рисунку 1.3.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

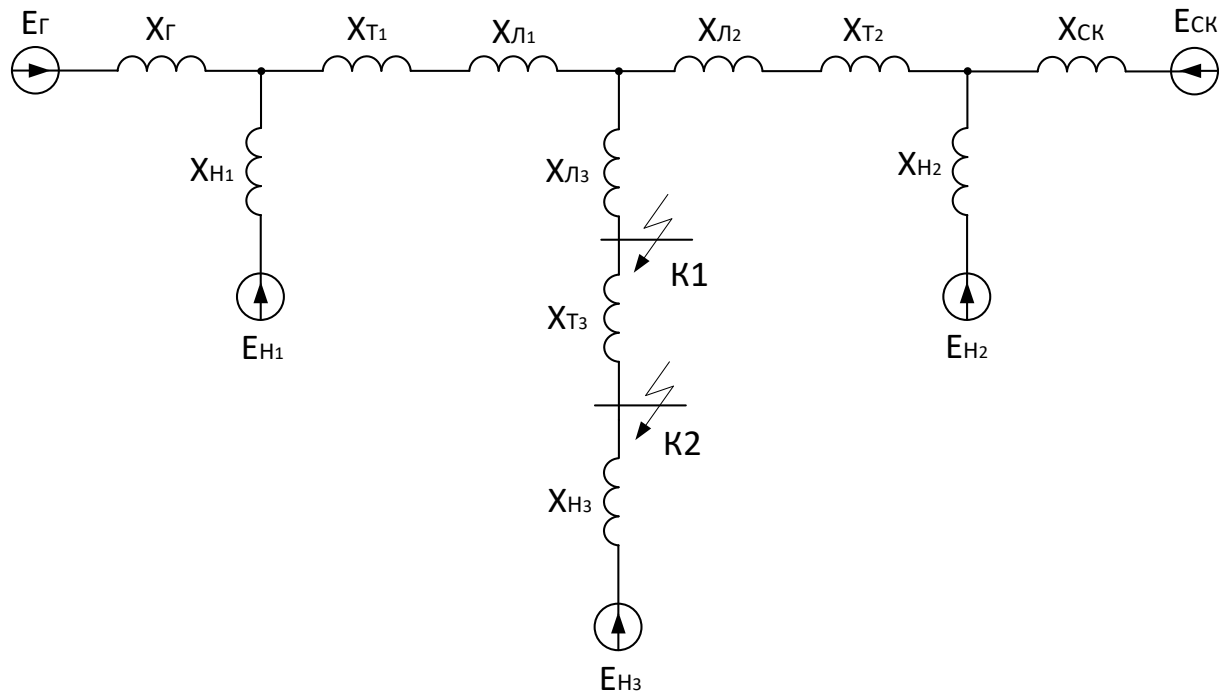


Рисунок 1.3 Схема заміщення в режимі ІЗ вимк., І4 вимк

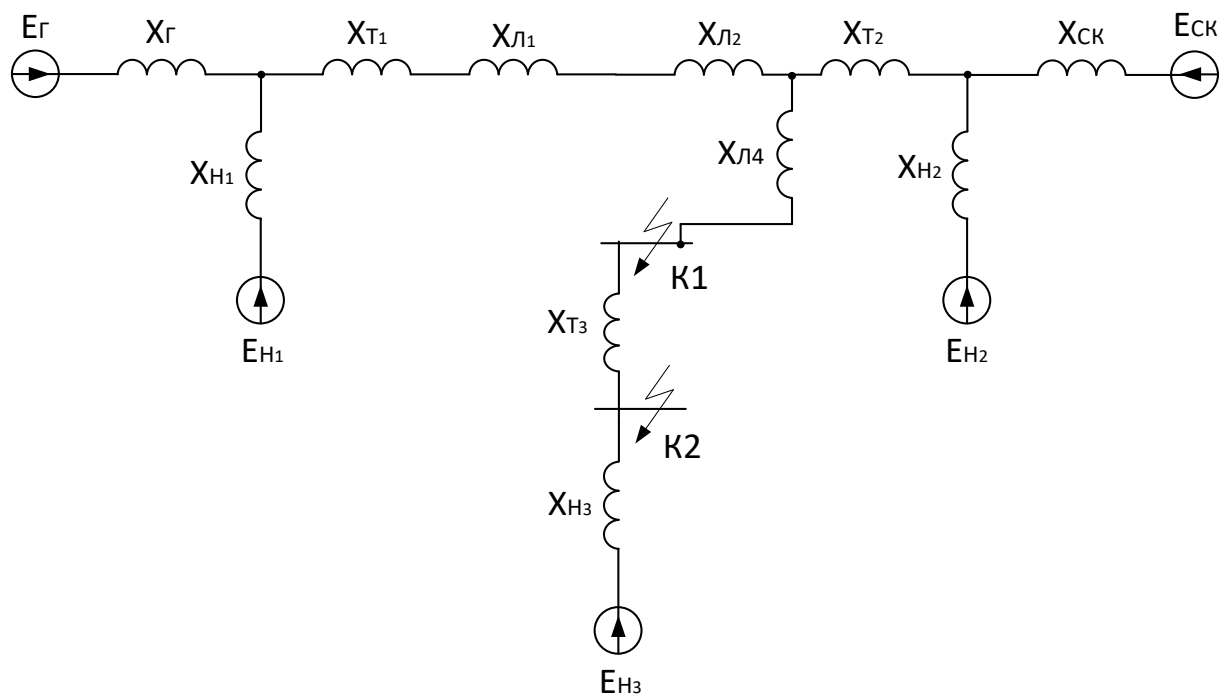


Рисунок 1.3 Схема заміщення в режимі І3 вимк, І4 вимк

Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

Двообмоткові трансформатори:

$$X_{T1} = \frac{U_{k1\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T1}} = \frac{8.5}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0.531 \text{ в. о.}$$

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$X_{T2} = \frac{U_{к2\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T2}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0.75 \text{ в. о.}$$

$$X_{T3} = \frac{U_{к3\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T3}} = \frac{6.7}{100} \cdot \frac{100}{2.5} = 2.68 \text{ в. о.}$$

Генератори:

$$X_{Г} = X''_{дГ} \cdot \frac{S_6}{S_{Г}} = 0.12 \cdot \frac{100}{56} = 0.214 \text{ в. о.}$$

Синхронні компенсатори:

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

ЛЕП:

$$X_{Л1} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_6}{U_L^2} = 0.4 \cdot 12 \cdot \frac{100}{37^2} = 0.351 \text{ в. о.}$$

$$X_{Л2} = X_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_6}{U_L^2} = 0.4 \cdot 12 \cdot \frac{100}{37^2} = 0.351 \text{ в. о.}$$

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

$$X_{Л4} = X_0 \cdot l_3 \cdot \frac{S_6}{U_L^2} = 0.4 \cdot 7 \cdot \frac{100}{37^2} = 0.205 \text{ в. о.}$$

Розрахуємо два різних випадки, в першому випадку лінія Л4 відключена і живлення здійснюється через лінію Л3, в другому випадку навпаки лінія Л3 відключена і живлення здійснюється через лінію Л4.

Розглянемо перший випадок - лінія Л4 відключена і живлення здійснюється через лінію Л3.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

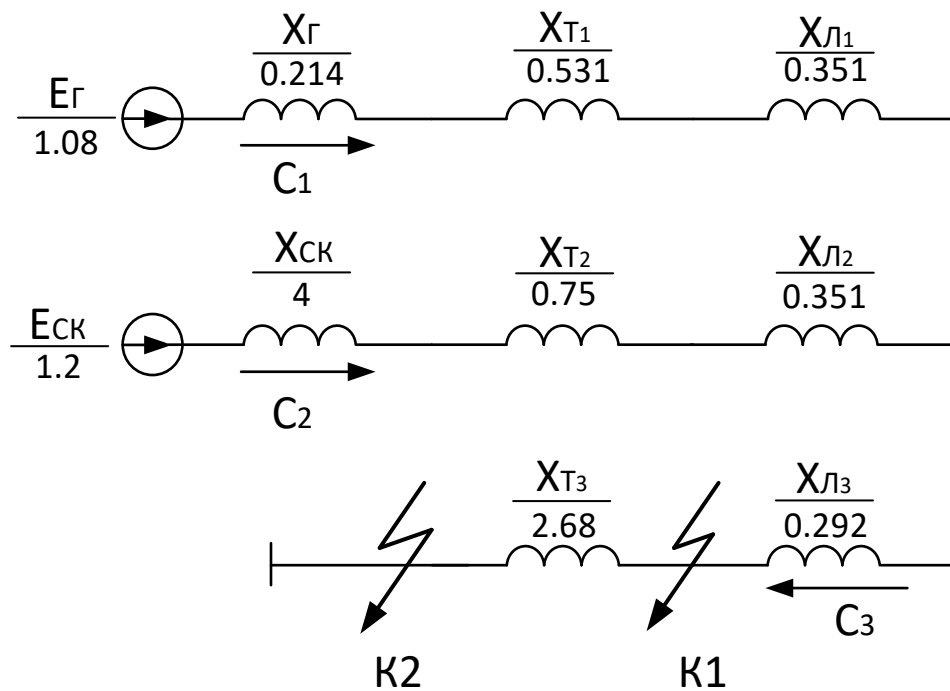


Рисунок 1.4 – Схема заміщення з визначеними параметрами, без врахування навантаження

Спрощення схеми заміщення:

$$X_1 = X_{\Gamma} + X_{T1} + X_{L1} = 0.214 + 0.531 + 0.351 = 1.096 \text{ в. о.}$$

$$X_2 = X_{СК} + X_{T2} + X_{L2} = 4 + 0.75 + 0.351 = 5.101 \text{ в. о.}$$

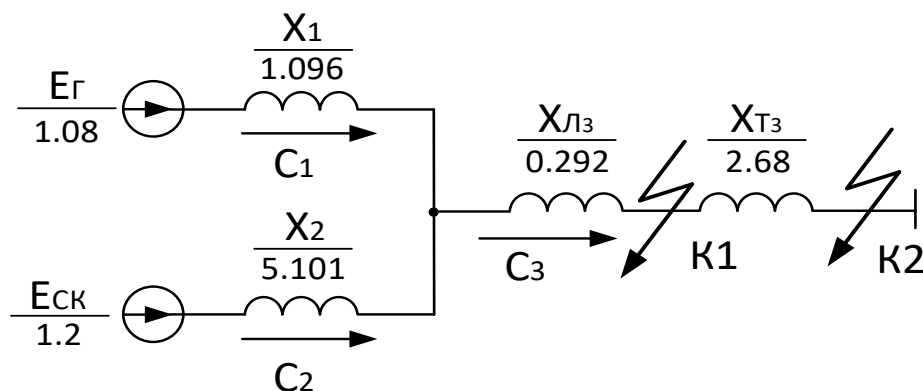


Рисунок 1.5 – На першому етапі спрощена схема заміщення

$$X_3 = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} = \frac{1.096 \cdot 5.101}{1.096 + 5.101} = 0.902 \text{ в. о.}$$

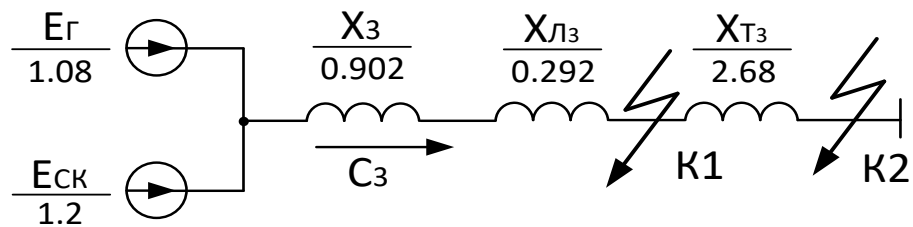


Рисунок 1.6 – На другому етапі спрощена схема заміщення

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_{\Gamma} \cdot X_2 + E_{\text{СК}} \cdot X_1}{X_1 + X_2} = \frac{1.08 \cdot 5.101 + 1.2 \cdot 1.096}{1.096 + 5.101} = 1.101 \text{ в. о.}$$

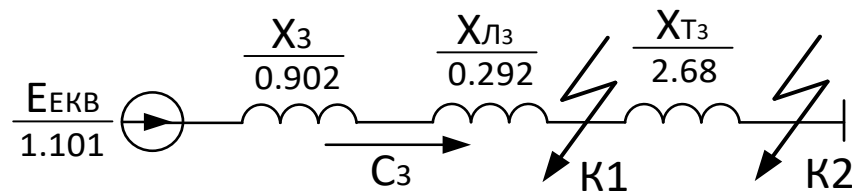


Рисунок 1.7 – На третьому етапі спрощена схема заміщення

$$X_4 = X_3 + X_{\text{ЛЗ}} = 0.902 + 0.292 = 1.194 \text{ в. о.}$$

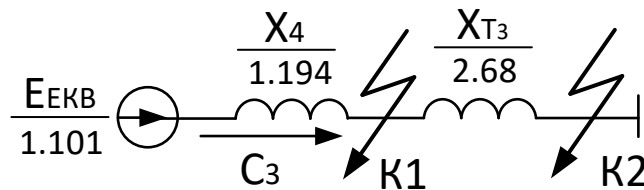


Рисунок 1.8 – На четвертому етапі спрощена схема заміщення

Для точки К1:

$$X_{\text{ЕКВ}} = X_4 = 1.194 \text{ в. о.}$$

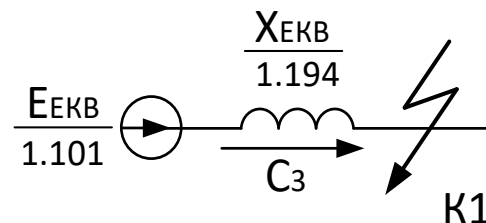


Рисунок 1.9 – Для точки К1 спрощена схема заміщення

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

$$C_3 = C = 1$$

$$C_2 = C_3 \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{1.096}{1.096 + 2.955} = 0.177$$

$$C_1 = C_3 \cdot \frac{X_2}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{5.101}{1.096 + 5.101} = 0.823$$

