

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Електропостачання і енергоменеджменту

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

(підпис) **Сергій БЛАЖЕНКО**
(ім'я та прізвище)

(підпис) **Сергій БАЛЮТА**
(ім'я та прізвище)

«__» _____ 2025 р.

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Електротехніка та інформаційні технології»

на тему: «Проектування релейного захисту на підстанції 110/10 кВ»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ 4-3

Верба Віталій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник

Шпак Владислав Вячеславович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

Аліна СІРИК
(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

Грищенко Роман Володимирович
(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я, як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач _____
(підпис)

м. Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Електропостачання і енергоменеджменту
Освітній ступінь бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма Електротехніка та інформаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕПЕМ
/Сергій БАЛЮТА/
« » 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Верба Віталій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи проектування релейного захисту на підстанції 110/10 кВ
керівник роботи Шпак Владислав Вячеславович, доктор філософії, асистент
затверджені наказом закладу вищої освіти від « 10 » 04. 2025 р. № 218-кс.
- Строк подання здобувачем роботи 30 травня 2025 року.
- Вихідні дані до роботи схема підстанції 110/10 кВ.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
технічний опис підстанції, розрахунок струмів короткого замикання, технічний опис
основного обладнання, загальні принципи релейного захисту, основні вимоги до
побудови системи релейного захисту, вибір та розрахунок уставок релейного захисту
силових трансформаторів, захист шин, захист кабельних ліній, розрахунок уставок
захистів повітряних ліній, вибір автоматики підстанції.
- Перелік графічного матеріалу
 1. Схема підстанції 110/10 кВ
 2. Розміщення захистів
 3. Захист трансформатора
 4. Захист секційного вимикача

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
ОП	Сірик А.О., доцент		

7. Дата видачі завдання 12 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>14.04.2025 р</i>	
2	<i>Технічний опис підстанції напругою 110/10 кВ</i>	<i>16.05.2025 р</i>	
3	<i>Побудова системи релейного захисту на підстанції 110/10 кВ</i>	<i>16.05.2025 р</i>	
4	<i>Автоматика підстанцій</i>	<i>20.05.2025 р</i>	
5	<i>Індивідуальне завдання.</i>	<i>20.05.2025 р</i>	
6	<i>Охорона праці</i>	<i>24.05.2025 р</i>	
7	<i>Література</i>	<i>26.05.2025 р</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки проєкту</i>	<i>27.05.2025 р</i>	
9	<i>Оформлення графічної частини проєкту</i>	<i>28.05.2025 р</i>	
10	<i>Подання готової роботи для перевірки на плагіат</i>	<i>30.05.2025 р</i>	

Здобувач _____
(підпис)

Верба В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Владислав ШПАК
(прізвище та ініціали)

Анотація

Верба Віталій Володимирович. Дипломний проєкт на тему:
«Проектування релейного захисту на підстанції 110/10 кВ».

Індивідуальне завдання: «Автоматичне ввімкнення резервного живлення»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ - 2025

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Пояснювальна записка складається із вступу, 6 розділів та списку літератури.
Об'єм проєкту становить 79 сторінок.

У роботі розглянуто принципи побудови РЗА, основні вимоги до його функціонування, а також особливості захисту трансформаторів, ліній електропередач і секцій шин. Значну увагу приділено вибору сучасних мікропроцесорних пристроїв та розробці логіки роботи АВР.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: схема підстанції 110/10 кВ, розміщення захистів, захист трансформатора, захист секційного вимикача.

Результати роботи мають практичну цінність для подальшого впровадження в реальних енергетичних об'єктах та можуть бути використані як приклад при розробці систем РЗА для аналогічних підстанцій. Одержані рішення сприяють підвищенню надійності електропостачання, безпеки обслуговування та автоматизації процесів керування в енергосистемі.

Розрахунки й аналіз виконані за допомогою методик, що викладені у навчальній, довідниковій, нормативній і науково-технічній літературі.

Ключові слова: релейний захист, захист трансформатора, захист секційного вимикача, підстанція 110/10 кВ, захист шин, захист кабельних ліній, вибір обладнання, вибір захистів.

Abstract

Verba Vitalii Volodymyrovych

Diploma project on the topic:

"Design of relay protection at a 110/10 kV substation".

Individual assignment: *"Automatic activation of backup power supply"*

National University of Food Technologies, Kyiv – 2025

141 "Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics"

The explanatory note consists of an introduction, six chapters, and a list of references. The total volume of the project is 79 pages.

The work examines the principles of constructing relay protection and automation (RPA) systems, the key operational requirements, as well as the specific features of transformer protection, transmission line protection, and busbar section protection. Particular attention is given to the selection of modern microprocessor-based devices and the development of the logic for automatic transfer switching (ATS).

The project includes a graphical part comprising four drawings: the 110/10 kV substation diagram, protection layout, transformer protection scheme, and bus section breaker protection scheme.

The results of the work have practical value for implementation in real power facilities and can serve as an example for the design of RPA systems for similar substations. The proposed solutions contribute to improving the reliability of power supply, operational safety, and the automation of control processes in the power system.

All calculations and analyses were carried out using methodologies presented in educational, reference, regulatory, and scientific-technical literature.

Keywords: relay protection, transformer protection, sectional circuit breaker protection, 110/10 kV substation, busbar protection, cable line protection, equipment selection, protection selection.

Зміст

Вступ	9
1. ТЕХНІЧНИЙ ОПИС ПІДСТАНЦІЇ НАПРУГОЮ 110/10 кВ	10
1.1 Технічний опис підстанції	10
1.2 Розрахунок струмів короткого замикання	12
1.2.1 Розрахунок відносних величин	14
1.2.2 Розрахунок струму КЗ у момент часу $t=0$ та ударний струм	16
1.3. Технічний опис основного обладнання	19
1.3.1 Силові трансформатори	19
1.3.2 Роз'єднувачі на стороні 110 кВ	20
1.3.3 Вимикач на стороні 110 кВ	21
1.3.4 Вимикач на стороні 10 кВ	22
1.3.5 Обмежувачі перенапруги	23
1.3.6 Трансформатор власних потреб	23
1.3.7 Шафа оперативного струму	24
1.3.8 Трансформатори струму	24
1.3.9 Трансформатори напруги	25
2. ПОБУДОВА СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ НА ПІДСТАНЦІЇ 110/10 кВ	27
2.1. Загальні принципи та основні вимоги до побудови системи релейного захисту	27
2.1.1 Основні поняття в РЗА	27
2.1.2 Вимоги до виконання РЗА	28
2.1.3 Вибір мікропроцесорних пристроїв РЗА	29
2.1.4 Перевірка мікропроцесорних пристроїв РЗА при новому увімкненні	29

					<i>ДП-2025-141</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст		
Розроб.		Верба В.В.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р.В.					
Н. Контр.							
Затверд.					ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого		
						Лім.	Арк.
							6
							79

2.1.5 Особливості під час налагодження та проєктування	30
2.1.6 Технічне обслуговування в припрацьовуваний період	30
2.1.7 Період нормативної екскавації	31
2.1.8 ТО у період зносу	31
2.1.9 Профілактичний контроль в період нормальної екскавації	31
2.1.10 Поза чергова перевірка	32
2.1.11 Дії персоналу при виявленні сигналів на пристроях РЗА	32
2.1.12 Дії персоналу при виявленні несправності термінала (без блокування)	33
2.1.13 Дії персоналу при виявленні несправності термінала із блокуванням обкладенням	33
2.2. Розрахунок уставок релейного захисту силового трансформатора	34
2.3. Захист шин та кабельних ліній	35
2.3.1 Захист шин	35
2.3.2 Захист кабельних ліній	36
2.4 Розрахунок уставок захистів повітряних ліній	39
3. АВТОМАТИКА ПІДСТАНЦІЙ	40
3.1 Виробник мікропроцесорних приладів	40
3.1.1. Виробник	40
3.1.2 Вибір автоматики	41
3.1.2.1 MRZS-T	41
3.1.2.2 MRZS-R	42
3.1.2.3 MRZS-L	43
3.1.2.4 MRZS-S	44
3.2 Характеристики та функції використовуваних захистів	46
3.2.1 Диференційний захист	46
3.2.2 Максимальний струмовий захист (МСЗ)	47
3.2.3 Захист мінімальної та максимальної напруги ($U_{\min}$, $U_{\max}$)	48
3.2.4 Газовий захист (ГЗ)	49
3.2.5 Тепловий захист (ТЗ)	50

3.2.6	Захист від самовільного ходу (ЗСХ)	50
3.2.7	Захист від безперервного ходу (ЗБХ)	51
3.2.8	Функція блокування регулювання напруги під час перевантаження (БРП)	52
3.2.9	Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ)	52
3.2.10	Автоматичне частотне розвантаження (АЧР) та частотне автоматичне повторне ввімкнення (ЧАПВ)	53
3.2.11	Автоматичне включення резерву (АВР)	54
3.2.12	Дуговий захист (ДЗ)	55
4.	ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. АВТОМАТИЧНЕ ВВІМКНЕННЯ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ (АВР)	56
4.1	Улаштування АВР	56
4.2	Типові схеми АВР	58
4.3	Принцип роботи АВР	60
5.	ОХОРОНА ПРАЦІ	63
5.1	ОП під час роботи із мікропроцесорними пристроями РЗА	63
5.2	Організаційні заходи	64
5.3	Технічні заходи	66
5.4	Засоби захисту	67
5.5	Пожежна безпека	69
5.6	Розрахунок заземлення на підстанції	71
6.	ВИСНОВОК	73
	Джерела інформації	74

Вступ

У роботі розглянуто основні вимоги до релейного захисту, принципи роботи та призначення основних його видів, зокрема захисту трансформаторів, ліній електропередач та секцій шин. Окрему увагу приділено заходам безпеки під час експлуатації мікропроцесорних пристроїв РЗА, що мають важливе значення для надійної та безпечної роботи електроустановок.

Метою даної кваліфікаційної роботи є проектування системи релейного захисту та автоматики для підстанції 110/10 кВ, з реалізацією функції автоматичного ввімкнення резервного живлення (АВР) на секційних вимикачах 10 кВ.

Для досягнення цієї мети у роботі поставлено наступні завдання:

- Провести аналіз сучасних вимог до релейного захисту відповідно до ПУЕ та чинних стандартів;
- Виконати розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках електричної схеми підстанції;
- Обґрунтувати вибір основного електротехнічного обладнання;
- Підібрати мікропроцесорні пристрої РЗА відповідно до обраної конфігурації підстанції;
- Розробити логіку дії автоматичного ввімкнення резервного живлення (АВР);
- Розглянути заходи з охорони праці та пожежної безпеки під час експлуатації пристроїв РЗА.

Об'єктом дослідження є підстанція 110/10 кВ.

Предметом дослідження є система релейного захисту та автоматики, що забезпечує надійне електропостачання споживачів і безпечну роботу обладнання підстанції.

					ДП-2025-141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ		
Розроб.		Верба В.В.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р. В.					
Н. Контр.							
Затверд.							
					Лім.	Арк.	Аркушів
						9	79
					ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого		

1. ТЕХНІЧНИЙ ОПИС ПІДСТАНЦІЇ НАПРУГОЮ 110/10 кВ

1.1 Технічний опис підстанції

Підстанція складається із двох секцій шип наругою 10 кВ, які між собою з'єднані секційним вимикачем (СВ).

До кожної із секцій приєднаної низької сторони виводу трансформатора типу ТДН (трьох фазний із примусовим циркуляціям повітря та природна циркуляція оливи, з регулюванням напруги під навантаженням) потужність якого складає 25000 кВА. Кожен із трансформаторів заживлений незалежними повітряними лініями напругою 110 кВ. Також на високій стороні розташований секційний вимикач, який дає можливість вмикати інший трансформатор при відсутності однієї із ліній 110 кВ. Вимикачі на даній підстанції встановлені елегазові типу LW36B-126, номінальний струм якого 2000 А.

Також одним із важливих елементів підстанції є трансформатор власних потреб (ТВП). Він потрібен для функціонування підстанції такі так оперативний струм, освітлення, обігрів у холодну пору року, охолодження у спекотний час та інших приладів, які використовуються на підстанції. На кожній із секцій 10 кВ розташований ТВП, у випадку ремонту чи аварії також існує СВ-0,4 кВ.

Схема підстанції зображена на рис. 1.1

					ДП-2025-141				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Технічний опис підстанції напругою 110/10 кв	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Верба В.В.							
Перевір.		Шпак В.В.					10	79	
Реценз.		Грищенко Р. В.				ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого			
Н. Контр.									
Затверд.									

У нормальному режимі роботи секційні вимикачі 110 кВ, 10кВ та 0,4 кВ вимкнені. Трансформатори заживлено від різних повітряних ліній.

1.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Коротке замикання (КЗ) являється ненормальним режимом роботи в електричній мережі, коли струм рухається не в напрямку передбаченому експлуатаційно нормативними актами. У даному режимі роботи струм проходить по калах із дуже малими опором, та може призвести до значного перевантаження обладнання, перегріву елементів мережі та навіть до його пошкодження або пожежі.

Під час КЗ струм збільшується в десятки разів, при чому напруга знижується до значення 20-30% від номіналу. У мережах високої напруги струм, у нашому випадку 110 кВ, збільшується у 20-30 разів від номіналу. У калах середньої напруги на надій підстанції це 10 кВ може збільшитися струм під час КЗ до значення кратних 7-10 разів від номіналу. У мережах низької напруги, таких як 0,4 кВ, струм досягає значення 5-10 разів від номіналу.

Види коротких замикань:

- Однофазне (замикання фази на землю або нейтральний провід);
- Двофазне (замикання двох фаз між собою);
- Двофазне на землю (дві фази між собою та одночасно на землю);
- Трифазне (три фази між собою).
- Трифазне на землю (три фази між собою та одночасно на землю).

Спрощуємо схему підстанції для розрахунку струмів КЗ будемо враховувати тільки обладнання 1 секції та все що йому належить для розрахунку будемо використовувати рис. 1.2

					ДП-2025-141	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

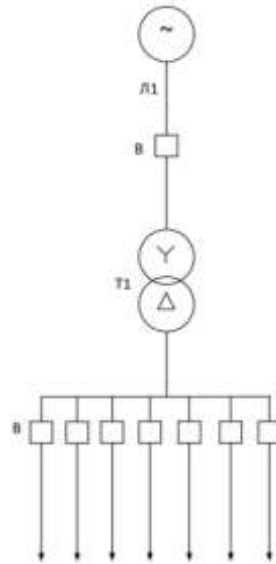


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема підстанції для визначення струмів КЗ

Під час розрахунку струмів короткого замикання приймаються наступні допущення:

- Не враховуються ємності та ємнісні струми в кабельній лінії;
- Не враховуються струми намагнічування трансформаторів;
- Трифазний ланцюг вважається симетричним, опори фаз рівними одне одному;
- Немає насичення сталі в електричних машинах;
- Не враховуються перехідні опори у місці КЗ;
- Не враховується зміна по фазі ЕРС різних джерел живлення, які входять у розрахункову схему;
- Не враховується вплив регулюючого коефіцієнта трансформації силових трансформаторів на величину напруги КЗ цих трансформаторів.

Ці допущення призводять до незначного перебільшення струму короткого замикання, погрішність якої складає до 10%, що є допустимим.

Розрахунок буде проводитися у трьох різних точках. К1 являється КЗ на високій стороні, а саме 110 кВ. К2 – середня напруга 10 кВ. КЗ – у кінці кабельної лінії.

Для провадження аналізу короткого вимикання на шинах даної підстанції 110/10 кВ, складаємо розрахункову схему заміщення.

1.2.1 Розрахунок відносних величин

За базисну потужність приймаємо: $S_6 = 1000$ МВА. За базисне значення напруги: $U_{61} = 115$ кВ у точці К1, $U_{62} = 10,5$ кВ у точці К2, К3. ЕРС системи приймаємо постійною $E_{*C} = 1$ в.о.

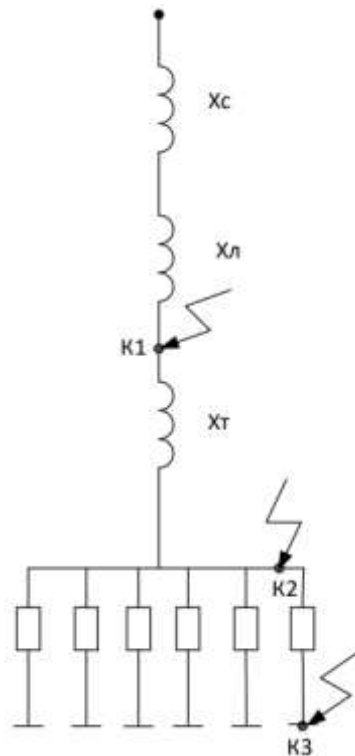


Рисунок 1.3 – Схема заміщення

Знайдемо відносний опір кабельної лінії, обрано марку ААШвУ з довжиною лінії 1,25 км.

$$X_{*L} = l \cdot x_{kl} \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2} = 1.25 \cdot 0.1 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,009 \text{ в. о.}$$

Де, l – довжина лінії; x_{kl} – індуктивний опір марки кабелю на 1 км; $x_{kl} = 0,185$ Ом; S_6 – базисна потужність; U_{61} – базисне значення напруги.

Визначимо відносний опір в системи

$$X_{*C} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot (I_{\text{відкл}} \cdot I_{\text{ст}}) \cdot U_{61}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot (40 - 0) \cdot 115} = 0,126 \text{ в. о.}$$

					ДП-2025-141	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, $I_{\text{відкл}}$ – номінальний струм відключення вимикача LW36A (В)-126;
 $I_{\text{відкл}}=40$ кА; $I_{\text{ст}}$ – струм КЗ від підстанції; $I_{\text{ст}} = 0$; S_6 – базисна потужність.

Розраховуємо відносний опір трансформатора ТДН-25000/110:

$$X_{*T} = \frac{U_{\text{к\%}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_T} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 4,2 \text{ в. о.}$$

де, $U_{\text{к\%}}$ – напруга КЗ %; $U_{\text{к\%}} = 10,5\%$; S_T – потужність трансформатора;
 $S_T = 25$ МВА.

Розраховуємо відносний опір кабелю, довжина якого становить 1,25 км:

Активний опір:

$$R_{*L} = l \cdot r_k \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 1,25 \cdot 0,064 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,725 \text{ в. о.}$$

де, r_k – активний опір марки кабелю на 1 км; $r_k = 0,64$ Ом; l – довжина лінії; S_6 – базисна потужність; U_{62} – базисне значення напруги.

Реактивний опір:

$$X_{*K} = l \cdot x_K \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2} = 1,25 \cdot 0,1 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 1,13 \text{ в. о.}$$

де, x_K – індуктивний опір кабелю на 1 км, $x_K = 0,1$ Ом; l – довжина лінії;
 S_6 – базисна потужність; U_{62} – базисне значення напруги.

Повний опір кабелю:

$$Z_{*k} = \sqrt{R_{*K}^2 + X_{*K}^2} = \sqrt{0,725^2 + 1,13^2} = 1,34 \text{ в. о.}$$

Отримані результати наведено у таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Відносні величини

Відносний опір кабелю; X_{*L}	відносний опір в системи; X_{*C}	відносний опір трансформатора; X_{*T}	Повний опір кабелю; Z_{*k}
0,009	0,126	4,2	1,34

1.2.2 Розрахунок струму КЗ у момент часу $t=0$ та ударний струм

Позаяк базисна напруга в точках різна, базисний струм, розрахований для кожної з них, також буде різнитися.

Найперше розробимо схему заміщення для розрахунку струм КЗ у точці К1, зобразимо її на рисунку 1.4

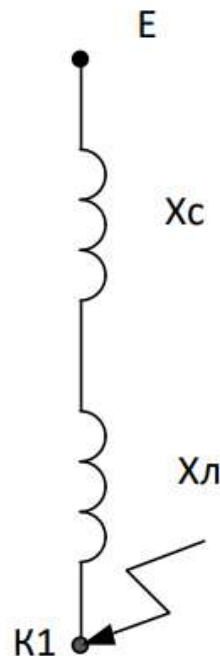


Рисунок 1.4 – Схема заміщення для точки К1

Розрахуємо струм КЗ у точці К1, яка знаходиться перед трансформатором.

$$I_{b1} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}$$

Еквівалентний опір у точці К1:

$$X_{*1} = X_{*L} + X_{*C} = 0,009 + 0,126 = 0,135 \text{ в. о.}$$

Відносний струм у точці К1:

$$I_{K1} = \frac{E_{*C}}{X_{*1}} = \frac{1}{0,135} = 7,41 \text{ в. о.}$$

Струму КЗ при $t = 0$ в точці К1:

$$I_{\text{по1}} = I_{b1} \cdot I_{K1} = 5,02 \cdot 7,41 = 37,19 \text{ кА}$$

					ДП-2025-141	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ударний струм КЗ:

$$I_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{no1} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 37,19 = 89,41 \text{ кА}$$

де, K_{y1} – ударний коефіцієнт для ліній 110 – 150 кВ, $K_{y1} = 1,7$

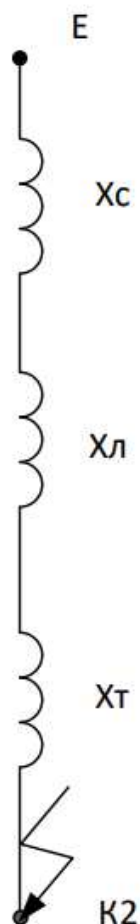


Рисунок 1.5 – Схема заміщення для точки К2

Розраховуємо струм КЗ у точці К2 на шинах 10 кВ:

$$I_{b2} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА}$$

Еквівалентний опір у точці К2:

$$X_{*2} = X_{*L} + X_{*C} + X_{*T} = 0,009 + 0,126 + 4,2 = 4,335 \text{ в. о.}$$

Відносний струм у точці К2:

$$I_{K2} = \frac{E_{*C}}{X_{*2}} = \frac{1}{4,335} = 0,23 \text{ в. о.}$$

Струму КЗ при $t = 0$ в точці К2:

$$I_{no2} = I_{b2} \cdot I_{K2} = 55 \cdot 0,23 = 12,65 \text{ кА}$$

					ДП-2025-141	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ударний струм КЗ:

$$I_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{\text{по}2} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 12,65 = 33,09 \text{ кА}$$

Де, K_{y2} – ударний коефіцієнт в системі зі збірним шинами 6 – 10 кВ з'єднаних через трансформатор потужністю 32 МВА і менше, $K_{y2} = 1,85$.

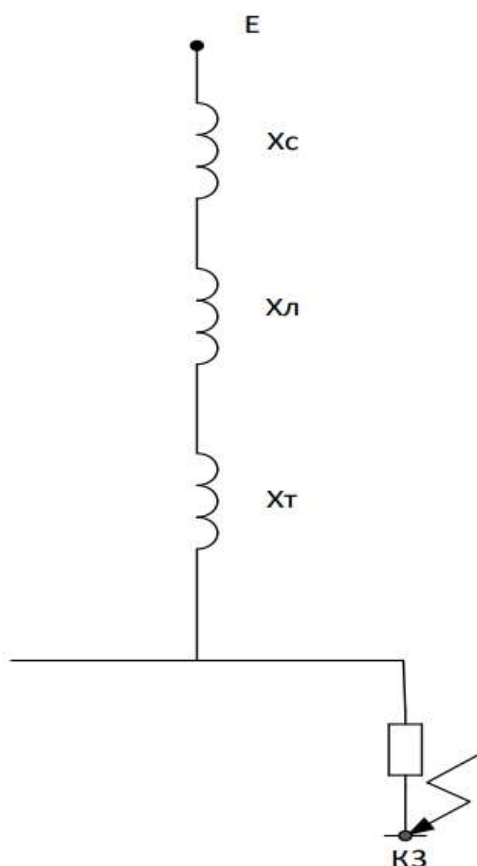


Рисунок 1.6 – Схема заміщення для точки КЗ

Еквівалентний опір у точці КЗ:

$$X_{*3} = X_{*L} + X_{*C} + X_{*T} + Z_{*K} = 0,009 + 0,126 + 4,2 + 1,34 = 5,68 \text{ в. о.}$$

Відносний струм у точці КЗ:

$$I_{K3} = \frac{E_{*C}}{X_{*3}} = \frac{1}{5,68} = 0,17 \text{ в. о.}$$

Струму КЗ при $t = 0$ в точці КЗ:

$$I_{\text{по}3} = I_{b2} \cdot I_{K3} = 55 \cdot 0,17 = 9,35 \text{ кА}$$

Ударний струм КЗ:

$$I_{y3} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{\text{по}3} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 4,71 = 12,32 \text{ кА}$$

Результати наведено у таблиці 1.2

					ДП-2025-141	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункові струми КЗ

	К1	К2	К3
Струм КЗ при $t = 0$	37,19 кА	12,65 кА	9,35 кА
Ударний струм	89,41 кА	33,09 кА	12,32 кА

1.3. Технічний опис основного обладнання**1.3.1 Силові трансформатори**

Основними характеристиками є номінальна потужність трансформатора, номінальні напруги ВН та НН (у деяких випадках ще СН), струми ХХ, ватрами ХХ та КЗ.

На підстанції встановлені два трансформатори ТДН-25000/110-У1. Потужність якого становить 25МВА, із номінальними значеннями напруги ВН–115кВ, НН–11кВ. Оснащений регулюванням напруги під навантаженням (РПН) із грачними показниками $\pm 9 \times 1,78\%$. Обладнаний схемою з'єднання обмоток Y_n/Δ , що відповідає 11 групі. Напруга КЗ між ВН та НН становить 10,5%, струм ХХ не більше 0,55%.

Трансформатор обладнаний ТС 150/5, які оптимальними для даного трансформатора потужністю 25 МВА, номінальний струм якого 125 А. ТС обкладені двома обмотками: 0.5/20 ВА/5 для обліку спожитої електроенергії; 5Р/30 ВА/20 – для релейного захисту.

Трансформатор обладнаний газовим реле, яке має 2 контакти на сигнал та 2 на відключення. І реле захисту РПН. Принцип дії та призначення даних реле розкрито у розділі 3.

Система охолодження трансформатора із примусовою циркуляцією повітря та природна циркуляція оливи. Трансформатор призначений для встановлення та експлуатації у внутрішньої або зовнішньої установки.

					ДП-2025-141	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3

Основні параметри трансформатора

Тип	Потужність, МВА	Номинальна напруга, кВ		Напруга КЗ (ВН-НН), %	ТС	Струм XX, %
		ВН	НН			
ТДН- 25000/ 110-У1	25	115	11	10,5	150/5	0,55

1.3.2 Роз'єднувачі на стороні 110 кВ

Про виборі роз'єднувачів керуємося номінальним струмом та номінальним струмом. Перевіряємо їх на здатність витримувати динамічну та терміну стійкість.

На підстанції 110 кВ встановлено роз'єднувачі типу РДЗ-110/3150

Таблиця 1.4

Технічні характеристики роз'єднувача

Номинальна напруга, кВ	110
Найбільша робоча напруга, кВ	126
Номинальний струм, А	3150
Струм термічної стійкості, кА	50
Гранично допустимий струм, кА	125

Виконаємо перевірку на сумісність роз'єднувачів з системою:

По напрузі:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі.ном.}} \rightarrow 110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ}$$

Умову задовольняє.