Перевірка:

$$C_1 + C_2 - C = 0.823 + 0.177 - 1 = 0$$

Знаходження початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I_K'' = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{1.101}{1.194} = 0.922$$

$$I_K = I_K'' \cdot I_{6_ВН} = 0.922 \cdot 1.56 = 1.439 \text{ кА}$$

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

$$T_{a_ВН} = 0.05.$$

$$i_{a_ПС} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{a_ВН}}} = \sqrt{2} \cdot 1.439 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.05}} = 0.275 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$K_{y_ПС} = 1.8.$$

$$i_{y_ПС} = \sqrt{2} \cdot K_{y_ПС} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 1.439 = 3.662 \text{ кА}$$

Для точки К2:

Спрощення схеми заміщення:

Виходячи з рисунку 1.8:

$$X_{\text{ЕКВ}} = X_{ТЗ} + X_4 = 2.68 + 1.194 = 3.874 \text{ в. о.}$$

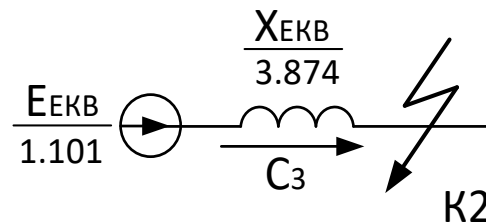


Рисунок 1.10 – Для точки К2 спрощена схема заміщення

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

$$C_3 = C = 1$$

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

$$C_2 = C_3 \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{1.096}{1.096 + 5.101} = 0.177$$

$$C_1 = C_3 \cdot \frac{X_2}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{5.101}{1.096 + 5.101} = 0.767$$

Перевірка:

$$C_1 + C_2 - C = 0.767 + 0.177 - 1 = 0$$

Знаходження початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I_K'' = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{1.101}{3.874} = 0.284$$

$$I_K = I_K'' \cdot I_{6_{\text{НН}}} = 0.284 \cdot 5.249 = 1.492 \text{ кА}$$

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

$$T_{a_{\text{НН}}} = 0.06.$$

$$i_{a_{\text{ПС}}} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{a_{\text{НН}}}}} = \sqrt{2} \cdot 1.492 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.06}} = 0.398 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_{y_{\text{ПС}}} = \sqrt{2} \cdot K_{y_{\text{ПС}}} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 1.492 = 3.798 \text{ кА}$$

Перший випадок - лінія Л3 відключена і живлення здійснюється через лінію Л4.

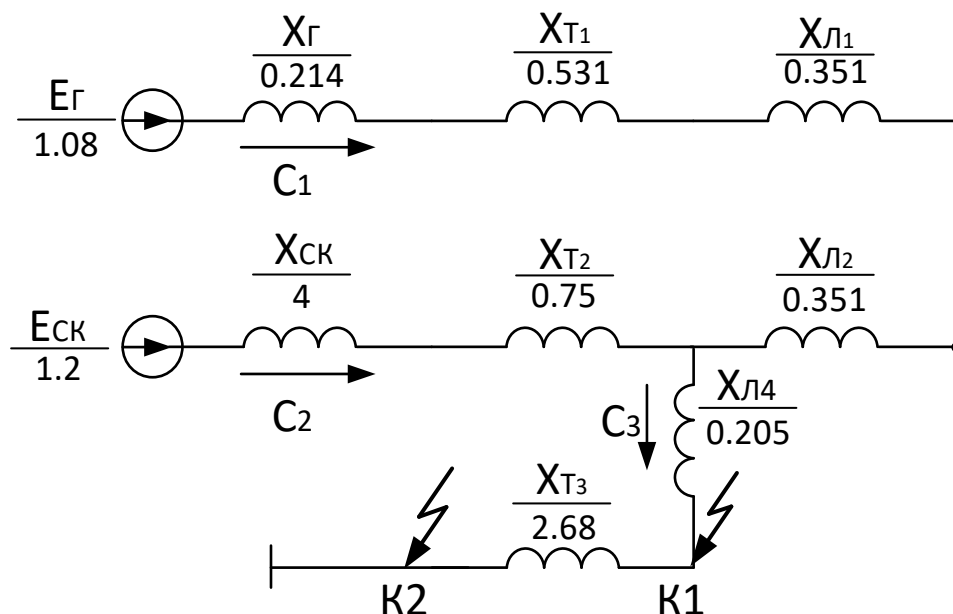


Рисунок 1.11 – Схема заміщення з визначеними параметрами

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Спрощення схеми заміщення:

$$X_1 = X_{\Gamma} + X_{T1} + X_{Л1} + X_{Л2} = 0.214 + 0.531 + 0.351 + 0.351 = 1.447 \text{ в. о.}$$

$$X_2 = X_{СК} + X_{T2} = 4 + 0.75 = 4.75 \text{ в. о.}$$

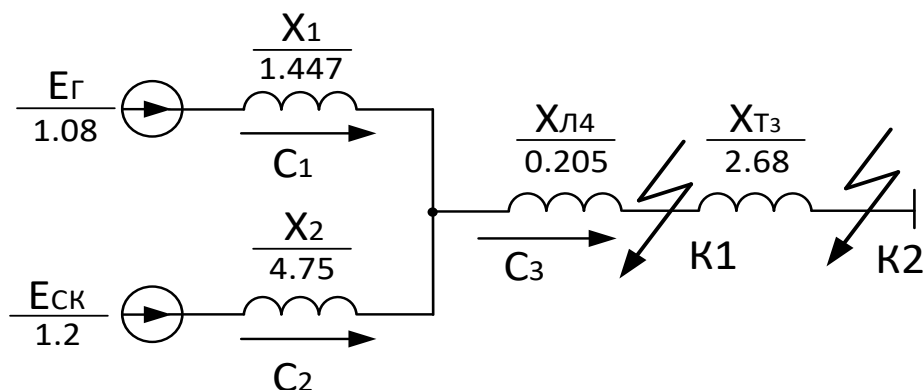


Рисунок 1.12 – На першому етапі спрощена схема заміщення

$$X_3 = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} = \frac{1.447 \cdot 4.75}{1.447 + 4.75} = 1.109 \text{ в. о.}$$

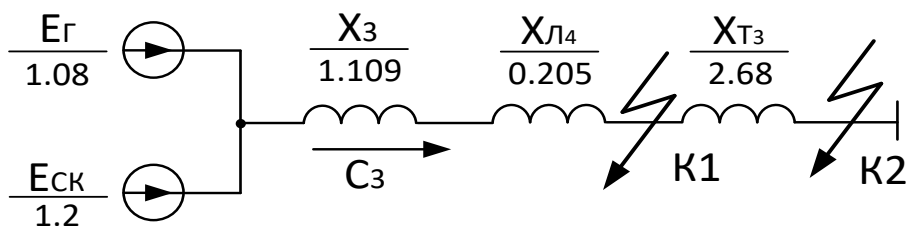


Рисунок 1.13 – На другому етапі спрощена схема заміщення

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_{\Gamma} \cdot X_2 + E_{\text{СК}} \cdot X_1}{X_1 + X_2} = \frac{1.08 \cdot 4.75 + 1.2 \cdot 1.447}{1.447 + 4.75} = 1.108 \text{ в. о.}$$

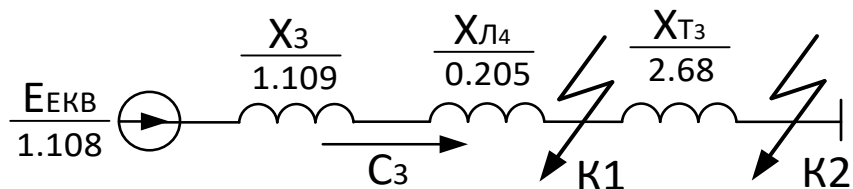


Рисунок 1.14 – На третьому етапі спрощена схема заміщення

$$X_4 = X_3 + X_{Л4} = 1.109 + 0.205 = 1.314 \text{ в. о.}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

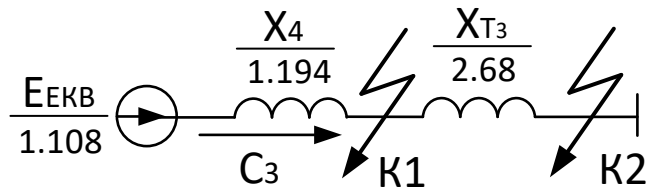


Рисунок 1.15 – На четвертому етапі спрощена схема заміщення

Для точки К1:

$$X_{\text{ЕКВ}} = X_4 = 1.314 \text{ в. о.}$$

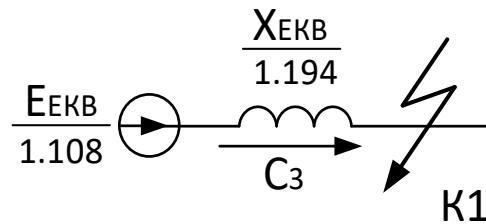


Рисунок 1.16 – Для точки К1 спрощена схема заміщення

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

$$C_3 = C = 1$$

$$C_2 = C_3 \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{1.447}{1.447 + 2.955} = 0.233$$

$$C_1 = C_3 \cdot \frac{X_2}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{5.101}{1.447 + 5.101} = 0.767$$

Перевірка:

$$C_1 + C_2 - C = 0.767 + 0.233 - 1 = 0$$

Знаходження початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I''_K = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{1.108}{1.314} = 0.844$$

$$I_K = I''_K \cdot I_{\text{б_ВН}} = 0.844 \cdot 1.56 = 1.316 \text{ кА}$$

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

$$T_{\text{а_ВН}} = 0.05.$$

$$i_{\text{а_ПС}} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{\text{а_ВН}}}} = \sqrt{2} \cdot 1.316 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.05}} = 0.252 \text{ кА}$$

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

Ударний струм:

$$K_{y_ПС} = 1.8.$$

$$i_{y_ПС} = \sqrt{2} \cdot K_{y_ПС} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 1.316 = 3.351 \text{ кА}$$

Для точки К2:

Спрощення схеми заміщення:

$$X_{\text{ЕКВ}} = X_{\text{ТЗ}} + X_4 = 2.68 + 1.314 = 3.994 \text{ в. о.}$$

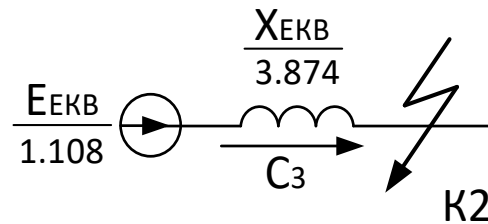


Рисунок 1.17 – Для точки К2 спрощена схема заміщення

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

$$C_3 = C = 1$$

$$C_2 = C_3 \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{1.447}{1.447 + 5.101} = 0.233$$

$$C_1 = C_3 \cdot \frac{X_2}{X_1 + X_2} = 1 \cdot \frac{5.101}{1.447 + 5.101} = 0.767$$

Перевірка:

$$C_1 + C_2 - C = 0.767 + 0.233 - 1 = 0$$

Знаходження початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I_K'' = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{1.108}{3.994} = 0.277$$

$$I_K = I_K'' \cdot I_{6_НН} = 0.277 \cdot 5.249 = 1.456 \text{ кА}$$

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

$$T_{a_НН} = 0.06.$$

$$i_{a_ПС} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{a_НН}}} = \sqrt{2} \cdot 1.492 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.06}} = 0.389 \text{ кА}$$

Ударний струм:

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

$$i_{y_PC} = \sqrt{2} \cdot K_{yPC} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 1.456 = 3.707 \text{ кА}$$

1.4 Розрахунок струмів КЗ з врахуванням навантаження

Розглядаємо режим 13 вмик., 14 вимк.