По електродинамічній стійкості беремо найбільший струм КЗ (це точка К1), див. Таблицю 1.2.

$$I_{\text{едм}} \geq I_{\text{по}} \rightarrow 125 \text{ кА} > 37,79 \text{ кА};$$

					ДП-2025-141	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{едм}} \geq I_{\text{уд}} \rightarrow 125 \text{ кА} > 89,41 \text{ кА};$$

де, $I_{\text{едм}}$ – струм електродинамічної міцності; $I_{\text{уд}}$ – ударний струм в точці КЗ; $I_{\text{по}}$ – струму в точці КЗ.

Умову задовольняє.

Для термічної стійкості візьмемо найбільший струм КЗ в точці К1 див.

Таблицю 1.2. Умова « $B_{\text{розр.}} \leq B_{\text{табл.}}$ » повинна виконуватися.

$$B_{\text{розр.}} = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вим}} + t_{\text{рел}}) = 37,79^2 \cdot (0,03 + 1,5) = 2184,96 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\text{табл.}} = I_{\text{тс}}^2 \cdot t_{\text{зап}} = 50^2 \cdot 4 = 10000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\text{розр.}} \leq B_{\text{табл.}} \rightarrow 2184,96 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 10000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Умову задовольняє.

Де, $t_{\text{вим}}$ – час спрацювання вимикача; $t_{\text{рел}}$ – час спрацювання реле; $t_{\text{зап}}$ – тривалість КЗ по паспорту вимикача.

1.3.3 Вимикач на стороні 110 кВ

На стороні 110 кВ встановлюється елегазовий вимикач типу LW36В-126, від літер електрик. Він вироблений по всіх українських стандартах.

Таблиця 1.5

Технічні характеристики вимикач 110 кВ

Номінальна наруга; кВ	126
Номінальний струм, А	3150
Струм термічної стійкості, кА	40
Тривалість КЗ, с	4
Гранично допустимий струм, кА	100
Час відключення, мс	30
Час включення, мс	75
Час включення-відключення, мс	≤60

Виконаємо перевірку на сумісність роз'єднувачів з системою:

По напрузі:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі.ном.}} \rightarrow 126 \text{ кВ} > 110 \text{ кВ}$$

Умову задовольняє.

					ДП-2025-141	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По електродинамічній стійкості беремо найбільший струм КЗ (це точка К2), див. Таблицю 1.2.

$$I_{\text{едм}} \geq I_{\text{по}} \rightarrow 100 \text{ кА} \geq 12.65 \text{ кА};$$

$$I_{\text{едм}} \geq I_{\text{уд}} \rightarrow 100 \text{ кА} \geq 33.09 \text{ кА};$$

де, $I_{\text{едм}}$ – струм електродинамічної міцності; $I_{\text{уд}}$ – ударний струм в точці КЗ; $I_{\text{по}}$ – струму в точці КЗ.

Умову задовольняє.

Для термічної стійкості візьмемо найбільший струм КЗ в точці К1 див. Таблицю 1.2. Умова « $B_{\text{розр.}} \leq B_{\text{табл.}}$ » повинна виконуватися.

$$B_{\text{розр.}} = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вим}} + t_{\text{рел}}) = 12,65^2 \cdot (0,03 + 1,5) = 244,83 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\text{табл.}} = I_{\text{тс}}^2 \cdot t_{\text{зап}} = 40^2 \cdot 4 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\text{розр.}} \leq B_{\text{табл.}} \rightarrow 244,83 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

де, $t_{\text{вим}}$ – час спрацювання вимикача; $t_{\text{рел}}$ – час спрацювання реле; $t_{\text{зап}}$ – тривалість КЗ по паспорту вимикача.

Умову задовольняє.

1.3.4 Вимикач на стороні 10 кВ

Використовуємо вимикач вітчизняного виробництва від лідер електрик, модель ВВ-LE-12,5-25/630-210В-П1

Таблиця 1. 6

Технічні характеристики вимикач 10 кВ

Номінальна напруга, кВ	10
Найбільша робоча напруга, кВ	12,5
Номінальний струм, А	630
Струм термічної стійкості, кА	25
Тривалість КЗ, с	3
Гранично допустимий струм, кА	63
Час відключення, мс	35
Час включення, мс	50

Виконаємо перевірку на сумісність роз'єднувачів з системою:

По напрузі:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі.ном.}} \rightarrow 10 \text{ кВ} > 10 \text{ кВ}$$

Умову задовольняє.

По електродинамічній стійкості беремо найбільший струм КЗ (це точка К2), див. Таблицю 1.2.

$$I_{\text{едм}} \geq I_{\text{по}} \rightarrow 63 \text{ кА} \geq 9,35 \text{ кА};$$

$$I_{\text{едм}} \geq I_{\text{уд}} \rightarrow 63 \text{ кА} \geq 12,32 \text{ кА};$$

де, $I_{\text{едм}}$ – струм електродинамічної міцності; $I_{\text{уд}}$ – ударний струм в точці КЗ; $I_{\text{по}}$ – струму в точці КЗ.

Умову задовольняє.

Для термічної стійкості візьмемо найбільший струм КЗ в точці К1 див. Таблицю 1.2. Умова « $B_{\text{розр.}} \leq B_{\text{табл.}}$ » повинна виконуватися.

$$B_{\text{розр.}} = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вим}} + t_{\text{рел}}) = 9,35^2 \cdot (0,035 + 1,5) = 134,19 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\text{табл.}} = I_{\text{тс}}^2 \cdot t_{\text{зап}} = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\text{розр.}} \leq B_{\text{табл.}} \rightarrow 134,19 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Умову задовольняє.

Де, $t_{\text{вим}}$ – час спрацювання вимикача; $t_{\text{рел}}$ – час спрацювання реле; $t_{\text{зап}}$ – тривалість КЗ по паспорту вимикача.

1.3.5 Обмежувачі перенапруги

Обмежувачі використовуються за захисту обладнання від перенапруги під час грозових змін напруги. На даній підстанції використовуються ОПН від українського виробника укредлектро вони є сучасним рішенням для заміни застарілих радянських типу РВО та інших модифікацій розрядників.

1.3.6 Трансформатор власних потреб

Трансформатор власних потреб (ТВП) використовується для живлення оперативних кіл, керування, телекерування, освітлення, обігрів, кондиціонери, вентиляція, сигналізації та інших потреб підстанції. ТВП забезпечує

					ДП-2025-141	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

правильну роботу всіх систем, комфортні умори робити персоналу і відповідні умови для експлуатації та зберігання обладнання.

ТВП висловлюються на кожен секцію трансформатора, для того якщо при аварії вимкнеться один із них підстанція продовжувала працювати далі. Встановлено 2 ТВП типу ТМ-100/10/0,4 П1. Масляний трансформатор потужністю 100 кВА, номінальна напруга первинної обмотки 10 кВ та номінальну напругу вторинної обмотки 0,4 кВ, частотою 50 Гц.

Таблиця 1.6

Технічні характеристики ТМ-100/10/0,4 П1

Потужність, кВА	Схема з'єднань ВН	U _н , кВ	P _{кз} , Вт	P _{хх} , Вт	U _{кз} , %	I _{хх} , %
100	У	10	1970	305	4,5	2,2

1.3.7 Шафа оперативного струму

Шафа оперативного струму призначені для живлення постійними струмом оперативні кола, релейний захист. Виставлено ШОС типу LE-ПТ-220-150-20-54- ПХЛ4. Вихідна напруга 220 В, ємність акумуляторної батареї 150 Аг.

1.3.8 Трансформатори струму

На підстанції вставлена 3 різних види ТС один безпосереднє на ВН стороні трансформатор із коефіцієнтом трансформації 200/5. Другий для захисту ТН ТГ 145 із коефіцієнтом трансформації 300/5. На лініях 10 кВ встановлені ТС типу ТОЛ-10 із коефіцієнтом трансформації 600/5, на ввідних комірках 1500/5.

					ДП-2025-141	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.7

Характеристики трансформаторів струму

Тип ТС	На силовому трансформаторі	TG 145	ТОЛ-10
Номінальна напруга, кВ	110	110	10
Найбільша робоча напруга, кВ	126	126	12
Номінальний первинний струм, А	200	300	1500 600
Номінальний вторинний струм, А	5	5	5
Клас точності для вимірів	0,5	0,2	0,2
Клас точності для захисту	5P	10P	10P
Струм термічної стійкості 1 с, кА	40	40	40
Струм електродинамічної стійкості, кА	100	100	102

Порівнявши дані таблиці 1.2 та таблиці 1.7, можемо зробити висновок, що ТС підходять на даному об'єкті.

1.3.9 Трансформатори напруги

На підстанції вставлена два різних типи трансформаторів напруги на шинах 110 кВ типу TVI-123, а також трансформатори напруги 10 кВ тип якого ЗНОЛ-06 – 10.

					ДП-2025-141	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.8

Паспортні дані трансформаторів напруги.

Тип ТН	TVI 123	ЗНОЛ-06-10
Номінальна напруга, кВ	110	10
Найбільша робоча напруга, кВ	123	12
Номінальна лінійна первинна напруга, кВ	110	10
Номінальна лінійна вторинна напруга, В	100	100
Група з'єднання обмоток	Y/ Y	Y/ Y
Клас точності для вимірів	0,5	0,5
Клас точності для захисту	3P	3P

Всі трансформатори напруги відповідають параметрам мережі й зробимо висновок, що вони відходять на використання на підстанції.

					ДП-2025-141	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ПОБУДОВА СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ НА ПІДСТАНЦІЇ 110/10 кВ

2.1 Загальні принципи та основні вимоги до побудови системи релейного захисту

2.1.1 Основні поняття в РЗА

Надійність – це здатність виконувати задані експлуатаційні функції у заданих межах відповідно нормам даної мікропроцесорного пристрою РЗА, за умови вчасного проведення ТО, відвідних умов експлуатації зазначених виробником. Жоден мікропроцесорний прилад не володію сто відсотковою надійністю.

Відмова – це аномальний режим роботи при якому пристрій РЗА не виконує запрограмовані функції. Існує 3 виду відмов: припрацьовувальні, раптові та поступові.

Припрацьовувальні відмови – це відмова, які виникає на початкових етапах експлуатаційні пристрою. Причиною таких відмов можна вважати: неякісний або не правильний монтаж, дефекти при виробництві обладнання.

Поступові відмови – це відмови, які виникають в процесі багато річної експлуатації пристроїв. Основними причинами їх можуть бути висихання ізоляції, окислення контактів, розшарування рухових частин.

Раптові відмови – це відмови які виникають миттєво у наслідок погіршення параметрів пристрою. Вони можуть утворитися в наслідок зовнішньої активності, імпульсні коливання напруги.

Відмова пристрою – це повна втрата правоздатності

Відмова функції – це не виконання певних функцій в наслідок аварії

Потік подій – послідовністю випадкових подій

Параметр потоку подій – це послідовністю подій за одиницю часу

					ДП-2025-141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОБУДОВА СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ НА ПІДСТАНЦІЇ 110/10 кВ		
Розроб.		Верба В.В.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р. В.					
Н. Контр.							
Затверд.							
					Лім.	Арк.	Аркушів
						27	79
					ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого		

2.1.2 Вимоги до виконання РЗА

Вимоги до релейного захисту відповідають чинними державними нормами, які свою чергу відповідають міжнародним стандартам.

Пристрої РЗА проєктуються таким чином, щоб всі сегменти електричного кола були захищені, дані ділянки іменують зонами дії захисту. Коли виникає пошкодження або аномальний режим роботи, повинні спрацювати частини РЗА, які закріплені за даною зоною дії.

На етапі проєктування РЗА необхідно урахувати виконання наступних вимог:

- 1) Всі частини мережі повинні бути захищені пристроями РЗА, не повинно бути ні одного сегмента в електроенергетичній системі, які не захищені релейним обладнанням;
- 2) Суміжні ділянки зобов'язані перетинатися;
- 3) Окремі ділянки системи для підвищення надійності зобов'язані бути захищені двома незалежними пристроями РЗА, на окремих сегментах дозволяється потрійне незалежне взаємне резервування апаратів РЗА.

Пристрої РЗА призначені для автоматичного відключення дефектної ділянки від непошкодженого електроустаткування, запобігати аномальних режимів роботи даної системи. Прилади РЗА повинні забезпечувати швидше вимкнення обкладення на котрому утворилося коротке замикання для запобігання пошкодження іншого обладнання.

РЗА яке дії на вимкнення має забезпечуватися селективною дією, щоб у разі пошкодження одного із елементів вимикалося тільки обкладення яке на несправне.

При проєктування нових чи реконструкції діючих енергооб'єктів рекомендовано використовувати мікропроцесорні пристрої РЗА, які забезпечують реєстрацію, моніторинг та захист обкладення.

					ДП-2025-141	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3 Вибір мікропроцесорних пристроїв РЗА

Перед вибором типу мікропроцесорного пристрою РЗА враховується фізичним та морального зносу пристроїв. Максимальний термін фізичного зносу являється коли ремонт його стає не рентабельний. Можна розділити на три періоди експлуатації РЗА:

- 1) Початковий етап – до 1 року;
- 2) Період нормативної екскавації – 1-6 років;
- 3) Період зносу – після 6 року екскавації;

Як і для будь-якого іншого приладу для пристроїв РЗА встановлені види ТО: налагодження, перший контроль, контроль, відновлення. Крім даних видів ТО виникають непланові види опробування: позачергове та після аварійне

2.1.4 Перевірка мікропроцесорних пристроїв РЗА при новому увімкненні

При увімкненні кіл РЗА після ремонту чи реконструкції мікропроцесорні пристарої релейного захисту необхідно виконати повну їх перевірку на працездатність із дією на вимикання. Дана перевірка охоплює:

- 1) Перевірка входних та вихідних кіл РЗА;
- 2) Перевірка кіл живлення, включаючи резервні;
- 3) Перевірка сигналізації та чи вона доходить до пункту управління;
- 4) Перевірити відповідність до проєктної документації;

Дані заходи є обов'язковими для виконання коли пристрої РЗА водяться в роботу у перше або були після реконструкції, яка містить встановлення нових пристроїв або заміну наявної схеми. Якщо налагодження виконувалася підрядними організаціями категорично заборонено водити в експлуатацію дані мікропроцесорні пристарої релейного захисту та автоматики без додаткової прийомки службою РЗА, яка буде безпосереднє експлуатувати дане обладнання.

					ДП-2025-141	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.5 Особливості під час налагодження та проєктування

На всіх етапах перед веденням в роботу мікропроцесорних пристроїв РЗА, виконуються наступні дії: проєктування, налагодження та приймання. Понині братися до уваги наступні пункти:

- 1) Правильність написання ранжування у пристрої РЗА, яке включає провисання всіх потрібних входів, виходів та сигнальних пристроїв;
- 2) Аналіз програмної логіки, алгоритми спарювання та блокування певних функції при відповідних умовах;
- 3) Правильне прописування уставок з урахуванням типів обладнання та відповідність параметрам вихідних підключень;
- 4) Якісне виникнення монтажу, засовуючи екрановані кабелі, екрани яких заземляємо з однієї сторони, виконання заходів для зменшення електромагнітних впливів на них (особливо якщо кабель довший 400 метрів або велика кількість різних кабелів знаходяться разом);
- 5) Перевірка мікропроцесорних пристроїв РЗА з іншим обладнанням;
- 6) Перевірити наявність ключів для оперативного ведення та виведення передих функцій.

2.1.6 Технічне обслуговування в припрацьовуваний період

У даний період експлуатації основною метою ТО є пошук швидкий пошук та усунення прихованих дефектів, вони є особливо актуальні в цей період життєвого циклу мікропроцесорних пристроїв РЗА.

Початковий етап починається із початком виконання налагоджувальних робіт. Якісне та усвідомлення використання цих робіт із виявленням потенційних всіх дефектів не гарантує вони на подальших етапах не появляться.

Враховуючи вище переховані фактор, налагодження не можна вважати кінцем припрацьовувального періоду. Щоб були впевнений, що всі основні дефекти були усунуті то в період від десятого до п'ятнадцятого місяця після налагодження потрібно виконати перший профілактичний контроль (К1).

					ДП-2025-141	30 Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання К1 в даний термін має два фактори:

1) короткий термін між наладкою та К1, може бути занадто малим для виявлення деяких дефектів термін;

2) Великий термін між К1 і наладкою ймовірність неправильної роботи пристроїв РЗА збільшується.

2.1.7 Період нормативної екскавації

Після проведення К1 мікропроцесорний пристрій РЗА вважається, що знаходиться в період нормативної екскавації. У даний період більшість пристроїв РЗА забезпечують автоматичним самоконтролем основних вузлів та елементів. Результати самоконтролю можуть відображатися на екрані користувача.

2.1.8 ТО у період зносу

Після завершення нормальної експлуатації настає період зносу. Завдання у цей час є профілактичні відновлення та заміна зношених частин для зменшення кількості дефектів. Даний процес називається відновлення (В).

Для деталей які мають високий рівень зносу рекомендовано проводити заміну при кожному обслуговуванні.

2.1.9 Профілактичний контроль в період нормальної екскавації

Між двома відновленнями для виявлення та усунення раптових відмов проводить профілактичний контроль.

Перевіряються цілісність кіл, перевірку функцій для впевненості у правильних умов експлуатації. Не допускається переходів від локальних збоїв до повної відмови функціонування пристрою чи першої функції.

2.1.10 Поза чергова перевірка

					ДП-2025-141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконується якщо змінюється частково чи повністю схема РЗА. Вона виконується в наступних випадках:

- 1) Відновлення кіл ремонту;
- 2) Заміна уставок;
- 3) Заміна характеристик;
- 4) Функцій пристрою.

Обсяги й програми перевірки являються індивідуальні у кожному випадку. Дана перевірка дозволяє впевнитися у правильності технічних вимог, також забезпечити надійністю роботи мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та автоматики.

2.1.11 Дії персоналу при виявленні сигналів на пристроях РЗА

А. При наявності постійного персоналу на підстанції:

- 1) Здійснити огляд панелі або шафи пристрою та зафіксувати наявні сигнали у робочому зошита та в оперативному журналі, до таких сигналів належать світлодіоди, реле які працювали, записати аварійне повідомлення;
- 2) Спрацювання пристрій повернути у нормальне положення, якщо не було пошкодження на лінії;
- 3) Повідомити вище поставленого керівника та персонал РЗА про спрацювання та сигнали.

Б. При наявності персоналу служби РЗА:

- 1) Виконати зчитування інформації із реєстратора спрацьованих терміналів та інших джерел інформації;
- 2) Виконати аналіз отриманої інформації та виконати дії по усунення дефекту.

2.1.12 Дії персоналу при виявленні несправності термінала (без блокування)

					ДП-2025-141	32 Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

А. При наявності постійного персоналу на підстанції

1) При несправності кіл:

- Перевірити правильність комутуючих приладів у несправних калах;

- Виконати всі необхідні виміри;

2) Повідомити персонал РЗА про наявні сигнали несправного пристрою;

3) Якщо не можливо усунути несправність оперативна, то із погодженням. із вищими керівництвом вжити заходів про оперативне виведення обладнання із роботи.

Б. При наявності персоналу служби РЗА:

1) Виконати зчитування інформації із реєстратора спрацьованих терміналів та інших джерел інформації;

2) Виконати аналіз отриманої інформації та виконати дії з усунення дефекту;

3) Виконати вимірювання;

4) З'ясувати причину дефекту та усунути його.

2.1.13 Дії персоналу при виявленні несправності термінала із блокуванням обкладенням

А. При наявності оперативного персоналу на об'єкті з узгодження вищого керівництва виконати усі дії згідно експлуатаційних інструкцій та повідомити про дефект персоналу релейного захисту.

Б. При наявності персоналу служби РЗА:

1) Виконати перезавантаження термінала за допомогою вимкнення та увімкнення автомата оперативного струму;

2) При успішному увімкненні пристрою виконати зчитування інформації та повідомити завод виробник про проблеми з приладом, після консультації зі спеціалістом вжити заходів на усунення несправності;

					ДП-2025-141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) Якщо після перезавантаження пристрій залишається вимкнутим виконувати методичні вказівки виробника. Якщо нічого не вийшло зв'язатися зі спеціалістами виробника і діяти за їх рекомендаціями;

4) При виявленні дефекту діяти відповідно до методичних вказівок виробника.

2.2. Розрахунок уставок релейного захисту силового трансформатора

Розрахунок номіналах струмів трансформатора:

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 131,21 \text{ А}$$

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{НН}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1443,37 \text{ А}$$

Уставки для вводу ВН силового трансформатора повинні враховувати два важливі критерії:

1) Не спрацювання в наслідок намагнічування силового трансформатора;

2) Реагування на струми КЗ на шинах НН

Розрахунок уставки струмової відсічки:

$$I_{\text{СВ1}} = k_{\text{над1}} \cdot I_{\text{КЗ}}^{\text{ВН}} = 1,2 \cdot 9,35 = 11,22 \text{ кА}$$

де, $k_{\text{над1}}$ —коефіцієнт надійності (для мікропроцесорного захисту 1.2)

Розраховуємо струм трифазного КЗ на шині НН

$$I_{\text{СВ2}} = k_{\text{над2}} \cdot I_{\text{КЗ}}^{\text{НН}} = 4 \cdot 55 = 220 \text{ кА}$$

Розрахунок уставки захисту від перевантажень:

$$I_{\text{переван}} = k_{\text{від}} \cdot \frac{I_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}}{k_{\text{пов}}} = 1,05 \cdot \frac{1443,37}{0,95} = 1595 \text{ А}$$

2.3. Захист шин та кабельних ліній

2.3.1 Захист шин

34

					ДП-2025-141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пристроїв релейного захисту на понижувальних підстанціях для шин напругою 6-10 кВ не передбачається. При наявності реакторів на лініях дозволяється встановлення захист шин, аналогічно захистам на електростанціях.

На понижувальних підстанціях основним захистом від короткого замикання на шинах є робочий захист силового трансформатора від зовнішніх КЗ. Шини секційних вимикачів напругою 3-35 кВ виконуються із двох ступеневим захистом від багато фазних КЗ.

Крім захисту трансформатора та відхідних ліній, на шинах напругою 3–35 кВ застосовується швидкодіючий логічний захист шин (ЛЗШ). При КЗ на шинах 10 кВ ЛЗШ виправляє змикання без витримки часу (на час спрацювання реле 100-150 мс), при КЗ на відхідних лініях ЛЗШ блокується, дозволяє спрацювати захисту нижчого пріоритету.

Для захисту шин напругою 110 кВ передбачаються окремі пристрої РЗА у випадках:

- 1) Двох секцій шин;
- 2) Одна секціонована система шин;
- 3) Одиночна не секціонована система шин, якщо виникає пошкодження дія захисту на приєднаннях не припустима.

Також для захисту шин 35 кВ і вище, передбачається диференційний струмовий захист без витримки часу, який охоплює всі елементи приєднання.

У разі наявності вимикача шин 110 кВ та секційного вимикача, передбачається захисти, що забезпечують надійне функціонування під час перевірок та ремонту захисту, вимикача чи трансформаторів струму будь-якого приєднання. З цією метою рекомендується використовувати мікропроцесорні пристрої захисту з достатньою кількістю наборів уставок, що дозволяє замінювати всі приєднання, які обслуговує обхідний вимикач. До складу захисту входять:

- 1) Трьох і більше ступені дистанційного захисту та струмова відсічка для багатофазних коротких замикань;

					ДП-2025-141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Чотириступеневий струмовий спрямований захист нульової послідовності від замикань на землю;

3) Дистанційний захист від однофазних КЗ.

На секційному вимикачі треба встановлювати:

1) Двоступеневий струмовий захист від багатофазних КЗ;

2) Триступеневий струмовий захист нульової послідовності для виявлення замикань на землю.

За потреби підвищення ефективності резервного захисту допускається застосування складних схем захисту, зокрема з підключенням до суми струмів трансформаторів струму секційного та шино з'єднувального вимикачів.

Якщо секційний вимикач 110 кВ виконує функції обхідного, на ньому мають бути передбачені ті ж види захистів, що й для окремих обхідних та секційних вимикачів.

Для ліній і трансформаторів 110 кВ і вище рекомендується передбачити можливість переведення основного швидкодіючого захисту на обхідний вимикач.

2.3.2 Захист кабельних ліній

При напрузі 10 кВ з ізольованою нейтраллю, включаючи мережі з нейтраллю, заземленою через дугогасний пристрій, треба передбачати релейний захист від багатофазних і однофазних замикань на землю. Захист від багатофазних замикань повинен виконуватися у двофазному варіанті з однаковим підключенням по фазах у всій мережі відповідної напруги, що дозволяє у більшості випадків локалізувати подвійні замикання на землю через відключення лише одного пошкодженого приєднання. Такий захист може бути реалізований у дворелейному або трирелейному виконанні залежно від вимог до чутливості й надійності.

На одиничних лініях з одностороннім живленням застосовується, як правило, двоступеневий струмовий захист: перший ступінь виконується у вигляді струмової відсічки, другий — як максимальний струмовий захист із

					ДП-2025-141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

незалежною або залежною витримкою часу. Для nereактивних кабельних ліній, які підключені безпосередньо до шин електростанцій, струмові відсічки повинні діяти без витримки часу, а їх зона охоплювати короткі замикання, які спричиняють зниження залишкової напруги на шинах до рівня нижче 0,5–0,6 від номінальної. У таких випадках допускається використання неселективного захисту за умови наявності пристроїв автоматичного повторного включення або автоматичного вводу резерву, які компенсують недоліки неселективної дії. Подібний підхід рекомендовано також для ліній, що живлять потужні синхронні електродвигуни від шин підстанцій. Якщо через вимоги селективності застосування струмової відсічки неможливе, дозволяється використовувати інші типи захистів, такі як дистанційний або диференціальний.

У випадку поодинчих ліній з двостороннім живленням, зокрема при наявності обхідних зв'язків або в кільцевих мережах з однією точкою живлення, застосовуються ті ж захисти, що і для ліній з одностороннім живленням, але в направленому виконанні. З метою підвищення селективності допускається автоматичне розділення мережі на радіальні ділянки під час пошкодження з подальшим її автоматичним відновленням. У разі, якщо традиційні ступінчасті струмові захисти не забезпечують необхідного рівня швидкодії та селективності, дозволяється застосовувати найпростіший дистанційний захист, поперечний диференціальний захист для здвоєних кабельних ліній, або поздовжній диференціальний захист на коротких ділянках ліній (до 3 км), якщо дозволяє топологія мережі.

Захист від однофазних замикань на землю у таких мережах має бути реалізований у кількох варіантах залежно від умов експлуатації: як селективний захист на сигнал, селективний захист з вимкненням, якщо цього вимагають вимоги безпеки, або з вимкненням із подальшим автоматичним відновленням у разі доцільності такої дії. У системі також передбачаються пристрої контролю ізоляції, а пошук пошкодженого елемента здійснюється

					ДП-2025-141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спеціальними технічними засобами або, як виняток, почерговим вимкненням приєднань.