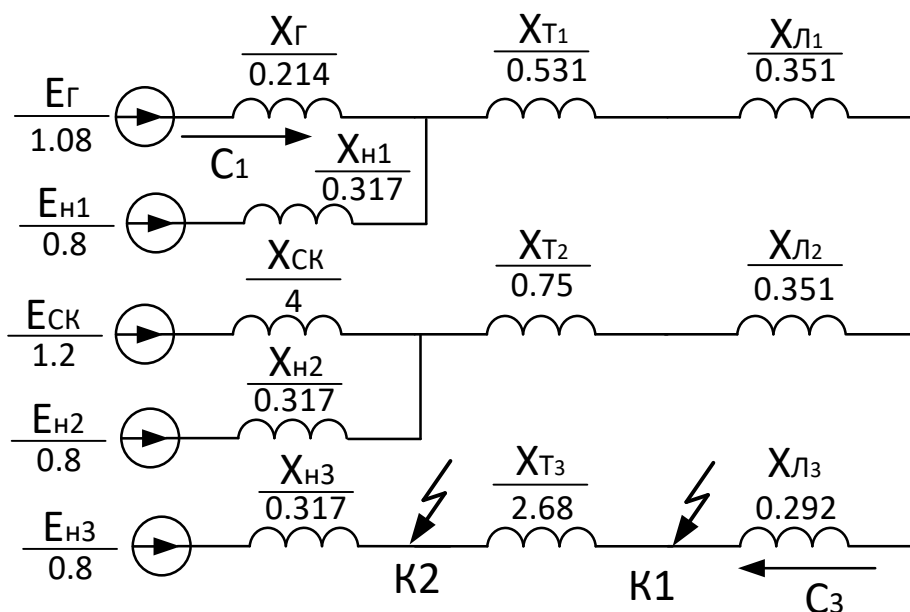


Рисунок 1.18 – Схема заміщення з визначеними параметрами після перетворень з врахуванням навантаження

Спрощення схеми заміщення:

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

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

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

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

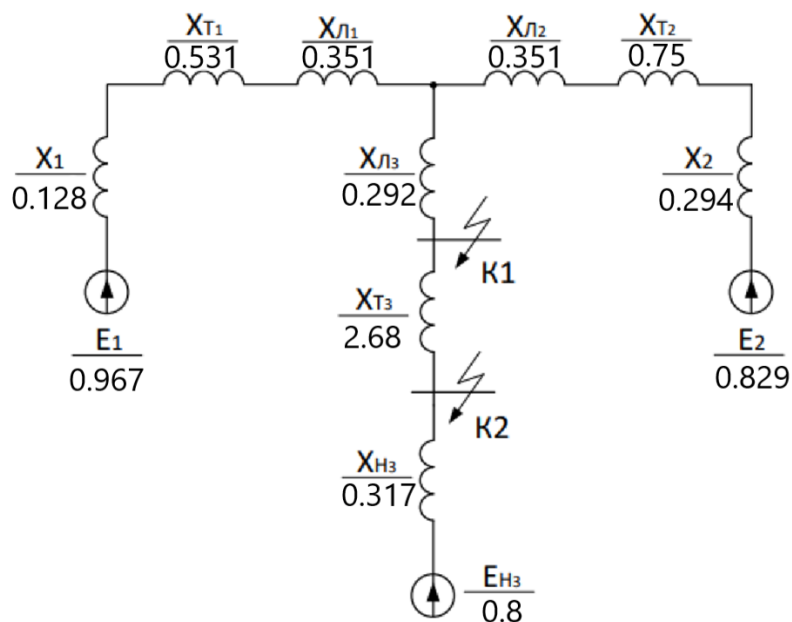


Рисунок 1.19 – Після перетворень на першому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

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

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

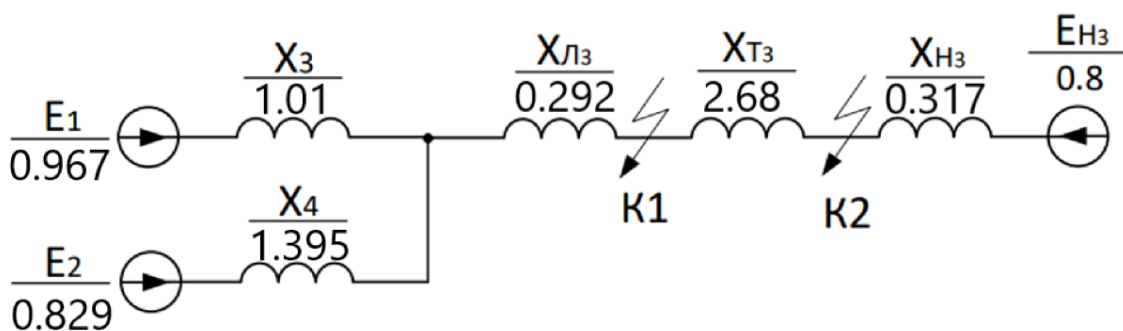


Рисунок 1.20 – Після перетворень на другому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

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

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

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

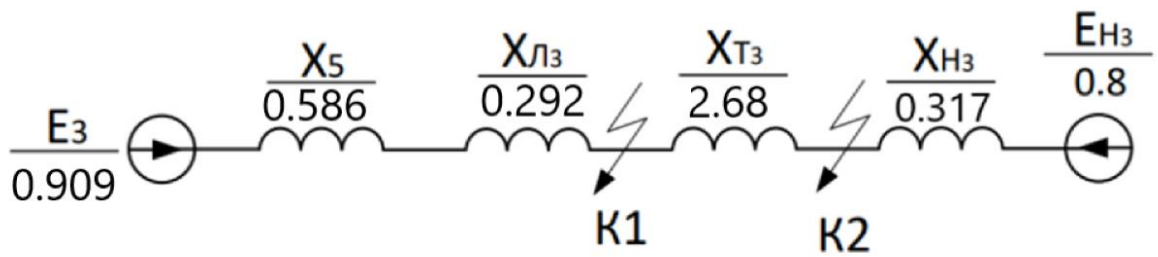


Рисунок 1.21 – Після перетворень на третьому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

Розрахунок струмів КЗ в точці К1

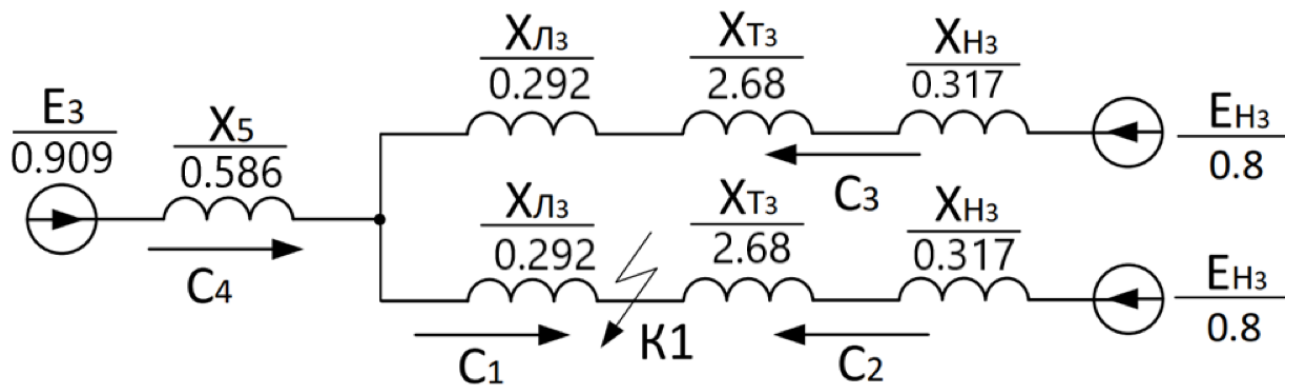


Рисунок 1.22 - Для розрахунку КЗ в точці К1 спрощена схема

Виконаємо спрощення схеми заміщення:

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

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

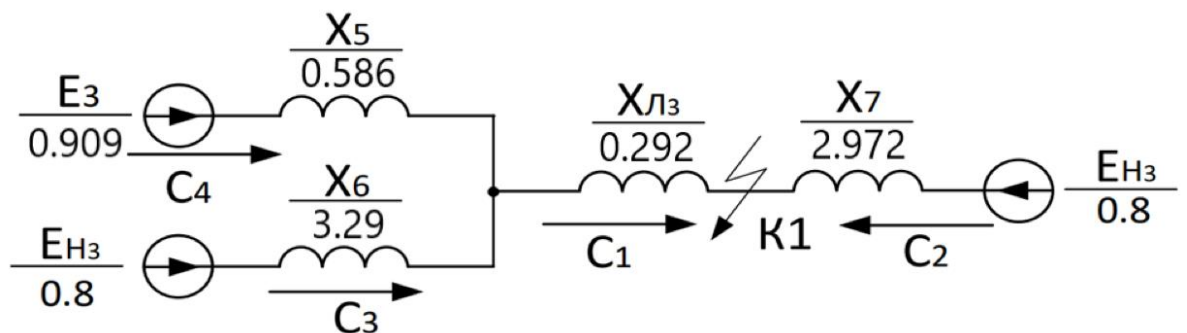


Рисунок 1.23 – Після перетворень на першому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

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

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

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

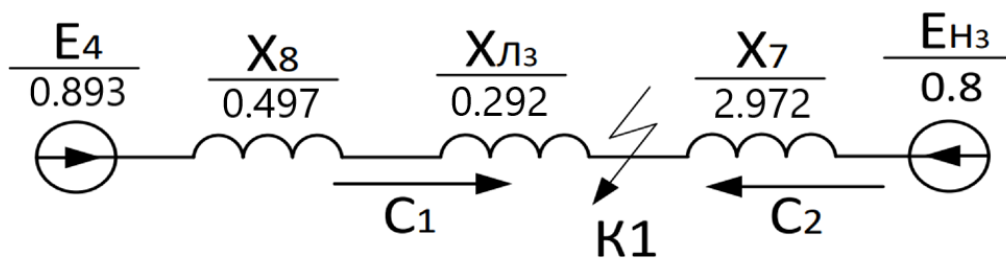


Рисунок 1.24 – Після перетворень на другому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

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

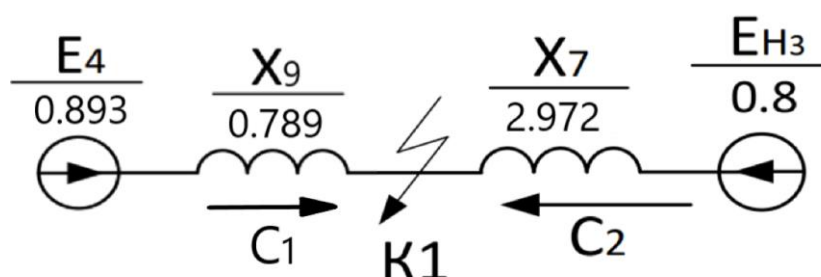


Рисунок 1.25 – Після перетворень на третьому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

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

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

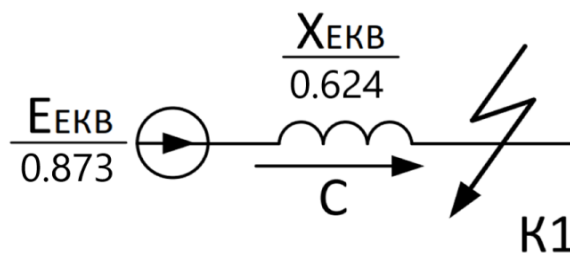


Рисунок 1.26 – Після перетворень на четвертому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

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

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

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

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

Перевірка:

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

Величина початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

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

$$I_K = I_K'' \cdot I_{6_ВН} = 1.4 \cdot 1.56 = 2.185 \text{ кА}$$

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

$$T_{a_ВН} = 0.05.$$

$$i_{a_ПС} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{a_ВН}}} = \sqrt{2} \cdot 2.185 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.05}} = 0.418 \text{ кА}$$

Ударний струм дорівнюватиме

$$K_{y_ПС} = 1.8.$$

$$i_{y_ПС} = \sqrt{2} \cdot K_{y_ПС} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 2.185 = 5.562 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів КЗ в точці К2. Спрощення схеми заміщення:

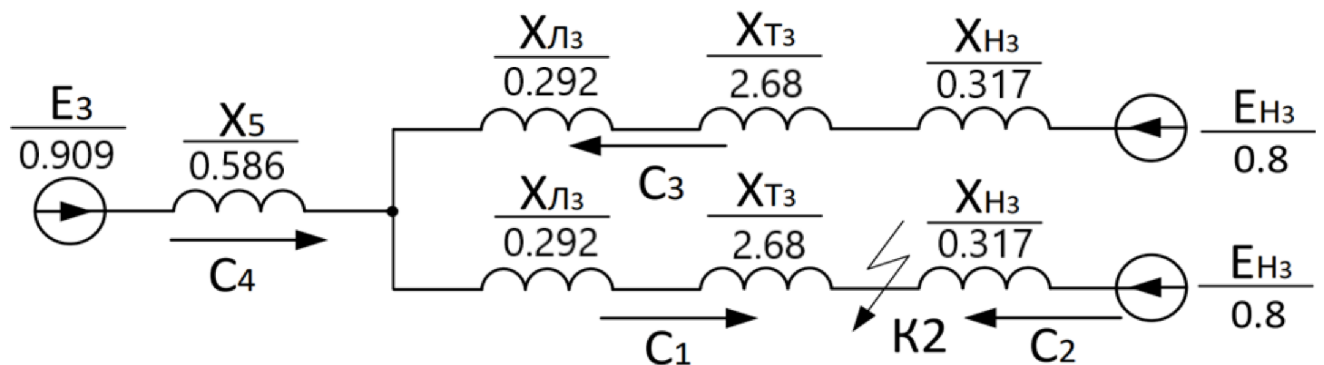


Рисунок 1.27 – В точці К2 спрощена схема для розрахунку КЗ

Виконаємо спрощення схеми заміщення:

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

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

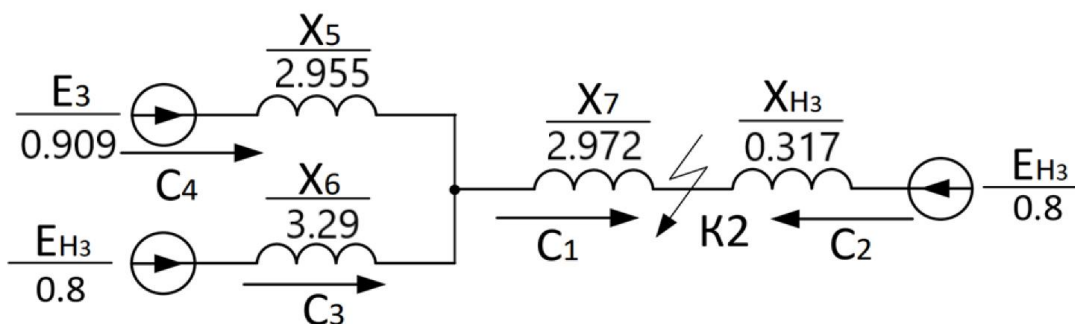


Рисунок 1.28 – Після перетворень на першому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

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

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

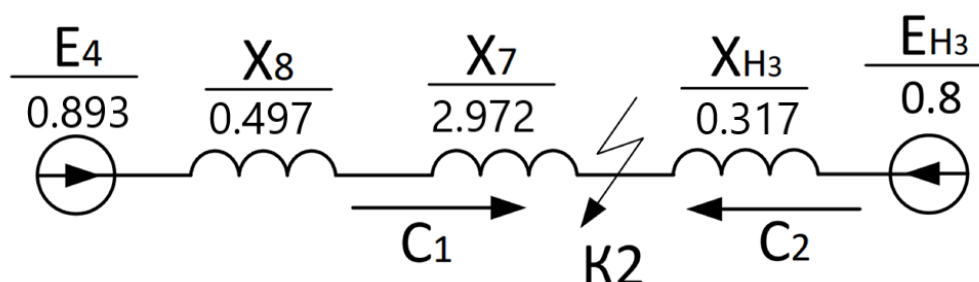


Рисунок 1.29 – Після перетворень на другому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

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

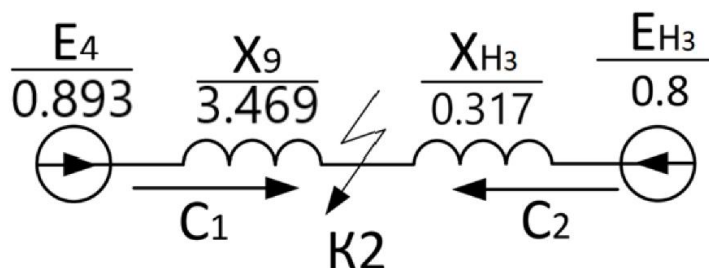


Рисунок 1.30 – Після перетворень на третьому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

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

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

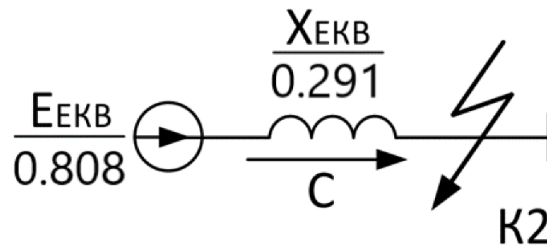


Рисунок 1.31 – Після перетворень на четвертому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

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

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

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

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

Перевірка:

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

Знаходження величини початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I''_{\text{К}} = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{0.808}{0.291} = 2.777$$

$$I_{\text{К}} = I''_{\text{К}} \cdot I_{6_{\text{НН}}} = 2.777 \cdot 5.249 = 14.577 \text{ кА}$$

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

$$T_{\text{а_ВН}} = 0.06.$$

$$i_{\text{а_ПС}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{К}} \cdot e^{-\frac{t}{T_{\text{а_ВН}}}} = \sqrt{2} \cdot 14.577 \cdot e^{-\frac{0.1}{0.06}} = 3.894 \text{ кА}$$

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

Ударний струм дорівнюватиме

$$K_{y_пс} = 1.85.$$

$$i_{y_пс} = \sqrt{2} \cdot K_{y_пс} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.85 \cdot 14.577 = 38.138 \text{ кА}$$

Розглядаємо режим 13 вимк., 14 вимк.

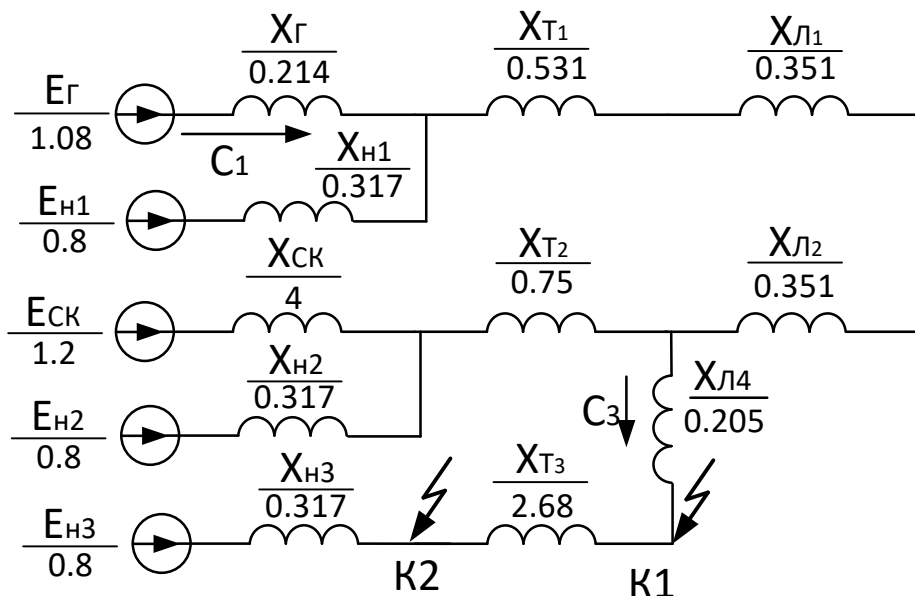


Рисунок 1.32 – Схема заміщення з визначеними параметрами після перетворень в режимі з врахуванням навантаження

Спрощення схеми заміщення:

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

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

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

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

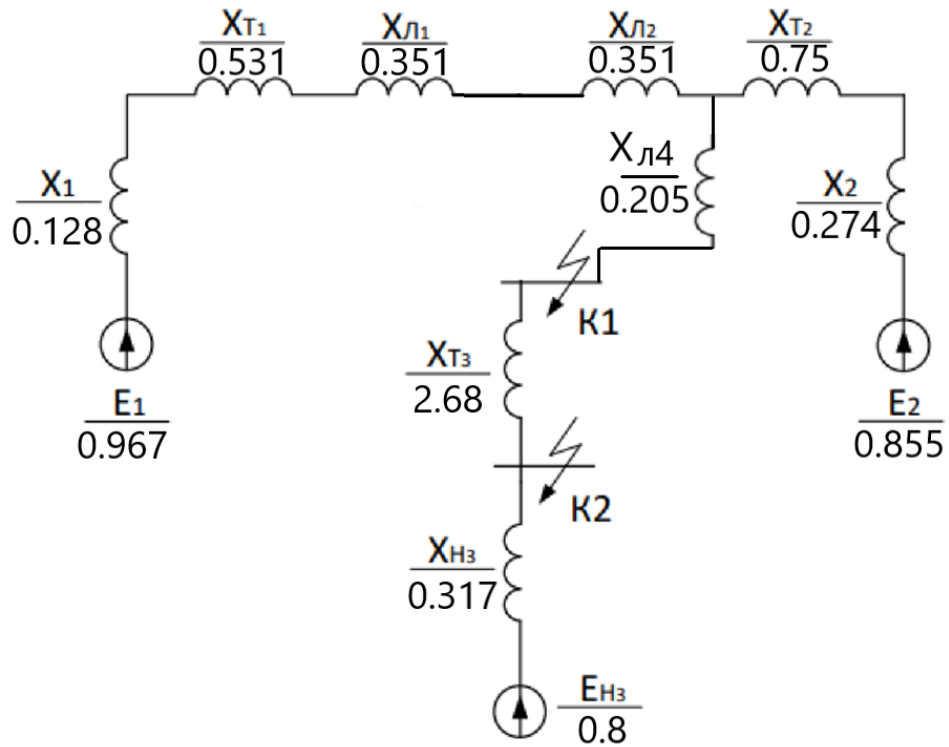


Рисунок 1.33 – На першому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення після перетворень

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

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

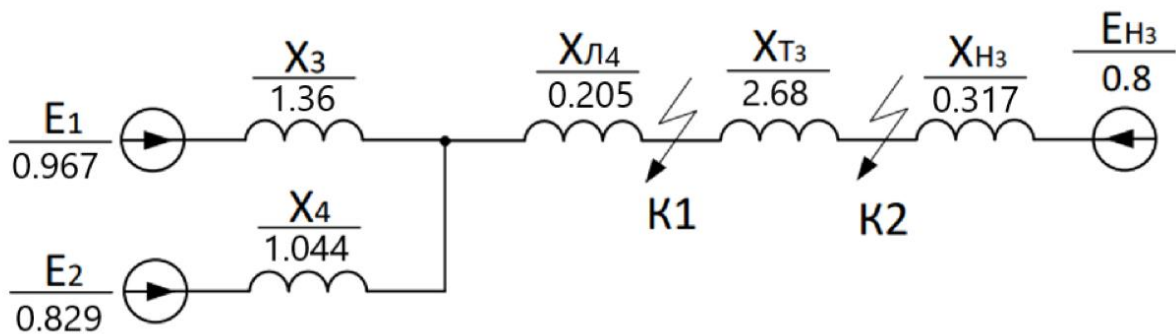


Рисунок 1.34 – На другому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення після перетворень

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

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

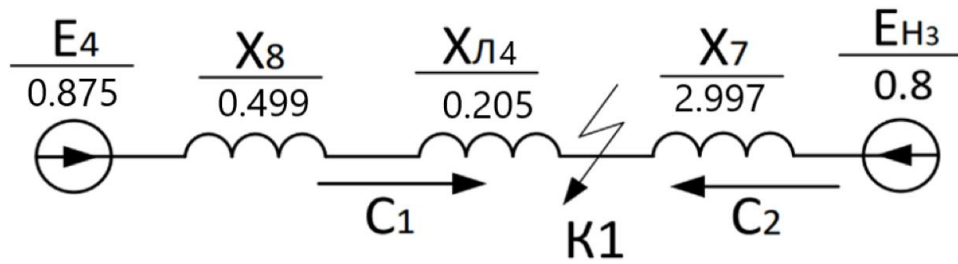


Рисунок 1.38 – На другому етапі спрощена схема заміщення після перетворень

$$X_9 = X_8 + X_{L4} = 0.499 + 0.205 = 0.703 \text{ в. о.}$$

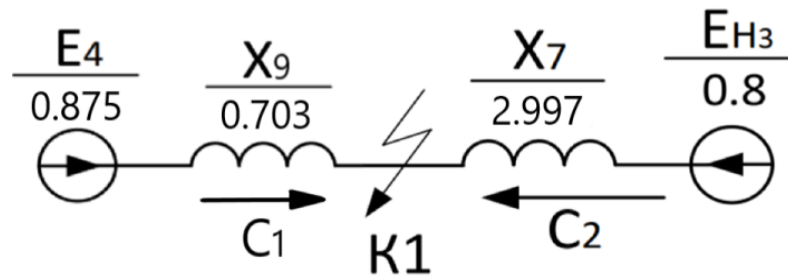


Рисунок 1.39 – На третьому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення після перетворень

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

$$E_{\text{ЕКВ}} = \frac{E_4 \cdot X_7 + E_{N3} \cdot X_9}{X_7 + X_9} = \frac{0.875 \cdot 2.997 + 0.8 \cdot 0.703}{2.997 + 0.703} = 0.861 \text{ в. о.}$$

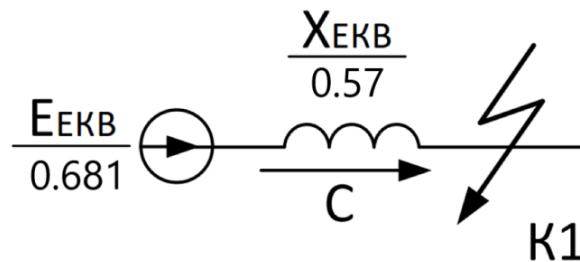


Рисунок 1.40 – На четвертому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення після перетворень

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

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

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

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

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

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

Перевірка:

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

Величина початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

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

$$I_K = I''_K \cdot I_{6_ВН} = 1.512 \cdot 1.56 = 2.559 \text{ кА}$$

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

$$T_{a_ВН} = 0.05.$$

$$i_{a_ПС} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{\frac{-t}{T_{a_ВН}}} = \sqrt{2} \cdot 2.559 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.05}} = 0.451 \text{ кА}$$

Ударний струм дорівнюватиме

$$K_{y_ПС} = 1.8.$$

$$i_{y_ПС} = \sqrt{2} \cdot K_{y_ПС} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 2.559 = 6.004 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів КЗ в точці К2. Спрощення схеми заміщення:

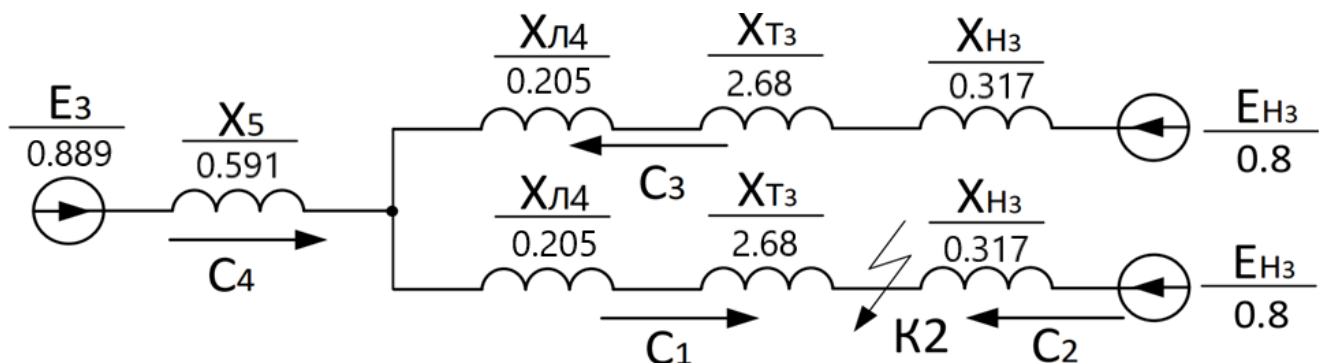


Рисунок 1.41 – В точці К2 спрощена схема для розрахунку КЗ

Виконаємо спрощення схеми заміщення:

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

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

$$X_7 = X_{T3} + X_{L4} = 2.68 + 0.205 = 2.885 \text{ в. о.}$$

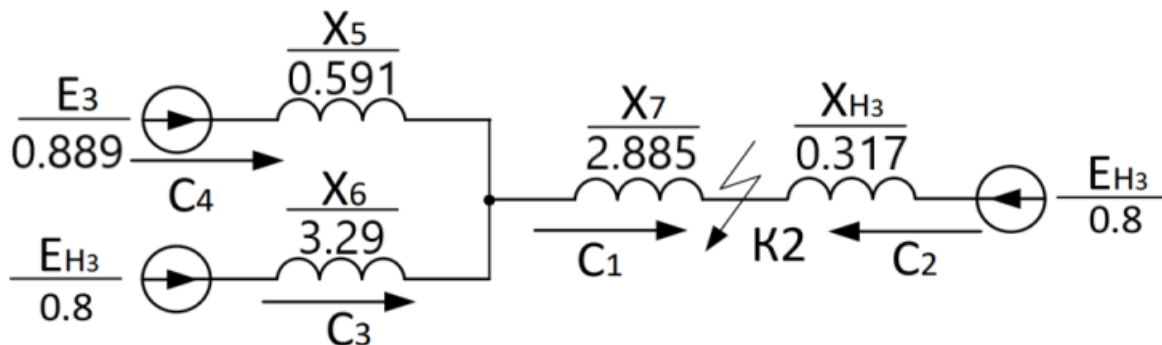


Рисунок 1.42 – На першому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення після перетворень

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

$$E_4 = \frac{E_{H3} \cdot X_5 + E_3 \cdot X_6}{X_5 + X_6} = \frac{0.8 \cdot 0.591 + 0.889 \cdot 3.29}{0.591 + 3.29} = 0.876 \text{ в. о.}$$

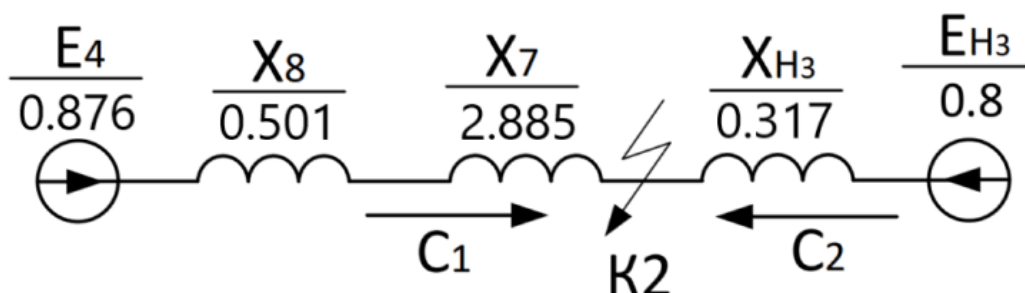


Рисунок 1.43 – На другому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення після перетворень

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

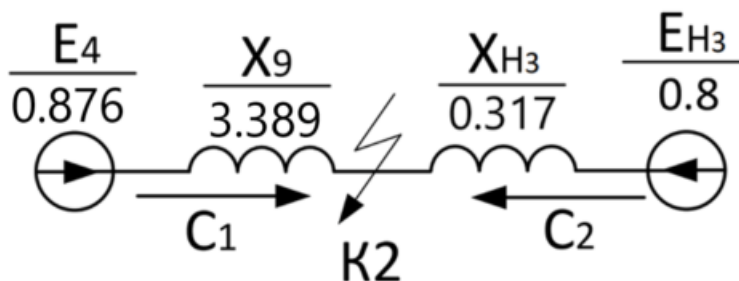


Рисунок 1.44 – На третьому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення після перетворень

$$X_{\text{ЕКВ}} = \frac{X_{H3} \cdot X_9}{X_{H3} + X_9} = \frac{0.317 \cdot 3.385}{0.317 + 3.385} = 0.29 \text{ в. о.}$$

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

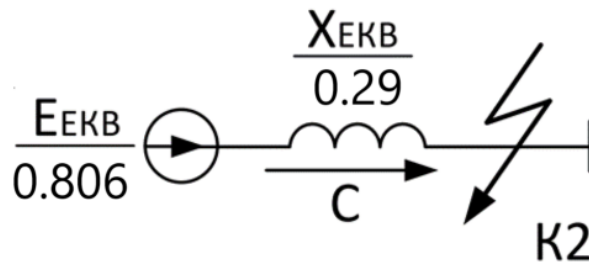


Рисунок 1.45 – На четвертому етапі еквівалентування спрощена схема заміщення після перетворень

Визначення коефіцієнтів струморозподілу:

$$C = 1$$

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

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

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

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

Перевірка:

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

Знаходження величини початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I''_{\text{К}} = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}}} = \frac{0.806}{0.29} = 2.779$$

$$I_{\text{К}} = I''_{\text{К}} \cdot I_{6_{\text{НН}}} = 2.779 \cdot 5.249 = 14.584 \text{ кА}$$

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

$$T_{\text{а_ВН}} = 0.06.$$

$$i_{\text{а_ПС}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{К}} \cdot e^{\frac{-t}{T_{\text{а_ВН}}}} = \sqrt{2} \cdot 14.584 \cdot e^{\frac{-0.1}{0.06}} = 3.896 \text{ кА}$$

Ударний струм дорівнюватиме

$$K_{\text{у_ПС}} = 1.85.$$

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$i_{y_пс} = \sqrt{2} \cdot K_{y_пс} \cdot I_K = \sqrt{2} \cdot 1.85 \cdot 14.584 = 38.157 \text{ кА}$$

Отримані результати струмів КЗ наведено в таблиці 1.14, можемо зробити висновок, що найвищими струми будуть в режимі з врахуванням навантаження. Для отриманих значень здійснимо подальші розрахунки.

Таблиця 1.14 - Результати розрахунку струмів КЗ

Назва режиму	Точка КЗ	Аперіодична складова струму i_a , кА	Початкове значення струму I_K , кА	Ударний струм i_y , кА
Без врахуванням навантаження режим 14 вимк., 13 вмик.	1	0.275	1.439	3.662
	2	0.398	1.492	3.798
Без врахуванням навантаження режим 13 вимк., 14 вмик.	1	0.252	1.316	3.351
	2	0.389	1.456	3.707
З врахуванням навантаження режим 14 вимк., 13 вмик.	1	0.418	2.185	5.562
	2	3.894	14.577	38.138
З врахуванням навантаження режим 13 вимк., 14 вмик.	1	0.451	2.559	6.004
	2	3.896	14.584	38.157

Найвище значення струмів КЗ було отримано в режимі з врахуванням навантаження при умові 13 вимк., 14 вмик. в точці 2, ці дані використаємо при виборі обладнання в наступних розділах.

Висновки

1. Розглянута підстанція виконана зі схемою «місток», початкова схема до модернізації з'єднана із загальною енергосистемою однією повітряною лінією Л1 напругою 35 кВ, на ній зі сторони ліній встановлені комутаційні прилади – вимикачі та роз'єднувачі, включає дві ступені напруги – 10 кВ та 35 кВ. ПС модернізована шляхом заміни обладнання на РП та прокладкою ще однієї живлячої кабельної лінії Л2, яка з'єднуватиме секцію ПС напругою 35 кВ з загальною енергосистемою.

2. ПС відноситься до типу двотрансформаторних, на ній встановлені два трансформатори типу ТМН-2500/35 з РПН.

3. По виконанню підстанція відкритого типу, на якій пропонується удосконалити схему, передбачити можливість живлення з двох сторін, провести часткову заміну обладнання, на РП 35 кВ замінити існуючі вимикачі (та передбачені вводи) на вакуумні в комплектних комірках переходячи від ВРП до ЗРП з мікропроцесорними пристроями РЗА.

4. Отримані результати струмів КЗ наведено в таблиці 1.14, найвищими струми будуть струми в режимі з врахуванням навантаження. Для отриманих значень будуть проведені подальші розрахунки.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

2. УДОСКОНАЛЕННЯ ТА РЗА РП 35 кВ

2.1 Заміна обладнання та перехід від ВРП 35 кВ до ЗРП 35 кВ

У зв'язку з введенням живлення по другій лінії Л2 (плакат 1) пропонується замінити існуючі вимикачі на вакуумні в комплектних комірках переходячи від ВРП до ЗРП. Заміні підлягають масляні вимикачі типу ВТ-35-630-10.5У1 на більш сучасні.

Встановлені вимикачі повинні підтримувати такі основні вимоги:

1) Номінальна напруга:

$$U_n \geq U_{уст} = 35 \text{ кВ}$$

2) В режимі відключення одного з трансформаторів – виникає струм обтяженого режиму. В випадку відключення одного з підстанційних трансформаторів, через другий трансформатор можливе протікання у двічі більшого струму за номінальний:

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

3) Струм електродинамічної стійкості:

$$I_{дин} \geq I_{уд} = 2.559 \text{ кА}$$

4) Номінальний струм відключення:

$$I_{відкл} \geq I_{кз} = 6.004 \text{ кА}$$

Виберемо обладнання виробництва фірми АВВ [5,6].

UniGear ZS3.2 [5]- серія шаф комплектних розподільних пристроїв у металевій оболонці з повітряною ізоляцією для внутрішньої установки на номінальну напругу 35 кВ. Шафи з викотними елементами, одинарною системою для збірних шин, що пройшли необхідні випробування.

Основні технічні параметри та характеристики приведені в табл. 2.1 – 2.5.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Корзун Д.С.			РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА РП 35 кВ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЧАСТКОВОЇ ЗАМІНИ ОБЛАДНАННЯ	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Курсон О.І.					46	10
Н. Контр.		Шполянський О.Г.				КП ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-01		
Затв.		Марченко А. А.						

Таблиця 2.1 – Основні технічні параметри UniGear ZS1 [5]

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

Таблиця 2.2 – Габаритні розміри базової комірки [5]

Висота, мм	2400
Ширина, мм	1200
Глибина, мм	2570
Маса, кг	1300

Таблиця 2.3 – Технічні параметри вимикачів VD4 [6]

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

Таблиця 2.4 – Технічні параметри трансформаторів струму [6]

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

Таблиця 2.5 – Технічні параметри трансформаторів напруги [6]

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

Схема ЗРП 35 кВ після реконструкції наведена на рисунку 2.1.