Основним засобом реалізації такого захисту є трансформатори струму нульової послідовності. За їх відсутності дозволяється використання фільтрів струмів нульової послідовності за умови підтвердження їх працездатності через аналіз струмового балансу. Захист повинен насамперед реагувати на сталі замикання на землю, хоча також допускається фіксація короточасних замикань. У випадку, коли захист діє без витримки часу з міркувань безпеки або технічної доцільності, він має відключати лише живильний елемент, що постачає пошкоджену ділянку. Як резерв передбачаються захисти нульової послідовності з витримкою часу близько 0,5 секунди, які діють на вимкнення всієї пов'язаної електричної системи.

Для уникнення помилкових спрацювань селективні захисти повинні бути відстроєні від кидків зарядного струму при включенні лінії. Збільшення струму замикання шляхом навмисного розладу дугогасного реактора з метою примусової дії захисту зазвичай не допускається. У мережах із заземленням нейтралі через дугогасний реактор або через активний опір рекомендовано застосування струмових захистів нульової послідовності або направлених захистів, залежно від співвідношення струму замикання та ємнісних струмів непошкоджених приєднань. При цьому доцільно використовувати захисти, що реагують на гармонійні складові струму, оскільки їх дія менш залежна від режиму компенсації.

Функція контролю несправностей у колах напруги має бути реалізована найпростішими доступними засобами відповідно до конфігурації кола трансформаторів напруги. У випадку її активації захист має або блокувати відповідні ступені, або переводити їх у ненаправлений режим з окремими уставками. При цьому інші ступені струмового захисту повинні залишатись активними як резервні. Для всіх видів захисту, зазначених вище, необхідно передбачати резервний струмовий захист, який діє у разі відмови основного.

					ДП-2025-141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадках, коли нейтраль заземлюється через активний опір, він повинен бути обладнаний спеціальним захистом, який діє на його вимкнення при виникненні однофазних замикань на землю з витримкою часу, що перевищує максимальний час спрацювання основних захистів. Термостійкість цього опору має бути достатньою для витримки струму протягом дії його захисту.

2.4 Розрахунок уставок захистів повітряних ліній

Для розрахунку уставок для ліній 10 кВ використовується формула:

$$I_{МЗС} = k_{над} \cdot k_{сз} \cdot \frac{I_{роб.макс}}{k_{пов}}$$

де, $k_{над}$ – коефіцієнт надійності, (ураховує похибки елементів РЗА; $k_{над}=1,2$); $k_{сз}$ – коефіцієнт самозапуску, (ураховує пускові кидки струму двигуна в режимі самозапуску; $k_{сз}=2$); $I_{роб.макс}$ – максимальний робочий струм лінії А; $k_{пов}$ – коефіцієнт повернення захисту (для мікропроцесорного захисту $k_{пов}=0,95$).

Розраховуємо максимальний струм роботи лінії 10 кВ, вважаємо, що навантаження на ній 100 кВт:

$$I_{роб.макс} = \frac{S_{нав.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,49 \text{ кА}$$

Розраховуємо струм МЗС:

$$I_{МЗС} = 1,2 \cdot 2 \cdot \frac{5,49}{0,95} = 13,86 \text{ А}$$

Розраховуємо максимальний струм відсічки:

$$I_{МСВ} = I_{над} \cdot I_{КЗ} = 1,2 \cdot 55 = 66 \text{ кА}$$

					ДП-2025-141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. АВТОМАТИКА ПІДСТАНЦІЙ

3.1 Виробник мікропроцесорних приладів

3.1.1. Виробник

У даному проєкті вибрано виробничником пристроїв автоматики «НВП «Промавтоматика».

Дане підприємство триває лідерські позиції на українському ринку в галузі постачання релейного захисту та автоматики для забезпечення електробезпеки на енергооб'єктах. Підприємство зарекомендувало себе як надійний постачальник та партнер провідних підприємств країни, що підтверджує стабільне зростання за 2024 рік прибуток зріз у 1,5 рази. Крім, стабільного зростання прибутку компанія має бездоганну репутацію.

Підприємство впровадило систему менеджменту якості, яка відповідає міжнародним стандартам ISO 9000, та успішно пройшла сертифікацію згідно до вимог ДСТУ ISO 9001:2015. Це підтверджує відповідність усіх виробничих процесів встановленим стандартам якості та забезпечує стабільність і надійність продукції, яка відповідає всім стандартам для українського та міжнародного ринку.

НВП «Промавтоматика» спеціалізується на розробці, виробництві та постачанні сучасного електротехнічного обладнання, призначеного для підвищення надійності та безпеки електроенергетичних систем. Основу асортименту становлять пристрої релейного захисту та автоматики (РЗА), зокрема серії МРЗС-05, МРЗС-05Л, MRZS, а також програмно-апаратний комплекс «promHMI», який використовується у складі автоматизованих систем диспетчерського управління.

					ДП-2025-141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АВТОМАТИКА ПІДСТАНЦІЙ		
Розроб.		Верба В.В.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р.В.					
Н. Контр.							
Затверд.							
					Лім.	Арк.	Аркушів
						40	79
					ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого		

3.1.2 Вибір автоматики

Для забезпечення надійного релейного захисту та автоматизації електротехнічного обладнання на об'єкті було обрано пристрої серії MRZS, зокрема модифікації MRZS-T, MRZS-R, MRZS-L та MRZS-S.

3.1.2.1 MRZS-T

Пристрій MRZS-T (рис. 3.1) призначений для комплексного релейного захисту силових двообмоткових трансформаторів. Основною його функціональною особливістю є реалізація диференційного захисту трансформатора по трифазному диференційному струму, що дозволяє з високою точністю виявляти внутрішні пошкодження в обмотках і виводах трансформатора.



Рисунок 3.1 – Пристрій MRZS-T

Серед ключових функцій пристрою можна виділити:

- Аналіз гармонік (2-га та 5-та) та аперіодичної складової диференційного струму, що забезпечує коректну роботу захисту при пускових процесах;
- Диференційний струмовий захист із гальмуванням, що підвищує стійкість до зовнішніх коротких замикань та трансформаційних струмів небалансу;

					ДП-2025-141	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Максимальний струмовий захист (МСЗ) з чотирма незалежними ступенями налаштування;
- Захист від замикань на землю за компонентом струму нульової послідовності ($3I_0$);
- Захист по напрузі нульової послідовності ($3U_0$);
- Тепловий та газовий захист, які забезпечують контроль перегріву та герметичності трансформатора;
- Функція дешунтування струмових кіл, що дозволяє автоматично виключати вимірювальні кола при їх пошкодженні;
- Вбудований реєстратор осцилограм з тривалістю запису до 50 секунд та роздільною здатністю 1,25 мс;
- Фіксація до 400 подій зміни дискретних сигналів, що забезпечує надійний журнал подій для подальшого аналізу.

3.1.2.2 MRZS-R

Пристрій MRZS-R (рис. 3.2) призначений для автоматичного регулювання напруги трансформатора під навантаженням шляхом керування регулятором під навантаженням (РПН). Його застосування особливо ефективно в системах із плавно або різко змінним навантаженням, де необхідне стабільне підтримання напруги в заданих межах.



Рисунок 3.2 – Пристрій MRZS-R

Основні функціональні можливості пристрою включають:

- Контроль лінійної напруги на основному каналі вимірювання;
- Контроль струму трансформатора для реалізації струмової компенсації під час регулювання;
- Вимірювання навантаження, що забезпечує високу точність регулювання напруги;
- Автоматичне регулювання напруги під навантаженням відповідно до заданого алгоритму;
- Зустрічне регулювання напруги із урахуванням струмів приєднань;
- Блокування регулювання при перевантаженні трансформатора, що захищає обладнання від надмірних режимів роботи;
- Захист від аварійних режимів при некоректній роботі РПН;
- Захист мінімальної напруги;
- Захист максимальної напруги;
- Контроль та індикація положення приводу РПН, що дозволяє оператору оперативно оцінювати поточний стан системи;
- Можливість ручного та дистанційного управління приводом РПН;
- Реєстрація до 64 останніх аварійних подій, що забезпечує зручний аналіз роботи пристрою.

3.1.2.3 MRZS-L

Пристрій MRZS-L (рис. 3.3) виконує функції захисту та автоматизованого керування в мережах середньої та високої напруги. Завдяки широкому набору інтегрованих функцій він забезпечує підвищену надійність та оперативність у виявленні й ліквідації аварійних режимів.

					ДП-2025-141	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.3 – Пристрій MRZS-L

До основних функціональних можливостей належать:

- **Захисні функції:** реалізовано чотири ступені дистанційного захисту для ліній електропередач, максимальний струмовий захист, а також швидкодіючий дуговий захист для мінімізації наслідків коротких замикань;
- **Автоматизація процесів:** передбачено керування комутаційними апаратами, автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) після відключення та алгоритми прискорення спрацювання захистів у критичних ситуаціях;
- **Засоби діагностики та аналізу:** функція визначення зони пошкодження та вбудований реєстратор осцилограм забезпечують ефективний моніторинг стану мережі й спрощують післяаварійний аналіз;
- **Автоматичне частотне розвантаження (АЧР):** пристрій виконує функцію частотного контролю і автоматично відключає частину навантаження при зниженні частоти нижче допустимого рівня, запобігаючи розбалансуванню енергосистеми.

3.1.2.4 MRZS-S

На рисунку 3.4 показано пристрій MRZS-S призначений для реалізації автоматичного включення резерву (АВР) на секційних вимикачах та забезпечення стабільної роботи електричних мереж у разі порушення живлення з основного джерела.

					ДП-2025-141	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.4 – Пристрій MRZS-S

Його функціональні можливості охоплюють:

- Вимірювання електричних параметрів: контроль струмів прямої та зворотної послідовності, лінійних і фазних напруг до 150 В для обох секцій шин, а також визначення фазового зсуву між аналоговими сигналами;
- Релейний захист: чотириступеневий максимальний струмовий захист (МСЗ), захист зворотної послідовності (ЗЗП) для виявлення обриву фаз, дуговий захист із використанням волоконно-оптичних датчиків, а також захист за мінімальними та максимальними значеннями напруги;
- Функції надійності: передбачене резервування відмови вимикача, функція дешунтування струмових кіл для підвищення безпеки під час несправностей;
- Управління: підтримка автоматичного, дистанційного та ручного керування вимикачем;
- Реєстрація подій: фіксація до 30 останніх аварій, а також ведення статистики змін станів дискретних входів для подальшого аналізу.

3.2 Характеристики та функції використовуваних захистів

3.2.1 Диференційний захист

Диференційний захист трансформатора (ДЗТ) є основним видом захисту і виконується як поздовжній двоступеневий струмовий захист з функцією гальмування від максимального фазного струму на стороні вищої та нижчої напруги. Компенсація кутового зсуву для трансформаторів з групами з'єднань 11 реалізується внутрішнім алгоритмом пристрою. У цьому випадку необхідно встановити відповідну уставку по групі з'єднань та підключити струмові кола.

Параметри ДЗТ, які не мають конкретних вимог в умовах використання, можуть залишатися за замовчуванням. Захист передбачає вирівнювання струмів сторін вищої та нижчої напруг до номінального струму пристрою 5 А, що забезпечується окремо для кожної сторони шляхом множення на відповідний коефіцієнт. Діапазон регулювання вирівнюючих струмів становить від 1 до 20 А з кроком 0,01 А.

Пуск захисту відбувається за умови, що перша гармоніка диференційного струму принаймні однієї фази дорівнює або перевищує задану уставку. Перший ступінь ДЗТ виконує функцію диференційної відсічки, другий — повнофункціональний диференційний захист з можливістю відлаштування від аперіодичної складової та кидків намагнічування.

Миттєві значення диференційних струмів обчислюються на основі миттєвих струмів з обох сторін трансформатора з урахуванням групи з'єднань, яка задається в меню. Для забезпечення стійкості до аперіодичної складової та струмів намагнічування використовується поріг чутливості, встановлений на рівні 0,05 від номінального струму. Якщо значення диференційного струму по окремій фазі не перевищує цей поріг, дія відповідного фільтра блокується для цієї фази.

Захист має можливість окремого виведення з роботи кожного зі ступенів. Також реалізовано функції статичного блокування кожного ступеня через дискретні входи. Передбачена можливість окремого призупинення дії

					ДП-2025-141	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блокування другого ступеня як від аперіодичної складової, так і від другої та п'ятої гармонік диференційного струму також через дискретні входи.

3.2.2 Максимальний струмовий захист (МСЗ)

МСЗ є одним із основних видів струмового захисту, який застосовується для забезпечення селективного відключення пошкоджених ділянок електроустановок. Він використовується як для захисту силових трансформаторів, так і для повітряних та кабельних ліній електропередачі.

МСЗ реалізується як багатоступенева система, що включає до чотирьох незалежних ступенів. Перший ступінь виконує функцію струмової відсічки з незалежною витримкою часу. Другий ступінь може працювати як з незалежною, так і з залежною витримкою часу. Третій і четвертий ступені також мають незалежну витримку часу, при цьому четвертий часто використовується для захисту від перевантаження.

Діапазон регулювання струму спрацювання для кожного ступеня — від 0,1 до 150 А з кроком 0,1 А. Час дії може бути встановлений у межах від 0 до 32 с для першого ступеня та від 0 до 300 с для інших ступенів з кроком 0,01 с.

Для ступенів з запуском за напругою спрацювання відбувається при перевищенні струму будь-якою з фаз і зниженні лінійної напруги (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca}) нижче заданого рівня. Діапазон уставок за напругою становить від 2 до 150 В з кроком 0,01 В. Такий режим дозволяє уникнути хибних спрацювань при міжфазних і міжземних коротких замиканнях із пониженими рівнями напруги.

Предбачено функцію прискорення другого ступеня на час до 5 с при включенні вимикача, що забезпечує швидке реагування при повторному вмиканні після аварії або в процесі АПВ.