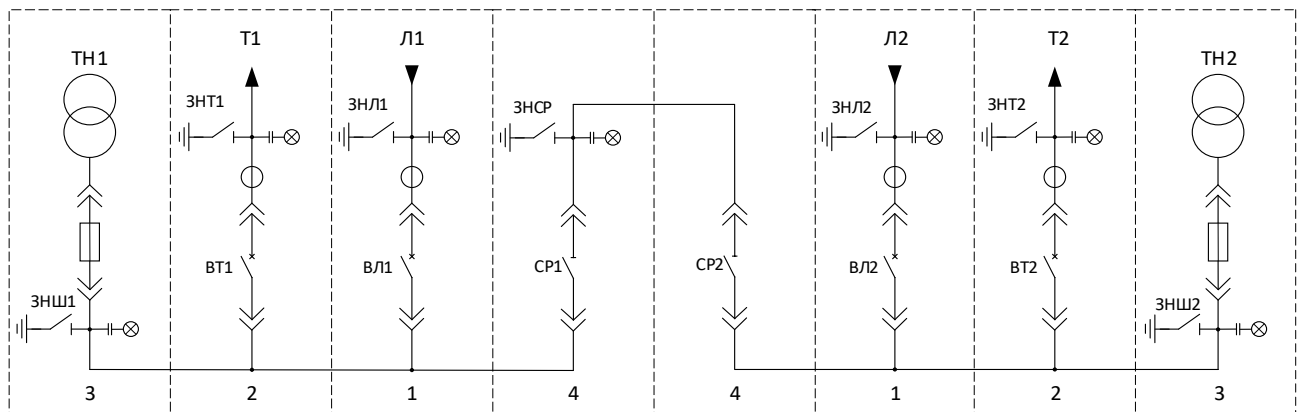


Рисунок 2.1 – Схема реконструйованого ЗРП 35 кВ

ЗРП ВН виконується за схемою «одна, секціонована роз'єднувачами, система шин» з встановленими вимикачами в колах ліній та трансформаторів.

2.2 Вимоги до релейного захисту ліній та шин 35 кВ

Для ліній напругою 35 кВ в мережі з ізольованою нейтраллю є необхідність передбачати пристрої релейного захисту від багатозафазних і однофазних замикань на землю.

Згідно з ПУЕ [4] встановлюється такі види захисту для ЛЕП напругою 35 кВ:

- струмова відсічка з витримкою часу;
- селективна струмова відсічка без витримки часу;
- автоматичне повторне включення (АПВ);
- максимальний струмовий захист.

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

Захист комірок від одно і багатозафазних КЗ на землю буде виконано конфігурацією «В» пристрою REF630, що показана на рис 2.2 [18]:

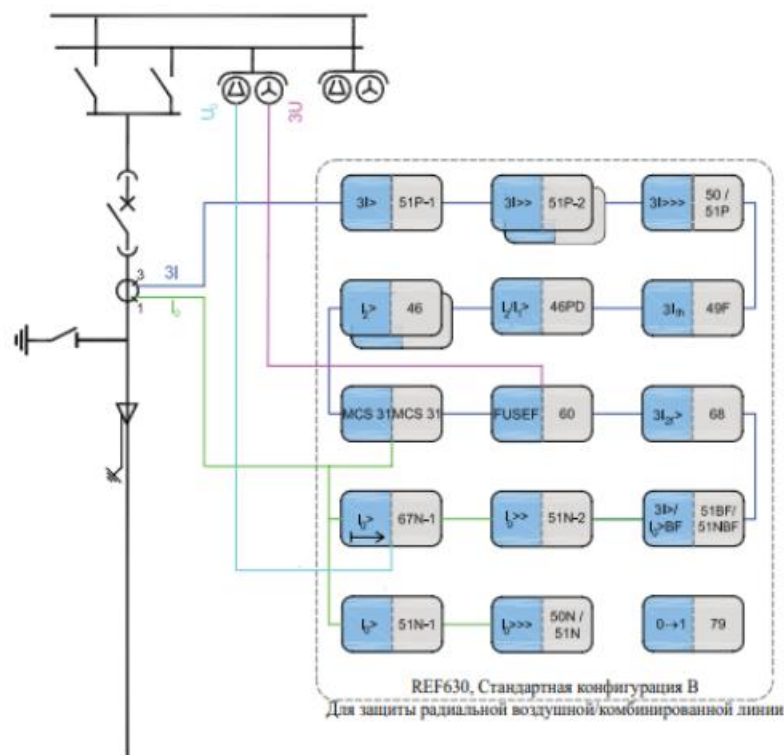


Рисунок 2.2 - Конфігурація «В» пристрою REF630

Мікропроцесорний прилад REF630 [17] забезпечує захист повітряних і кабельних ліній, пристрій REF630 [18] забезпечує захист двохобмоткових силових трансформаторів. В нашому випадку захист реалізовано конфігурацією В, при необхідності є можливість розширення додатковими функціями пристрою.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Загальний вигляд функцій захисту:

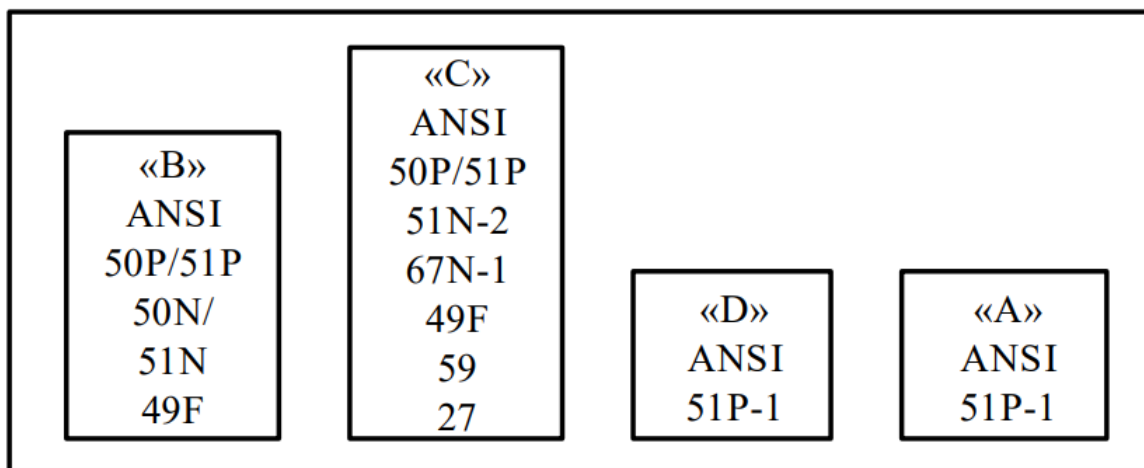


Рисунок 2.3 – Вигляд елементів РЗ на базі пристрою REF630

2.3 Розрахунки захистів приєднань 35 кВ

Для розрахунку буде використано номінальні значення первинних струмів вимірювального трансформатора струму, що становить

$$I_{\text{перв}} = 200 \text{ А}$$

1) Виконаємо розрахунок для уставки МСЗ

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

де $k_{\text{н}}$, $k_{\text{сзп}}$, $k_{\text{в}}$ - відповідні коефіцієнти по надійності, самозапуску двигунів та для повернення реле, відповідно до вимог [13].

Розрахуємо струм по спрацюванню реле:

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

де $k_{\text{сх}}$, $n_{\text{т}}$ - коефіцієнти схеми, коеф. трансформації вимірювального ТС, відповідно до вимог [13].

Знайдемо $I_{\text{КЗ.мін}}$ - струм в реле при виникненні КЗ в нормальному режимі навантаження [13]:

$$I_{\text{КЗ.мін}} = \frac{I_{\text{КЗ}} \cdot \sqrt{3}}{2} = \frac{2.559 \cdot \sqrt{3}}{2} = 2.216 \text{ кА};$$

Розрахуємо коефіцієнт чутливості:

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

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

$$3.618 > 1.5$$

розрахована чутливість відповідає потрібній [13].

Розрахуємо витримку часу:

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

де $t_{\text{с.з.н}}$ - час спрацювання захисту, що розташований нижче, а Δt – це ступінь селективності, відповідно до даних [13].

Для вимикача секції витримка по часу складає:

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

2) Проведемо розрахунок уставки для струмової відсічки.

Спочатку знаходимо опір лінії для обчислення струму КЗ, згідно з вимогами [10], [13]

$$X_{\text{Л}} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_0}{U_L^2} = 0.4 \cdot 12 \cdot \frac{100}{37^2} = 0.351 \text{ в. о.}$$

Розрахуємо струм короткого замикання в найвіддаленішій точці при максимальному навантаженні, згідно до вимог [10]:

$$I_{\text{кз.макс}} = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}} + X_{\text{Л}}} \cdot I_6 = \frac{0.873}{0.624 + 0.351} \cdot 1.56 = 1.195 \text{ кА}$$

Визначимо струм по спрацюванню відсічки та реле [13]:

$$I_{\text{с.в.}} = k_{\text{н}} \cdot I_{\text{кз.макс}} = 1.2 \cdot 1.195 = 1.434 \text{ кА}$$

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.в.}} \cdot k_{\text{сх}}}{n_{\text{T}}} = \frac{1.434 \cdot 1}{60} = 0.024 \text{ кА}$$

Розрахуємо коефіцієнт чутливості [13]:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.мін}}}{I_{\text{с.в.}}} = \frac{2.216}{1.434} = 1.545$$

$$1.545 > 1.5$$

тобто чутливість відповідає нормативу [13].

3) Виконаємо розрахунок уставки струму замикання на землю.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Розрахуємо струм замикання на землю для однієї кабельної лінії, відповідно до вимог [10]:

$$3I_{\text{кл}} = \frac{U_{\text{н}} \cdot l_{\text{л}}}{10} = \frac{37 \cdot 12}{10} = 44.4 \text{ А}$$

Розрахуємо струм замикання на землю для кабельної мережі, відповідно до вимог [10]:

$$3I_{\text{км}} = \frac{U_{\text{н}} \cdot l_{\text{м}}}{10} = \frac{37 \cdot 80}{10} = 296 \text{ А}$$

Розрахуємо струм спрацювання реле [14]:

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

Розрахуємо коефіцієнт чутливості [14]:

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

$$1.574 > 1.5$$

тобто чутливість відповідає нормативу [14].

Отримані результати розрахунків для уставок РЗ повітряних ліній наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунків для уставок РЗ повітряних ліній

МСЗ			Струмова відсічка			Захист від замикань на землю		
$I_{\text{с.з.}}, \text{А}$	$I_{\text{с.р.}}, \text{А}$	$k_{\text{ч}}$	$I_{\text{с.в.}}, \text{кА}$	$I_{\text{с.р.}}, \text{кА}$	$k_{\text{ч}}$	$3I_{\text{кл}}, \text{А}$	$I_{\text{с.з.}}, \text{А}$	$k_{\text{ч}}$
564.706	18.824	3.618	1.434	0.024	1.545	44.4	159.84	1.574

2.4 Розрахунок РЗ секційного вимикача

Струм спрацювання становитиме:

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

Струм спрацювання МСЗ становитиме:

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

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

Струм двофазного КЗ в аварійному режимі становитиме:

$$I_{\text{кз.мін}} = \frac{I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{3}}{2} = \frac{2.559 \cdot \sqrt{3}}{2} = 2.216 \text{ кА};$$

Коефіцієнт чутливості становитиме:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.мін}}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{2216}{564.706} = 3.924$$

Отримали достатню чутливість.

2.5 Автоматичне повторне включення (АПВ)

Для того, щоб успішно спрацювало повторне включення, необхідна виконуватись умова, щоб за час .що пройде від моменту відключення лінії до того моменту коли спрацьовує повторне включення і подається напруга згасла електрична дуга в місці КЗ, але також і встигли відновилися ізоляційні властивості повітря.

Витримка часу АПВ на повторне включення повинна бути більша за час деіонізації, тобто:

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

де $t_{\text{д}}$ - час деіонізації, для мереж напругою 35 кВ, $t_{\text{д}} = 0,2$ с [9];

Час спрацьовування АПВ приймається рівним в 3 с. При такій витримці в часі лінії встигають самоусунути причини, що викликали нестійке КЗ, а також пройде процес деіонізації середовища в місці виникнення короткого замикання.

Висновки

1. У зв'язку з введенням живлення по другій лінії Л2 (плакат 1) пропонується замінити існуючі вимикачі на вакуумні в комплектних комірках переходячи від ВРП до ЗРП. Заміні підлягають масляні вимикачі типу ВТ-35-630-10.5У1 на більш сучасні.

2. Вибрано обладнання виробництва фірми АВВ UniGear ZS3.2 [5].

ЗРП ВН виконується за схемою «одна, секціонована роз'єднувачами, система шин» з встановленими вимикачами в колах ліній та трансформаторів.

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

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

3. Захист комірок від одно і багатотофазних КЗ на землю виконано конфігурацією «В» пристрою REF630. Мікропроцесорний прилад REF630 [17] забезпечує захист повітряних і кабельних ліній, пристрій RET630 [18] забезпечує захист двохобмоткових силових трансформаторів. В нашому випадку захист реалізовано конфігурацією В, при необхідності є можливість розширення додатковими функціями пристрою.

4. Для розрахунку захистів приєднань 35 кВ виконано розрахунок для уставки МСЗ, розрахунок уставки для струмової відсічки, розрахунок уставки струму замикання на землю. Отримані результати розрахунків для уставок РЗ кабельних ліній наведені в таблиці.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРУ ТМН-2500/35

3.1 Захист трансформатору ТМН-2500/35

На підстанціях передбачаються спеціальні пристрої, щоб захистити трансформатори від різних аномальних режимів та пошкоджень, які можуть виникнути внаслідок впливу цих режимів. Можна виділити такі режимів та пошкоджень [12]:

- а) міжфазне КЗ на виводах трансформатора та в обмотках;
- б) струми в обмотках, при виникненні внаслідок зовнішнього короткого замикання;
- в) струми в обмотках, внаслідок виникнення перевантаження.

Для захисту трансформаторів потужністю до 6300 кВА напругою до 35 кВ, згідно ПУЕ застосовується струмова відсічка без витримки часу та максимальний струмовий захист для захисту від короткого замикання [7].

3.2 Розрахунок уставки струмової відсічки

Уставки струмових відсічок вводів ВН силових трансформаторів визначаються виходячи з таких двох умов: відсторонення дії відсічки від скачка струму намагнічування трансформатору та від реагування на КЗ, яке виникає на шинах НН [5].

Уставку відсічок визначимо за такими формулами:

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

де $k_{\text{над1}}$ – коефіцієнт надійності, що дорівнює 1.2;

$I_{\text{кз(III)}}^{\text{НН}}$ – струм трифазного КЗ на шині з боку НН, кА;

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

де $k_{\text{над2}}$ – коефіцієнт надійності, що дорівнює 4;

$I_{\text{ном.тр}}$ – ном. струм ВН обмотки трансформатору, кА;

За уставку приймається найбільше із розрахованих значень.

Обчислимо ном. струм обмоток ВН силових трансформаторів:

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Корзун Д.С.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Курсон О.І.				56	3
Н. Контр.		Шполянський О.Г.			КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-01		
Затв.		Марченко А. А.					

$$I_{\text{НОМТВН}} = \frac{S_{\text{ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМВН}}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 35} = 41.239 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМТВН}} = \frac{S_{\text{ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМНН}}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 35} = 564.706 \text{ А};$$

де $S_{\text{ТР}}$ – це потужність трансформатора, кВА; $U_{\text{НОМВН}}$ – номінальна напруга з боку ВН, кВ; $U_{\text{НОМНН}}$ – номінальна напруга з боку НН, кВ;

Уставку струмової відсічки дорівнюватиме:

$$I_{\text{СВ}} = k_{\text{Над1}} \cdot I_{\text{кЗНН}} = 1.2 \cdot 2.559 = 3.071 \text{ кА};$$

$$I_{\text{СВ}} = k_{\text{Над2}} \cdot I_{\text{НОМВН}} = 4 \cdot 41.239 = 164.956 \text{ А};$$

З розрахованих значень обираємо найбільше $I_{\text{СВ}} = 3.071 \text{ кА}$.

Уставка захисту від перевантаження розраховується за формулою:

$$I_{\text{СВ}} = k_{\text{Від}} \cdot I_{\text{НОМ. тр}} / k_{\text{ПОВ}},$$

де $k_{\text{Від}}$ – коефіцієнт відстроювання, що дорівнює 1.05;

Визначимо уставку захисту від перенавантажень:

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

3.3 Розрахунок уставок максимального струмового захисту

Струм спрацювання МСЗ вибирається за умовою відбудови від номінального струму трансформатора:

$$I_{\text{СЗ}} = \frac{k_{\text{Н}} \cdot k_{\text{СЗП}}}{k_{\text{П}}} \cdot I_{\text{Н}}$$

де: $k_{\text{Н}}$ - коефіцієнт надійності;

Для $k_{\text{П}}=0,97$ [18]- коефіцієнт повернення.

$I_{\text{Н}}$ - номінальний струм відповідної сторони трансформатора;

$k_{\text{СЗП}}$ – коефіцієнт самозапуску електродвигунів;

Для підстанції такого типу $k_{\text{СЗП}} = 1,1$;

Розрахунок від перевантаження зі сторони 35 кВ:

$$I_{\text{С.З.}} = \frac{1,2 \cdot 1,1}{0,97} \cdot 41.239 = 56.119 \text{ А}$$

Розрахунок від перевантаження зі сторони 10 кВ:

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$I_{с.з.} = \frac{1,2 \cdot 1,1}{0,97} \cdot 564.706 = 768.466 \text{ A}$$

Первинний струм спрацювання:

$$I_{сз0} = K_B \cdot I_{н60} = 1,25 \cdot 87,5 = 109,375 \text{ A}$$

$K_B = 1,25$ – коеф. відбудування [18]

Уставка МСЗ нульової послідовності зі сторони 35 кВ.

Струм небалансу 0-вої послідовності дорівнює:

$$I_{н60} = K_{НБ} \cdot I_{кз} = 0,05 \cdot 6004 = 300.2 \text{ A}$$

Первинний струм спрацювання дорівнює:

$$I_{сз0} = K_B \cdot I_{н60} = 1,25 \cdot 300.2 = 375.25 \text{ A}$$

$K_B = 1,25$ – коеф. відбудови [18]

Уставка МСЗ нульової послідовності зі сторони напругою 10 кВ.

Струм спрацювання дорівнює:

$$I_{сз} = \frac{K_B \cdot K_{сзп}}{K_{п}} \cdot I_{кз} = \frac{1,2 \cdot 1,2}{0,95} \cdot 14584 = 22001.274 \text{ A}$$

$K_B = 1,2$ – коеф. відбудови,

$K_{п} = 0,95$ – коеф. повернення,

$K_{сзп} = 1,2$ – коеф. самозапуску

$$1,5 \leq K_q = \frac{\sqrt{3}/2 \cdot I_{к4}}{I_{сз}} = \frac{\sqrt{3}/2 \cdot 38157}{22001.274} = 1.502$$

Чутливість виконана.

Висновки:

Для захисту трансформаторів ТМН-2500/35 згідно ПУЕ застосовується струмова відсічка без витримки часу та максимальний струмовий захист для захисту від короткого замикання. Уставки струмових відсічок вводів ВН силових трансформаторів визначались по умовам: відсторонення дії відсічки від скачка струму намагнічування трансформатору та від реагування на КЗ, яке виникає на шинах НН.

З розрахованих значень обираємо найбільше значення уставки струмової відсічки $I_{св} = 3.071$ кА. Визначино уставку захисту від перенавантажень, яка становить $I_{св} = 45.58$ А. Також розрахована уставка для МСЗ.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА РП 10 КВ

4.1 Вибір захистів для приєднань напругою 10 кВ

Для кабельних ліній з напругою 10 кВ повинно бути передбачено пристрої релейного захисту та автоматики від однофазних КЗ на землю та багатofазних КЗ. Від таких пошкоджень передбачено МСЗ, також повинно забезпечити наявність струмової відсічки та захисту від однофазних КЗ на землю. [7]

Для трансформаторів з потужністю нижче 1000 кВА від багатofазних коротких замикань повинен бути встановлений МСЗ. [7]

4.2 Розрахунки захистів приєднань 10 кВ

Для розрахунку буде використано номінальні значення первинних струмів вимірювального трансформатора

$$I_{\text{перв}} = 200 \text{ А}$$

$$I_{\text{перв}} = 100 \text{ А}$$

1) Виконаємо розрахунок для уставки МСЗ

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

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

де $k_{\text{н}}$, $k_{\text{сзп}}$, $k_{\text{в}}$ - відповідні коефіцієнти по надійності, самозапуску двигунів та для повернення реле, відповідно до вимог [13].

Розрахуємо струм по спрацюванню реле:

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

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

де $k_{\text{сх}}$, $n_{\text{т}}$ - коефіцієнти схеми, коеф. трансформації вимірювального ТС, відповідно до вимог [13].

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	Корзун Д.С.				РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА РП 10 КВ	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	Курсон О.І.						59	7
<i>Н. Контр.</i>	Шполянський О.Г.					КП ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-01		
<i>Затв.</i>	Марченко А. А.							

Знайдемо $I_{\text{КЗ.мін}}$ - струм в реле при виникненні КЗ в нормальному режимі навантаження [13]:

$$I_{\text{КЗ.мін}} = \frac{I_{\text{КЗ}} \cdot \sqrt{3}}{2} = \frac{14.584 \cdot \sqrt{3}}{2} = 12.63 \text{ кА};$$

Розрахуємо коефіцієнт чутливості:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ.мін}}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{12630}{564.706} = 22.366$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ.мін}}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{12630}{282.353} = 44.731$$

$$22.366; 44.731 > 1.5$$

розрахована чутливість відповідає потрібній [13].

Розрахуємо витримку часу:

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

де $t_{\text{с.з.н}}$ - час спрацювання захисту, що розташований нижче, а Δt – це ступінь селективності, відповідно до даних [13].

Для вимикача секції витримка по часу складає:

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

2) Проведемо розрахунок уставки для струмової відсічки.

Спочатку знаходимо опір лінії для обчислення струму КЗ, згідно з вимогами [10], [13].

$$X_{\text{Л}} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_6}{U_L^2} = 0.4 \cdot 12 \cdot \frac{100}{10.5^2} = 0.98 \text{ в. о.}$$

Розрахуємо струм короткого замикання в найвіддаленішій точці при максимальному навантаженні, згідно до вимог [10]:

$$I_{\text{КЗ.макс}} = \frac{E_{\text{ЕКВ}}}{X_{\text{ЕКВ}} + X_{\text{Л}}} \cdot I_6 = \frac{0.808}{0.282 + 0.98} \cdot 5.249 = 3.361 \text{ кА}$$

Визначимо струм по спрацюванню відсічки та реле [13]:

$$I_{\text{с.в.}} = k_{\text{н}} \cdot I_{\text{КЗ.макс}} = 1.2 \cdot 3.361 = 4.033 \text{ кА}$$

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.в.}} \cdot k_{\text{сх}}}{n_{\text{Т}}} = \frac{4.033 \cdot 1}{60} = 0.067 \text{ кА}$$

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		60

Розрахуємо коефіцієнт чутливості [13]:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ.мін}}}{I_{\text{с.в.}}} = \frac{12.63}{4.033} = 3.132 > 1.5$$

тобто чутливість відповідає нормативу [13].

3) Виконаємо розрахунок уставки струму замикання на землю.

Розрахуємо струм замикання на землю для однієї кабельної лінії, відповідно до вимог [10]:

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

Розрахуємо струм замикання на землю для кабельної мережі, відповідно до вимог [10]:

$$3I_{\text{км}} = \frac{U_{\text{н}} \cdot l_{\text{м}}}{10} = \frac{10.5 \cdot 80}{10} = 84 \text{ А}$$

Розрахуємо струм спрацювання реле [14]:

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

Розрахуємо коефіцієнт чутливості [14]:

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

тобто чутливість відповідає нормативу [14].

Отримані результати розрахунків для уставок РЗ кабельних ліній наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків для уставок РЗ кабельних ліній

	МСЗ			Струмова відсічка			Захист від КЗ на землю		
	$I_{\text{с.з.}}, \text{А}$	$I_{\text{с.р.}}, \text{А}$	$k_{\text{ч}}$	$I_{\text{с.в.}}, \text{кА}$	$I_{\text{с.р.}}, \text{А}$	$k_{\text{ч}}$	$3I_{\text{кл}}, \text{А}$	$I_{\text{с.з.}}, \text{А}$	$k_{\text{ч}}$
Для $I_{\text{перв}} = 200 \text{ А}$	564.706	18.824	22.366	4.033	67.021	3.132	12.6	45.36	1.667
Для $I_{\text{перв}} = 100 \text{ А}$	282.353	9.412	44.731						

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ					Арк.
										61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата						

4.3 Розрахунок РЗ секційного вимикача

Струм спрацювання становитиме:

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

Струм спрацювання МСЗ становитиме:

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

Струм двофазного КЗ в аварійному режимі становитиме:

$$I_{кз.мін} = \frac{I_{кз} \cdot \sqrt{3}}{2} = \frac{14.584 \cdot \sqrt{3}}{2} = 12.63 \text{ кА};$$

Коефіцієнт чутливості становитиме:

$$k_{ч} = \frac{I_{кз.мін}}{I_{с.з.}} = \frac{12630}{564.706} = 22.401$$

Отримали достатню чутливість.