У разі використання спрямованих характеристик, спрацювання відбувається за умови перевищення струму однією з фаз і відповідності кута між струмом і лінійною напругою заданій зоні дії з урахуванням кута

					ДП-2025-141	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повороту. Напрямок дії може бути заданий як прямий, так і зворотний, з можливістю незалежного налаштування уставок для кожного напрямку.

Захист забезпечує контроль справності кіл напруги. Якщо напруга на будь-якому з лінійних входів нижча за $0,2 \cdot U_n$, а струми всіх фаз при цьому не перевищують $1,2 \cdot I_n$, кола вважаються несправними. У такому випадку формуються відповідні сигнали, а спрямовані ступені МСЗ або ступені з пуском за напругою автоматично переходять у режим неспрямованого МСЗ.

У випадку, коли пусковий орган вже спрацював до моменту виявлення несправності кіл напруги, ця несправність ігнорується до завершення дії пускового органа. Якщо ж пусковий орган спрацював при вже наявній несправності, то навіть після відновлення кіл напруг захист продовжує працювати як у режимі несправності до скидання пускового сигналу.

3.2.3 Захист мінімальної та максимальної напруги (U_{min} , U_{max})

Захист мінімальної та максимальної напруги застосовується для виявлення аварійних режимів, пов'язаних із надмірним зниженням напруги. Такий захист актуальний як для силових трансформаторів, так і для повітряних та кабельних ліній, де зниження напруги може свідчити про порушення в роботі мережі або втрату живлення.

Захист має два незалежні ступені дії, кожен із яких може бути налаштований на подачу сигналу або команду на вимкнення з витримкою часу.

Пуск захисту відбувається при зниженні фазних (U_a , U_b , U_c) або лінійних (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca}) напруг нижче заданих уставок. Існує можливість вибору логіки пуску: за принципом "І" (одночасне спрацювання усіх фаз) або "АБО" (спрацювання хоча б однієї фази).

Для уникнення хибних спрацювань передбачено блокування за струмом. При цьому автоматично використовуються струми тієї сторони, з якої підключені відповідні напруги. У разі відключення блокування за струмом додатково діє блокування за напругою при рівні нижче 0,25 В, що

					ДП-2025-141	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує коректну роботу пристрою при фізичному відключенні кіл напруги.

Діапазон налаштувань уставок за напругою становить від 5 до 110 В з дискретністю 0,1 В, по струму — від 0,25 до 5 А з кроком 0,01 А, а час спрацювання налаштовується в межах від 0,1 до 32 с із регулюванням по 0,01 с.

Для підвищення точності та стійкості до перешкод захист підключений через фільтр першої гармоніки. Загрублення захисту становить не менше 4 на частоті 150 Гц та не менше 15 на 400 Гц, що забезпечує ефективне відлаштування від вищих гармонік.

Кожен ступінь може бути окремо виведений або введений у роботу, а також заблокований чи запущений за допомогою дискретного входу.

3.2.4 Газовий захист (ГЗ)

ГЗ є одним з основних видів внутрішнього захисту силових трансформаторів, який реагує на утворення газу внаслідок внутрішніх дефектів — наприклад, міжвиткових замикань, пробоїв ізоляції або порушень роботи пристроїв РПН.

Захист реалізується у вигляді трьох ступенів, кожен з яких активується через відповідний дискретний вхід, підключений до зовнішнього газового реле трансформатора. Такий підхід забезпечує роздільну обробку різних ступенів аварійності.

Перший ступінь реагує на незначне виділення газу і характеризується витримкою часу в межах від 2 до 10 секунд з точністю налаштування 0,01 с. Зазвичай використовується для формування попереджувального сигналу.

Другий ступінь спрацьовує при інтенсивному газовиділенні, що може свідчити про серйозне пошкодження. Його час спрацювання складає від 0 до 0,5 с, також із дискретністю 0,01 с. Частіше за все використовується для миттєвого вимкнення трансформатора.

					ДП-2025-141	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Третій ступінь призначений для контролю газових порушень у пристрої регулювання під навантаженням (РПН) і також має швидкодіючу характеристику: від 0 до 0,5 с з кроком 0,01 с.

Сигнал пуску кожного зі ступенів запам'ятовується на проміжок часу 0,4 с, що дозволяє надійно фіксувати короточасні імпульси з реле.

Передбачена можливість статичного блокування газового захисту за допомогою дискретного входу, що особливо корисно під час технічного обслуговування або при проведенні випробувань. Крім того, кожен ступінь ГЗ може бути введений або виведений з роботи.

3.2.5 Тепловий захист (ТЗ)

ТЗ призначений для запобігання перегріву силового трансформатора, що може виникнути внаслідок перевантаження або внутрішніх несправностей. Захист активується через дискретний вхід, до якого підключається сигнал від зовнішнього теплового реле або термосигналізатора, встановленого безпосередньо на трансформаторі.

ТЗ реалізований як одноступеневий захист з налаштовуваною витримкою часу спрацювання від 0 до 10 секунд з дискретністю 0,01 с.

Сигнал, отриманий через дискретний вхід, запам'ятовується на 0,4 секунди, що забезпечує фіксацію навіть короточасних імпульсів та унеможливорює їх пропуск.

3.2.6 Захист від самовільного ходу (ЗСХ)

Захист від самовільного ходу призначений для виявлення неконтрольованого перемикання регулятора під навантаженням (РПН), що може бути викликане несправністю електроприводу або порушеннями в системі керування. Захист працює в імпульсному режимі та активується через меню налаштувань пристрою. Доступ до параметрів захисту відкривається лише після його включення в основному розділі конфігурації.

					ДП-2025-141	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип дії захисту полягає у постійній перевірці сигналів керування РПН. У випадку, коли зафіксовано сигнал перемикавання (через відповідний дискретний вхід), але не надходив жоден із очікуваних сигналів керування — таких як «Контроль підвищити» або «Контроль знизити» — вважається, що відбулося самовільне перемикавання.

У разі спрацювання захисту:

- блокується подальша передача команд керування РПН,
- видається візуальне повідомлення на дисплеї пристрою,
- здійснюється відключення напруги живлення приводу РПН, що фактично зупиняє перемикавання.

Фіксація сигналу зберігається протягом 0,4 с, що гарантує надійне виявлення навіть короткочасних імпульсів.

3.2.7 Захист від безперервного ходу (ЗБХ)

Захист від безперервного ходу активується у всіх режимах керування РПН (автоматичному, дистанційному, місцевому) та слугує для виявлення ситуацій, коли привід не зупиняється після виконання команди на перемикавання одного ступеня. Це може свідчити про залипання реле, механічні несправності або помилки в логіці управління.

Принцип роботи ЗБХ ґрунтується на контролі інтервалу часу між циклами перемикавання. Якщо час паузи між окремими перемикаваннями РПН виявиться меншим за встановлений пороговий інтервал (налаштовується через меню), захист розцінює це як безперервний хід приводу.

Інтервал часу перемикавання налаштовується в межах від 1,50 до 32,00 секунд з кроком 0,01 с.

При спрацюванні:

- Формується сигнал «Несправність РПН»;
- Блокується подальше керування РПН;
- На дисплеї з'являється відповідне попередження.

					ДП-2025-141	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.8 Функція блокування регулювання напруги під час перевантаження (БРП)

Функція БРП призначена для забезпечення безпечної роботи автоматичного регулювання напруги трансформатора у випадках перевищення допустимого струмового навантаження. Вона реалізується за допомогою основного каналу контролю струму в складі пристрою автоматизації.

При досягненні струмом навантаження встановленого порогу, автоматика регулювання негайно блокується, формуючи сигнал «БРП». Це дозволяє запобігти роботі РПН у режимі перевантаження, що потенційно може призвести до пошкодження приводу, контакторів або самого трансформатора. Блокування знімається автоматично при зниженні струму нижче заданого рівня.

Функція активується через меню налаштувань пристрою. Доступ до відповідного розділу («БРП») з'являється лише після її попереднього включення в загальній конфігурації. У налаштуваннях передбачено можливість вмикання/вимикання функції та задання значення уставки струму блокування.

3.2.9 Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ)

В пристрої реалізоване чотирикратне автоматичне повторне ввімкнення з регульованими витримками часу для кожного циклу. Передбачено програмне увімкнення або вимкнення АПВ, а також індивідуальне управління кожним з циклів.

Пуск АПВ здійснюється за спрацюванням таких захистів: максимального струмового (будь-який з чотирьох ступенів), дистанційного (включаючи адаптивні ступені), струмового захисту ненаправленого перенавантаження, а також за сигналами від схем АЧР/ЧАПВ чи зовнішніх пристроїв. Пуск може виконуватися з контролем положення вимикача або без нього — вибір здійснюється через відповідне меню.

					ДП-2025-141	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Існує можливість заборони або дозволу пуску АПВ за сигналами АЧР/ЧАПВ — як від зовнішніх входів, так і від конкретних ступенів вбудованих схем. При зникненні сигналів заборони автоматично виконується пуск АПВ, реалізуючи функцію ЧАПВ. За бажанням, можна окремо вказати, від яких ступенів захисту дозволено пуск АПВ.

Після включення вимикача передбачена функція тимчасового блокування АПВ на період "готовності", який задається користувачем. Також унеможлиблюється включення вимикача на коротке замикання після завершення всіх циклів АПВ — для цього встановлюється інтервал "підготовки до повторної роботи".

Основні параметри:

- Кількість циклів: до 4
- Час кожного циклу: від 0,1 до 200 с, крок 0,01 с, відхилення не більше $\pm 3\%$
- Час блокування після ввімкнення вимикача: 0,2–200 с, крок 0,01 с, відхилення $\pm 3\%$
- Час підготовки до повторного запуску АПВ після завершення циклів: 0,2–200 с, крок 0,01 с, відхилення $\pm 3\%$

3.2.10 Автоматичне частотне розвантаження (АЧР) та частотне автоматичне повторне ввімкнення (ЧАПВ)

Система автоматичного частотного розвантаження (АЧР) та частотного автоматичного повторного ввімкнення (ЧАПВ) реалізована з двома ступенями для кожної функції. Захист забезпечує швидке відключення навантаження при аварійному зниженні частоти в енергосистемі та автоматичне ввімкнення його назад при нормалізації частоти.

Реалізація ЧАПВ ґрунтується на логіці функції АПВ, тому загальна витримка часу ЧАПВ включає в себе додатково і витримку відповідного циклу АПВ.

					ДП-2025-141	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пуск АЧР виконується при зниженні частоти фазних або лінійних напруг нижче заданого порогу.

Пуск ЧАПВ (відпускання АЧР) відбувається при підвищенні частоти вище уставки.

Діапазони налаштувань:

- Частота пуску АЧР (1-й і 2-й ступені): 45–55 Гц, крок 0,1 Гц
- Частота пуску ЧАПВ (1-й і 2-й ступені): 45–55 Гц, крок 0,1 Гц

Час спрацювання АЧР:

- 1-й ступінь: 0–32 с, крок 0,01 с
- 2-й ступінь: 0–200 с, крок 0,01 с

Час спрацювання ЧАПВ:

- 1-й ступінь: 0,1–32 с, крок 0,01 с
- 2-й ступінь: 0,1–200 с, крок 0,01 с

Умови дозволу на ЧАПВ:

Пуск ЧАПВ дозволяється лише при умові, що всі лінійні напруги U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} перевищують порогове значення U_F , що визначається користувачем.

Діапазон уставок напруги U_F : 25–150 В, з кроком 0,1 В.

3.2.11 Автоматичне включення резерву (АВР)

Система автоматичного включення резерву (АВР) призначена для забезпечення живлення споживачів від резервного джерела у випадку зниження або зникнення напруги на основному джерелі живлення. Реалізована логіка АВР дозволяє підвищити надійність електропостачання як для лінійних приєднань, так і для трансформаторних підстанцій.

Детальний опис алгоритму роботи, функцій, логіки АВР наведено у розділі 4.

3.2.12 Дуговий захист (ДЗ)

Дуговий захист (ДЗ) здійснює спрацювання за сигналом від оптоволоконного датчика дуги (ОВД) з можливістю контролю пуску через пускові органи максимального струмового захисту (МСЗ) та/або захисту від зниження напруги ($U_{\min}$) у будь-якому поєднанні.

У налаштуваннях передбачена можливість регулювання чутливості ОВД шляхом встановлення порогу чутливості — числового значення, яке вказує, наскільки знижено чутливість датчиків. Значення порогу за замовчуванням становить 1, що відповідає номінальному рівню чутливості.

ДЗ може бути уведений або виведений з роботи через меню пристрою. Для цього також передбачена можливість окремого керування пуском ДЗ від кожного ступеня МСЗ або сигналу $U_{\min}$.

Часова витримка дугового захисту регулюється в діапазоні від 0 до 1 секунди з кроком 2 мілісекунди. Крім того, реалізована функція статичного блокування ДЗ за зовнішнім сигналом із можливістю його відключення через меню.

					ДП-2025-141	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. АВТОМАТИЧНЕ ВВІМКНЕННЯ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ (АВР)

4.1 Улаштування АВР

На сучасних електроенергетичних об'єктах, зокрема на підстанціях класу напруги 110/10 кВ, забезпечення безперебійного електропостачання критично важливих споживачів належить до пріоритетних завдань. Одним з основних технічних засобів реалізації цього завдання є пристрої автоматичного ввімкнення резерву (АВР), які здійснюють автоматичне перемикання живлення з робочого джерела на резервне у разі аварійного або планового відключення основного джерела живлення. Принцип дії АВР полягає у виявленні зникнення напруги або струму на об'єкті живлення та виконанні комутації для відновлення електропостачання споживача з альтернативного джерела без участі оперативного персоналу.

Підстанція має декілька силових трансформаторів, що дозволяє забезпечити підключення споживачів I категорії надійності без перерв навіть у разі повного знеструмлення однієї лінії. АВР реалізується на рівні трансформаторів, секцій шин, ліній живлення, а також на шиноз'єднувальних або секційних вимикачах. У разі аварії АВР забезпечує автоматичне приєднання шини знеструмленої секції до іншої секції шин, чим запобігає порушенню технологічного процесу на об'єктах, чутливих до втрати живлення.

У типовій схемі підстанції 110/10 кВ з двома силовими трансформаторами передбачено незалежні канали живлення. Пристрої АВР забезпечують перемикання між секціями з урахуванням контролю наявності напруги з боку резерву.

					ДП-2025-141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. АВР		
Розроб.		Верба В.В.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р. В.					
Н. Контр.							
Затверд.							
					Лім.	Арк.	Аркушів
						56	79
					ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого		

Для запобігання хибній роботі АВР у разі часткового відновлення живлення або некоректної дії одного з елементів системи управління передбачається одноразовість спрацювання пристрою. Якщо перемикання не відбулося або резервне джерело недоступне, АВР блокується до втручання оперативного персоналу або відновлення нормального режиму.

У схемах АВР для підстанцій 110/10 кВ рекомендовано передбачати зворотну дію — автоматичне повернення навантаження на робоче джерело після його відновлення. Це дозволяє зменшити час роботи навантаження в резервному режимі, уникнути перевантаження резервної лінії і трансформатора. Перемикання назад повинно відбуватися лише після стабілізації параметрів основного джерела.

Особливої уваги потребує реалізація АВР для живлення власних потреб підстанції. У разі перемикання живлення на резерв передбачається тимчасове блокування АВР для запобігання неконтрольованому ввімкненню на фоні затягнутого відновлення живлення основного джерела. При цьому система повинна враховувати дії інших автоматичних пристроїв, таких як ПРВВ (пристрій резервного включення власних потреб) або АПВ, щоб уникнути конфлікту алгоритмів.

Для забезпечення коректної роботи АВР в умовах, коли можливе ввімкнення резервного живлення на пошкоджену ділянку (наприклад, у разі короткого замикання), в схему закладається можливість прискорення спрацювання релейного захисту. Захист має бути налаштований так, щоб уникнути хибної дії на стрибок пускового струму навантаження.

Застосування АВР також вимагає врахування впливу на інші автоматизовані системи підстанції, зокрема систему автоматичного частотного розвантаження (АЧР). Необхідно забезпечити блокування дії АЧР під час безструмових пауз, спричинених перемиканням АВР або вибігом двигунів, аби уникнути зайвого вимкнення додаткового навантаження.

					ДП-2025-141	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З метою підвищення надійності електропостачання і відновлення доаварійної схеми рекомендується поєднання АВР і АПВ. У випадках, коли АВР тимчасово вводить у схему секційний вимикач для резервного живлення, після успішного АПВ основної лінії цей вимикач повинен автоматично вимикатися, повертаючи схему до стандартної топології.

4.2 Типові схеми АВР

Автоматика пристроїв АВР поділяються на кілька типів у залежності від логіки. Вибір типової схеми АВР залежить від потреб, способу роботи енергосистеми, можливість кожної лінії і в залежності від вище перерахованих умови вибираються одна із наступний типів схем АВР.

Таблиця 4.1

Типи схем АВР

Тип схеми АВР	Опис логіки	Поведінка при відновленні основного живлення	Сценарій використання
Односторонньої дії (з пріоритетом першого вводу)	Є основний та резервний ввід. При зникненні напруги на основному, перемикається на резервний	Автоматичне повернення до основного вводу	Об'єкти, де мережеве живлення є пріоритетним
Двосторонньої дії	Обидва вводи рівноцінні. Перемикання при зникненні напруги.	Без автоматичного повернення	Системи з двома надійними, рівноцінними джерелами живлення

Продовження таблиці 4.1

Без повернення	При зникненні напруги на першому вводі, перемикається на другий.	Ручне повернення до основного вводу.	Менш критичні об'єкти, де допускається ручне втручання для повернення.
З відновленням	При відновленні основного живлення, воно вмикається через затримку, а резервне відключається. Можлива коротка паралельна робота.	Автоматичне повернення з контрольованим відключенням резерву	Системи, де потрібно уникнути різких перепадів та забезпечити плавне повернення до основного джерела.
На 3 приводи	Перемикання між трьома вводами (основний, резервна 1, резервна 2)	Залежить від конфігурації	Об'єкти з високими вимогами до надійності, що мають кілька резервних джерел.
На 4 приводи з каскадним пуском	Для потужних генераторів, що вмикаються послідовно, щоб уникнути стрибка напруги.	Автоматичне повернення з каскадним відключенням.	Промислові об'єкти, де використовуються потужні генератори

Незалежний АВР	Кожен ввід працює незалежно на свого споживача. При виході з ладу одного, споживачі підключаються до справного.	Автоматичне перемикання на інший справний ввід.	Розподілені системи, де кожен сегмент має власне живлення та резерв.
-------------------	---	---	--

4.3 Принцип роботи АВР

На даній підстанції функцію АВР виконує мікропроцесорний термінал від виробника «НВП «Промавтоматика», модель котрого MRZS-S.

MRZS-S— це сучасний прилад релейного захисту, який призначений для роботи на секційних вимикачах. Крім, стандартних видів захисту по типу: МСЗ, ЗДЗ, ПРВВ. Даний прилад має важливу функцію для секційного вимикача АВР для підновлення живлення при аварійних ситуаціях.

У терміналі передбачено однократне АВР з витримкою або без витримки часу із дією на вимикач. Пуск АВР виконується в наслідок можливого зниження по напруги уставки робочої секції, так і по підвищення напруги.

Пуск АВР наприклад по вводу 1, при падінні напруги виконується за наявності одночасно двох умов:

- Значення трьох напруг вводу 1 нижче уставки: $U_{1min} < U_{1x}$;
- Значення трьох напруг вводу 2 вище уставки: $U_{2min} > U_{2x}$.

Пуск АВР наприклад по вводу 1, при підвищенні напруги, здійснюються за наявності одночасно двох умов:

- Значення трьох напруг вводу 1 нижче уставки $U_{1min} < U_{1x}$ або вище уставки $U_{1max} > U_{1x}$;
- Значення трьох напруг вводу 2 вище уставки $U_{2min} > U_{2x}$, але нижче уставки $U_{2max} < U_{2x}$.

					ДП-2025-141	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для більшої наглядності на рисунку 4.1 виконаємо штрихування значення по напрузі пуску АВР для кожного вводу.

Діапазон уставки по напрузі регулюється з кроком 0,1 В. Мінімальна напруга дозволяється встановити від 10 до 100 В. Максимальне значення напруги має можливість встановлення від 100 до 150 В. Для кожного вводу можна встановити власне значення мінімальної та максимальної напруги.

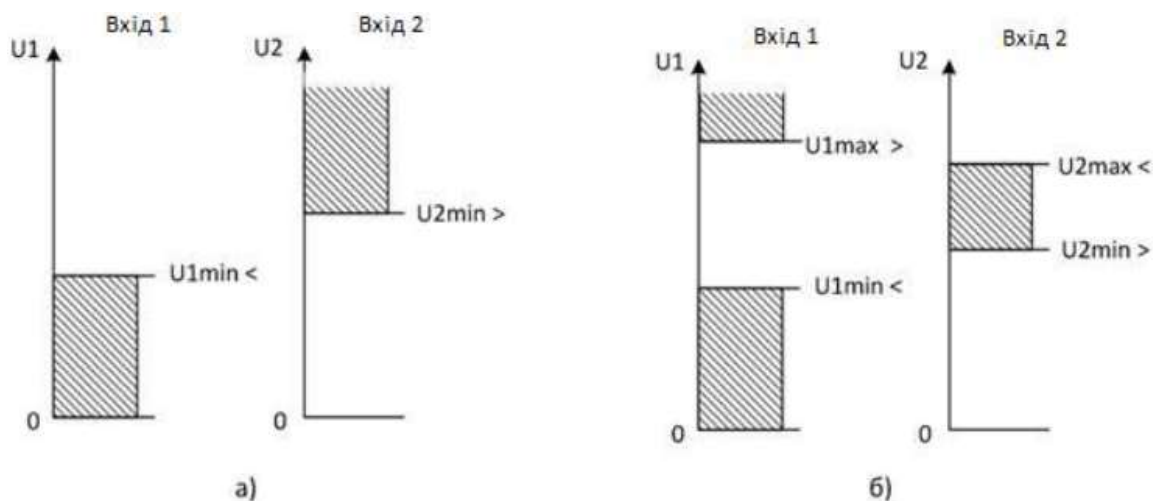


Рисунок 4.1 – Зони спрацьовування АВР

а) АВР по зниженню напруги;

б) АВР по зниженню і по підвищенню напруги.

Даний прилад підтримує великий сектор налаштування параметрів по витримці часу для правильної роботи на даному об'єкті. Має регулювання наступні параметри у діапазоні від 0,2 до 32 секунд з кроком 0,01 секунда:

- Час витримки вимкнення робочого каналу при зниженні напруги
- Час витримки вимкнення робочого каналу при підвищенні напруги
- Час подовження дії команди вимкнення вводу
- У разі спрацювання основних захистів силового трансформатора вводу
- Після вимкнення вимикача вводу формується дозвіл на подальшу роботу АВР протягом заданого

Контроль спрацювання захистів та контроль положення вимикача вводу здійснюється через двійкові входи (ДВ).

Блокування роботи АВР здійснюється в наступних випадках:

					ДП-2025-141	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Після ввімкнення секційного вимикача;
- При вимкненні вимикача від інших захистів;
- При вимкненні вимикача від зовнішніх захистів через ДВ;
- При зовнішньому вимкненні вимикача – через дискретний вхід, з верхнього рівня;
- При несправності кіл керування вимикачем;
- При здійсненні АПВ;
- При зовнішньому відключенні АВР.

Блокування АВР у перелічених вище випадках зберігається в енергонезалежній пам'яті, що забезпечує збереження інформації про стан блокування навіть після вимкнення живлення або перезавантаження системи. Це є важливою умовою для безпечної та надійної експлуатації, оскільки виключає можливість автоматичного відновлення роботи без контролю з боку обслуговуючого персоналу.

Скидання блокування, збереженого в енергонезалежній пам'яті, реалізується через дистанційний ввід, клавіатуру або з верхнього рівня системи. Такий підхід забезпечує гнучкість в управлінні та дозволяє відновлювати роботу АВР лише після аналізу та усунення причин блокування.

Інформація про блокування роботи АВР виводиться через меню інтерфейсу, що дає змогу оперативному персоналу швидко оцінити ситуацію, встановити причину блокування та вжити відповідних заходів для відновлення нормального режиму роботи.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 ОП під час роботи із мікропроцесорними пристроями РЗА

Під час роботи із мікропроцесорними пристроями у їх колах РЗА потрібно працювати відповідно до вимог ДНАОП 1.1.10-1.01, ГKD 34.20.507-2003, РД 34.35.302-90, та вимог закону України «Про охорону праці». Також вимог правил технічної експлуатації, правил безпечної експлуатації електрозахисних засобів. Кожен працівник повинен пройти навчання та скласти екзамен із присвоєння групи з електробезпеки, для працівників які працюють у діючих електроустановках вимагається, що річне підтвердження відповідної групи. Не допускаються до роботи робітники працівники з ознаками алкогольного та наркотичного сп'яніння, а також із відсутнім посвідченням про перевірку знань з охорони праці, пожежної та технічної експлуатації, у нездоровому стані. І також якщо у даного працівника закінчився термін дії медичного огляду або інших екзаменів. Крім вище перерахованих правил він повинен вміти надавати першу до медичної допомоги та правила поведінки у разі виникнення аварійної. Під час виконання службового обов'язку працівники зобов'язані мати його при собі просвітлення, виконувати всі вище перераховані правила. Обов'язково дотримуватися реконструкції до експлуатації виробника та місцевих вимог з охорони праці.

Перед початком роботи із мікропроцесорними пристроями релейного захисту потрібно перевірити надійність заземлення шаф або панелей де встановлені просторої РЗА, а також самих корпусів пристроїв.

Якщо роботи, які виконуються у колах РЗА, знаходяться під напругою слід винуватий дані роботи із застосування діелектричного інструменту. Даний інструмент перед роботою повинен буде перевірений на відсутність пошкодження та наявності штампів на який вказано, що він пройшов випробування із даною наступного випробування термін якого не закінчився,

					ДП-2025-141			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОХОРОНА ПРАЦІ	Лім.	Арк.	Архувів
Розроб.		Верба В.В.						
Перевір.		Сірик А.О.					63	79
Реценз.		Грищенко Р. В.				ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого		
Н. Контр.								
Затверд.								

також на ній вказано до якого напруги можна його використовувати.

Під час роботи у струмових колах слід їх приєднувати та від з'єднувати відповідно проєктної документації. Забороняється створювати розриви у струмових кодах між шафою та пристроєм.

Під час роботи на одному пристрою більше однієї особи потрібно домовитися між собою спосіб подачі струму і напруги від зовнішнього джерела у кола мікропроцесорного пристрою РЗА, для перевірки спрацювати та аварійних параметрів. Заборонено подавати їх без команди керівника робіт, що всі працівники знаходять у безпеці й не торкаються струм ведучих частин який будуть під напругою (струмом), або можуть з'явитися у разі неправильної роботи захисту, або на відповідності монтажу до схеми.

При виконанні роботи із пристроями РЗА заборонено виконувати їх, якщо присутні під'єднані або оголені кінці кабелів та внутрішнього в'язку у комірках.

Під час випробування вторинних кіл РЗА потрібно вжити заходів для запобігання випадках перемикань кіл наруги й оперативного струму або випадкового заколючування вторинних кіл від трансформаторів напруги. Забезпечити всіх заходів, що не можливості до випадкових відключень діючого обладнання.