4.4 Реалізація захистів присіднень 10 кВ на базі пристроїв REF630 та RET630

Захист комірок від одно і багатотофазних КЗ на землю буде виконано конфігурацією «В» пристрою REF630, що показана на рис 4.1. [18]

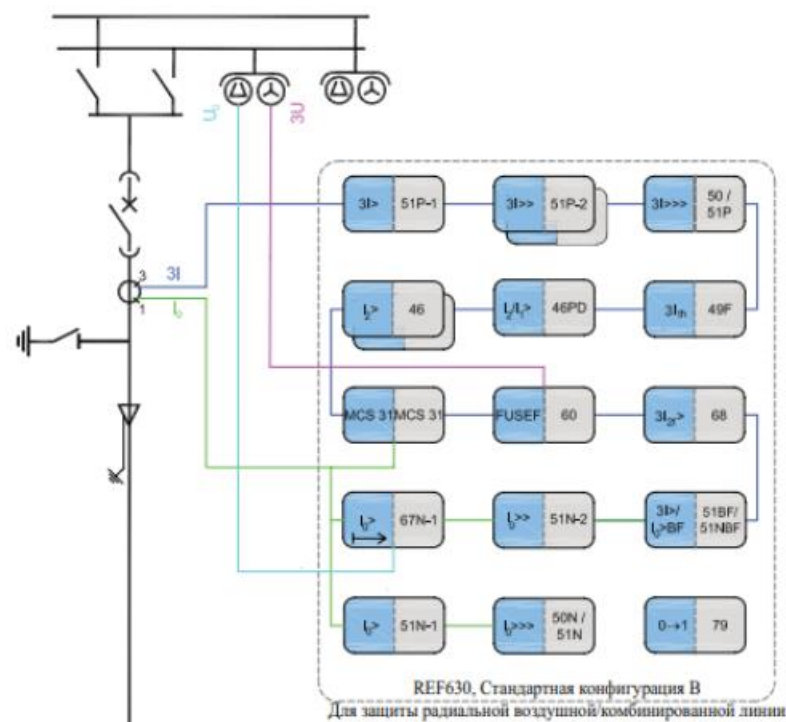


Рисунок 4.1 - Конфігурація «В» пристрою REF630

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

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

4.5 Автоматичний ввід резерву

Автоматичний ввід резерву реалізуємо пристроєм SUE-3000 виробництва АВВ (рисунок 4.2) [19]:

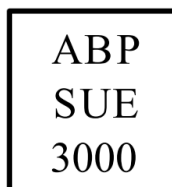


Рисунок 4.2 – Схемний елемент АВР на базі пристрою SUE 3000 для СВ

Пристрій SUE 3000 забезпечить оптимальне забезпечення безперебійним електроживленням.

На рисунках 4.3, 4.4 наведено схеми організації роботи АВР та логічна схема виконання:

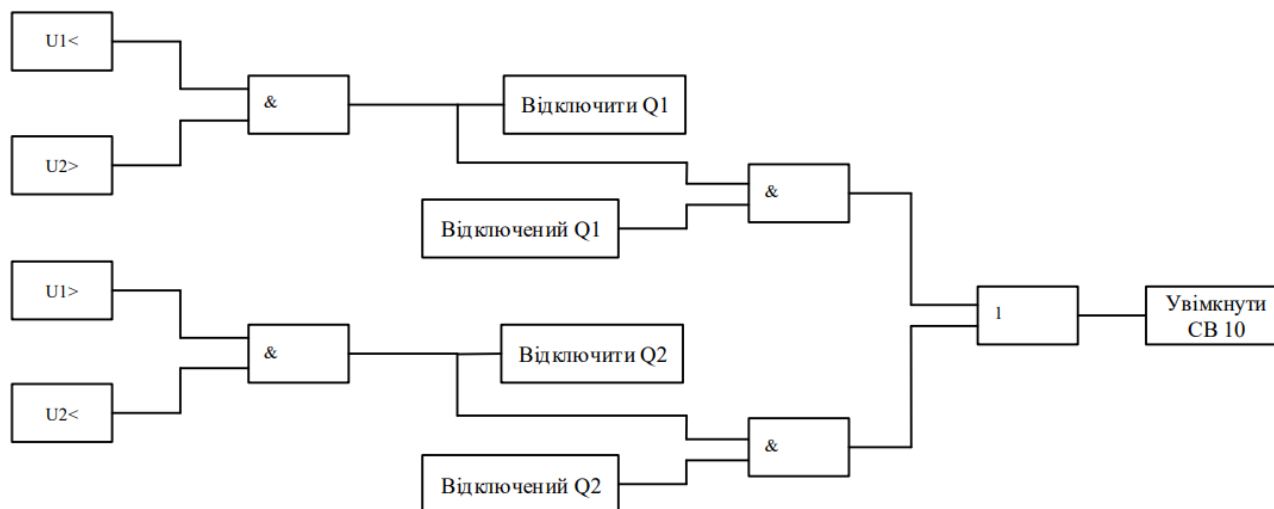


Рисунок 4.3 – Логічна схема алгоритма роботи АВР

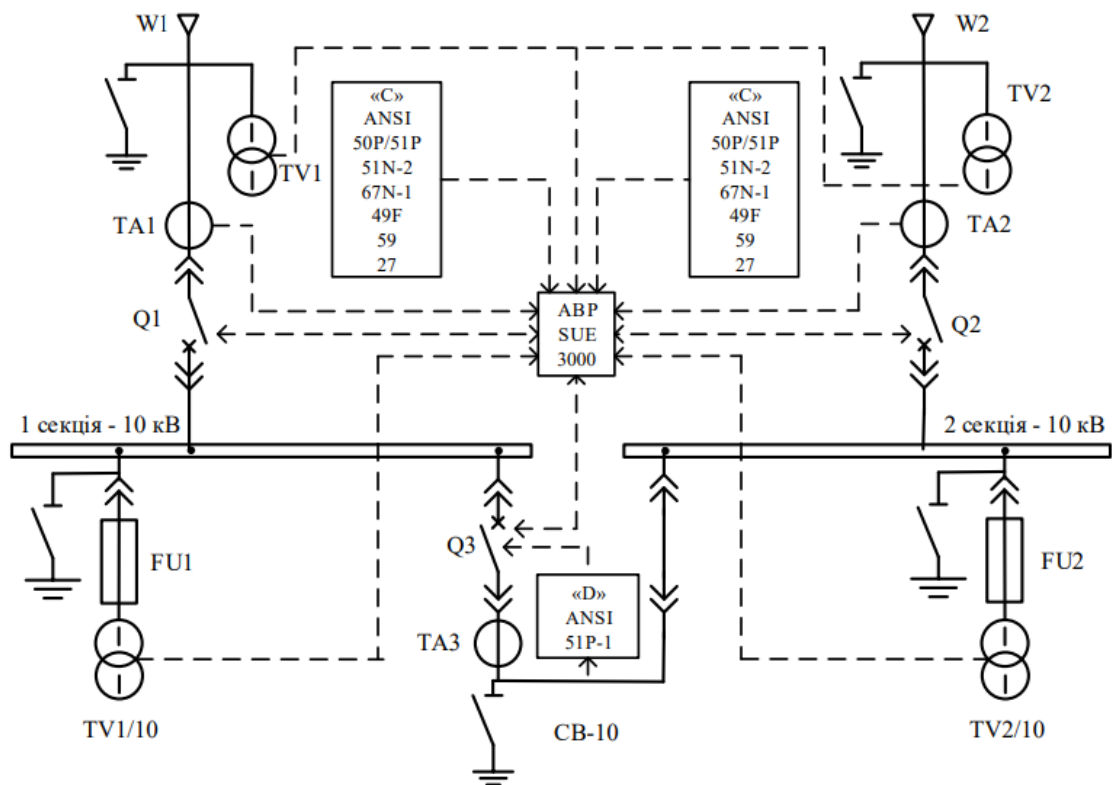


Рисунок 4.4 – Схема виконання роботи АВР

При відсутності напруги на першій секції та наявності напруги на другій подається команда на вимкнення вимикача Q1 і навпаки. При відсутності напруги на 1 секції та наявності напруги на 2 секції в разі відключеного стану Q1 або відсутності напруги на другій секції та наявності напруги першій при відключеному стані Q2 формується команда на включення секційного вимикача.

Визначимо уставки спрацьовування РН [20]:

Напруга дорівнюватиме:

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

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

Визначимо витримку часу для реле РОВ [20]:

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

Визначимо витримку часу до пускового органу АВР [20]:

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

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

Висновки:

1. Для кабельних ліній з напругою 10 кВ передбачаються пристрої РЗА від однофазних КЗ на землю та багатофазних КЗ. Від таких видів пошкоджень встановлено МСЗ, також наявна струмова відсічка та захист від однофазних КЗ на землю.
2. Було виконано розрахунок для уставки МСЗ, розрахована чутливість відповідає потрібній.
3. Проведено розрахунок уставки для струмової відсічки, чутливість відповідає нормативу.
4. Виконано розрахунок уставки струму замикання на землю, чутливість відповідає нормативу.
5. Для реалізації захистів в комірках встановлені мікропроцесорні пристрої REF630, які виконують функції захисту, управління, вимірювання та контролю. Захист комірок від одно і багатотофазних КЗ на землю буде виконано конфігурацією «В» пристрою REF630.
6. Автоматичний ввід резерву реалізовано пристроєм SUE-3000 виробництва АВВ.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Розглянута підстанція виконана зі схемою «місток», початкова схема до модернізації з'єднана із загальною енергосистемою однією повітряною лінією Л1 напругою 35 кВ, на ній зі сторони ліній встановлені комутаційні прилади – вимикачі та роз'єднувачі, включає дві ступені напруги – 10 кВ та 35 кВ.

2. ПС модернізована шляхом заміни обладнання на РП та прокладкою ще однієї живлячої кабельної лінії Л2, яка з'єднуватиме секцію ПС напругою 35 кВ з загальною енергосистемою. ПС відноситься до типу двотрансформаторних, на ній встановлені два трансформатори типу ТМН-2500/35 з РПН.

3. По виконанню підстанція відкритого типу, на якій проводилось удосконалення схеми, передбачивши можливість живлення з двох сторін, та проведено часткову заміну обладнання, на РП 35 кВ замінено існуючі вимикачі (та передбачені вводи) на вакуумні в комплектних комірках переходячи від ВРП до ЗРП з мікропроцесорними пристроями РЗА.

4. Отримані результати струмів КЗ наведено в таблиці, найвищими струми будуть струми в режимі з врахуванням навантаження. Для отриманих значень будуть проведені подальші розрахунки.

5. У зв'язку з введенням живлення по другій лінії Л2 (плакат 1) пропонується замінити існуючі вимикачі на вакуумні в комплектних комірках переходячи від ВРП до ЗРП. Заміні підлягають масляні вимикачі типу ВТ-35-630-10.5У1 на більш сучасні. Вибрано обладнання виробництва фірми АВВ UniGear ZS3.2 [5].

6. В комірках встановлені мікропроцесорні пристрої REF630 для роботи захисту, управління, вимірювання та контролю. Автоматичний ввід резерву реалізовано пристроєм SUE-3000 виробництва АВВ.

7. Для розрахунку захистів приєднань 35 кВ та 10 кВ виконано розрахунок для уставки МСЗ, розрахунок уставки для струмової відсічки, розрахунок уставки струму замикання на землю.

8. Для захисту трансформаторів ТМН-2500/35 згідно ПУЕ застосована струмова відсічка без витримки часу та МСЗ, розраховані необхідні уставки.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Л.Д. Рожкова, В.С. Козулін. Електрообладнання станції та підстанції. М.: Енергоатоміздат, 1967-648 с.
2. Б. Н. Неклепаєв та І. П. Крючков, Електрична частина електростанцій та підстанцій: Довідкові матеріали для курсового та дипломного проектування, "Енергоатоміздат", 1989.
3. Неклепаєв Б.М. Електрична частина електростанцій. - М.: "Енергія", 1976. - 552 с.
4. Бардик Є. І., Безбереж'єв Ю. В. Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах: Методичні вказівки. – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2013. – 33 с.
5. Рішення АББ для розподільчих мереж. URL: <https://new.abb.com/docs/librariesprovider25/catalogues/abb-build-ready-1.pdf?sfvrsn=2>
6. UniGear ZS3.2 metal-enclosed switchgear. URL: https://searchext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1_YHD000000A0993&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
7. Правила улаштування електроустановок, Київ, 2017. – 617 с.
8. Федосєєв А.М. Релейний захист електричних систем - М. Енергія. 1984.
9. Transformer protection RET650 Version 2.1. Technical manual.
10. Схеми електричних з'єднань на нижній стороні П/Ст. URL: <https://studfile.net/preview/7483885/>
11. Обладнання виробника АБВ на напругу 35 кВ. URL: https://voltage.ua/files/voltage/reg_files/abb_seti_final.pdf
12. Технічні характеристики ТН типу НАМІ-10-95. URL: <https://voltage.com/nami-10-95-transformator-napryazheniya-izmeritelnyjmaslyanyj-antirezonansny>
13. Шабад М. А. Розрахунки релейного захисту та атоматики розподільчих мереж. – 3-тє вид., перероб. і допов. – Ленінград: Енергоатомвид, 1985. – 296 с.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		67

14. О. І. Курсон, О. С. Полуботкін Алгоритми реалізації схем аварійного включення резервного живлення на мікропроцесорних пристроях релейного захисту і автоматики. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020, 5 с.
15. Дмитренко О. О. Розрахунок параметрів пристроїв АПВ, АВР: Методичні вказівки. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2014. 22 с
16. Пристрій REF630. URL: https://library.e.abb.com/public/7af8067d9be3d675c12578e1004278cf/REF630_pg_757347_RUa.pdf
17. Пристрій RET630. URL: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS757349&LanguageCode=ru&DocumentPartId=&Action=Launch>
18. Пристрій SUE 3000. URL. <https://pomegerim.ru/rza/img/bavrsue3000.pdf>
19. Дмитренко О. О. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем «Розрахунок параметрів пристроїв АПВ, АВР»; Методичні вказівки до виконання модульної контрольної роботи. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – 22 с.

					ДП 141.ЕК0107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		68