При подачі напруги в діючі вторинні кола трансформаторів напруги забезпечити всіх заходів для запобігання зворотної транскрипції.

5.2 Організаційні заходи

Для безпечного проведення робіт потрібно виконати такі організаційні заходи:

- 1) Призначити особу, яка буде відповідальною за безпечне виконання поставленої роботи;
- 2) Призначити особи, яким надано для оформлення наряду-допуску або видачу розпорядження;

					ДП-2025-141	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) Отримати дозвіл на підготовку робочого місця та допуск до виконання робіт;

4) Підготовку місця виконання робіт і здійснення допуску персоналу до роботи;

5) Призначити працівника, що здійснює контроль за дотриманням вимог безпеки під час виконання робіт;

6) Працівник, який відповідає за організацію переведення виконавців на інше робоче місце;

7) Особа, відповідальна за фіксацію перерв у роботі та оформлення її завершення.

Відповідальними особами є:

1) Особа, яка видає наряд або розрядження;

2) Особа, яка надає дозвіл на підготовку робочого місця та допуск

3) Особа, яка готує робочу місце

4) Допускач

5) Керівник робіт

6) Наглядач

7) Члени бригади

Для видачі наряду-допуску або розпорядження має бути спеціальний працівник, яку надана дана операція, якого призначає керівник та повинна мати групу 5 із електробезпеки. Відповідає за такі фактори у роботі:

- за правильність написаних у наряді або розпорядженні заходів безпеки;
- за чисельний і високоякісний склад бригади;
- за призначення працівника для дотримання безпечного визнання робіт.

Працівник який надає дозвіл для підготовки робочого місця та допуск повинен бути із складу оперативного персоналу із групою 5 по електробезпеці. Він несе відповідальність за правильність вимкненого обладнання та

					ДП-2025-141	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заземлення на якому буде виконуватися робота. Також відповідає за узгодження по часу та місця роботи.

Особа яка готує робоче місце із складу оперативно-виробничого персоналу. Відповідає за точність і правильність виконання заходів передбачуваних у наряді-допуску або розпорядженні.

Допускач відповідає за правильність і достатність вжитих заходів безпеки також правильність інструктажу який він надає. У електроустановках до 1 кВ із групою 3, понад 1 кВ 4 група із електробезпеки.

Керівник робіт повинен мати групи із електробезпеки такі саме як і допускач. У свою чергу керівник відповідає за вичерпні та чіткі інструктажі, виконання та дотримання всіх заходів безпеки зазначені у наряді-допуску або розпорядженні, використання справних інструментів і засобів захисту.

Допускається будь-яке суміщення, крім працівника який надає допуск та працівника виконує обов'язки допускача.

5.3 Технічні заходи

При підготовці робочого місця виконуються наступні технічні заходи у передбаченому порядку:

- 1) Провести перемикання та вжити всіх заходів для випадкових або самостійних включень;
- 2) Вивішування плакатів «НЕ ВМИКАТИ працюють люди» на ключі дистанційного управління. На обладнання, яке залишило в роботі не реконструюється вирішувати будь-які плакати на ключі управління, для запобігання випадкових відключень;
- 3) Приєднати переносні заземлення до «землі»;
- 4) Перевірити відсутність напруги на струмовідних частинках на які буде встановлюватися заземлення;
- 5) Після перевірки відсутності напруги, приєднати за допомогою оперативної штанги переносні заземлення, або увімкнути заземлюючі ножі;
- 6) Вивісити плакат «ЗАЗЕМЛЕНО» на комутаційне обладнання;

					ДП-2025-141	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7) Огородити все, що залишилося під напругою і вирішити плакати «СТІЙ! НАПРУГА»

5.4 Засоби захисту

Під час виконання робіт у діючих електроустановках використовуються такі основні засоби захисту:

Таблиця 5.2

Основні захисні засоби

До 1 кВ	Понад 1 кВ
Ізолювальні штанги	Ізолювальні штанги
Ізолювальні кліщі	Ізолювальні кліщі
Електровимірювальні кліщі	Електровимірювальні кліщі
Показчики напруги	Показчики напруги
Діелектричні рукавички	
Інструмент з ізолювальним покриттям	

Крім основних засобів захисту існують ще додаткові, які засовуються разом із основними:

Таблиця 5.3

Додаткові захисні засоби

До 1 кВ	Понад 1 кВ
Діелектричне взуття	Діелектричні рукавички
Діелектричні килими	Діелектричне взуття
Ізолювальні підставки	Діелектричні килими
Ізолювальні накладки	Ізолювальні підставки
Ізолювальні ковпаки	Ізолювальні накладки
Сигналізатори напруги	Ізолювальні ковпаки
Захисні огороження	Штанги для перенесення і
Переносні заземлення	вирівнювання потенціалу

Продовження таблиці 5.3

Плакати безпеки	Сигналізатори напруги
	Захисні огороження
	Переносні заземлення
	Плакати безпеки

Засоби захисту зобов'язані бути безпечні для використання. Для ведення нових засобів захисту повинні відповідати вимогам ст. 24 закону України «Про охорону праці».

У захисних засобів, які мають ручку повинні бути обладнані обмежуючим кільцем. Для запобігання дотиків до не частини призначені для торкання руками. Заборонено позначати фарбою межі ручки. Ізолююча частина повинна бути виконана із діелектричного матеріалу.

Розміри робочої частини інструменту не нормуються, але повинно бути такою, щоб неможливо було сотворити між фазне коротке замикання, або замикання на землю.

Випробування захисних засобів випробовуються на менше раз на 6 місяців. Періодичність випробувань зазначені з пункту 4.4.2 правил експлуатації електрозахисних засобів.

Кожна бригада повинна бути укомплектована захисними засобами для безпечної роботи

Таблиця 5.4

Перелік захисних засобів до 1 кВ

Найменування	Кількість
Ізолювальна штанга	За наказом підприємства
Показчик напруги	2 штуки
Ізолювальні кліщі	1 штука
Діелектричні рукавички	2 пари
Діелектричні калоші	2 пари
Діелектричний килим	За наказом підприємства

Продовження таблиці 5.4

Плакати безпеки	За наказом підприємства
Захисні окуляри	1 пара
Переносні заземлення	За наказом підприємства

Таблиця 5.5

Перелік захисних засобів понад 1 кВ

Найменування	Кількість
Ізолювальна штанга	2 штуки на клас напруги
Показчик напруги	2 штуки на клас напруги
Ізолювальні кліщі	1 штука на клас напруги
Діелектричні рукавички	Не менше 2 пари
Діелектричне взуття	1 пара
Переносні заземлення	Не менше 2 пари на клас напруги
Плакати безпеки	За наказом підприємства
Захисні окуляри	1 пара

5.5 Пожежна безпека

Пожежна безпека на енергетичних підприємствах регулюється Законом України «Про пожежну безпеку», «Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України», НАПБ А.01.001 «Правила пожежної безпеки в Україні», та іншими нормативно правовими актами про пожежну безпеку в Україні.

Виконання всіх нормативних актів про пожежу безпеки є одним із обов'язків керівника підприємства. На кожному виробництві повинно бути забезпечено викання всіх правил призначеною особою або окремою службою на цьому.

Кожен працівник повинен виконувати всі вимоги пожежної безпеки на підприємстві та стежити за діями інших осіб для запобігання пожежі або інших

					ДП-2025-141	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

негативних наслідків із порушення. Усі працівники енергетичної галузі проходять регулярні інструктажі для вдосконалення знань у галузі пожежна безпека, щоб відповідати нормам чинного законодавства. Також регулярно проводяться тренінги дії персоналу при виникненні пожежі, і проходження періодичної перевірки знань із пожежної безпеки.

Проти пожежного обладнання повинно проходити регулярне випробування згідно з нормами чинного законодавства. Первині засоби для гасіння пожежі повинні бути завжди у готовності до використання, і повинні бути випробувані згідно норм.

На енергетичному об'єкті кількість працівників якого 50 осіб і більше, повинно створюватися пожежно-технічна комісія, також добровільна пожежна дружина, які виконують свою роботу згідно з чинним законодавством.

Всі роботи які пов'язані із відключенням чи роботі на протипожежних водогонках, їх ремонти повинні зазеленіть погоджуватися із відповідальними особами пожежної безпеки об'єктів які будуть відключені тимчасово по постанову води. На дані роботи виконуються тільки після письмової згоди із технічним керівником енергетичного об'єкта.

Відповідальними особами на енергетичному об'єкті виносяться такі особи:

1) Керівник

- Загальний протипожежний стан
- Організацію протипожежних заходів
- Виконання вимог протипожежного режиму
- Створення добровільної дружини

2) Технічний керівник

- Робота протипожежної комісії
- Технічний стан протипожежних засобів
- Стан проти пожежної автоматики
- Підготовка працівників
- Виконання вимог протипожежної безпеки

					ДП-2025-141	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 3) Інженерно-технічний керівник
- Стан об'єктів на відповідність протипожежних норм
 - Підготовка персоналу

5.6 Розрахунок заземлення на підстанції

Розрахувати заземлюючий пристрій для нульової точки трансформатора потужністю 60 кВ·А і напругою 6000/380 В у чотирьохпровідній трифазній мережі з глухозаземленою нейтраллю. Заземлювач виконати зі сталевих труб діаметром 0,05 м, довжиною 2,5 м, з розміром сталевий з'єднувальної стрічки 40 х 4 мм, питомий опір ґрунту 600 Ом·м, кліматичний коефіцієнт ґрунту 1,8. Допустимий опір заземлюючого пристрою прийняти $R \leq 10$ Ом.

Знайдемо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho \cdot \psi = 600 \cdot 1,8 = 1080 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

де, ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м;

ψ – коефіцієнт сезонності.

Розрахуємо відстань від поверхні ґрунту до середини заземлювального електрода:

$$t = h_b + \frac{l}{2} = 0,8 + \frac{2,5}{2} = 2,05 \text{ м}$$

Розраховуємо опір розтікання струму вертикального заземлювача:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t + l}{4t - l} \right)$$

$$R_{\text{в}} = \frac{1080}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,05 + 2,5}{4 \cdot 2,05 - 2,5} \right) = 338,44 \text{ Ом}$$

Обрахуємо кількість вертикальних заземлювачів:

Не враховуючи коефіцієнт використання:

$$n = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}}} = \frac{338,44}{10} = 33,844 \approx 34$$

					ДП-2025-141	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи коефіцієнт використання:

$$n_B = \frac{R_B}{R_d \cdot k_B} = \frac{338,44}{10 \cdot 0,85} = 39,81 \approx 40$$

де, k_B – коефіцієнт використання заземлення

Довжина з'єднувальної стрічки між горизонтальним заземлювачем:

$$L_c = 1,05 \cdot l = 1,05 \cdot 2,5 = 2,625 \text{ м}$$

Опір розсіяння струму:

$$R_{\text{розс}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot L_c} \cdot \ln \frac{L_c}{d \cdot h_c} = \frac{1080}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,625} \cdot \ln \frac{2,625}{0,143 \cdot 0,8} = 205,26 \text{ Ом}$$

Розрахуємо результуючий опір:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_{\text{розс}}}{R_B \cdot k_B + R_{\text{розс}} \cdot k_B \cdot n_B} = \frac{338,44 \cdot 205,26}{338,44 \cdot 0,85 + 205,26 \cdot 0,85 \cdot 40} = 9,56 \text{ Ом}$$

Перевіряємо умову допустимого опору землі:

$$R_3 \leq 10 \text{ Ом}$$

$$9,56 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}$$

Умови задовольняє

					ДП-2025-141	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ВИСНОВОК

У даній кваліфікаційній роботі на тему: «Проектування релейного захисту на підстанції 110/10 кВ», індивідуальне завдання котрої: «Автоматичне ввімкнення резервного живлення».

У даній кваліфікаційній роботі спроектовано підстанцію класу напруги 110/10 кВ із постійним чергуванням оперативного персоналу. Підстанція складається з двох ліній 110 кВ, кожна з яких підключається до трансформатора потужністю 25 МВА через елегазовий вимикач. На стороні 110 кВ шини поділено секційним вимикачем без функції АВР. На стороні 10 кВ встановлено секційний вимикач із реалізованою функцією автоматичного ввімкнення резервного живлення (АВР).

У рамках проєкту виконано розрахунок струмів короткого замикання у трьох контрольних точках: на шинах 10 кВ, перед трансформатором та в кінці кабельної лінії. Результати розрахунків наведено в таблиці 1.2. Відповідно до отриманих значень струмів КЗ здійснено вибір основного обладнання підстанції, надано його технічний опис із вказанням основних параметрів.

Розглянуто основні вимоги до релейного захисту та автоматики згідно з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Для реалізації функцій релейного захисту та автоматики обрано мікропроцесорні пристрої виробництва НВП «Промавтоматика» типу МРЗС, які відповідають чинним українським та міжнародним стандартам.

Для захисту трансформаторів застосовано пристрої типу МРЗС-Т, для управління РПН — МРЗС-Р, для захисту ліній 10 кВ — МРЗС-Л, а для управління та захисту секційного вимикача на шині 10 кВ — МРЗС-С.

У розділі «Охорона праці» розглянуто організаційні та технічні заходи безпеки під час роботи з мікропроцесорними пристроями РЗА, а також засоби індивідуального захисту та правила пожежної безпеки.

					ДП-2025-141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Висновок		
Розроб.		Вербa В.В,					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р.В.					
Н. Контр.							
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Аркушів
						73	79
					ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого		

Джерела інформації

1. Правила улаштування електроустановок. - Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, із змінами 21.08.2017

2. Правила безпечної експлуатації електроустановок: затверджено наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 6 жовтня 1997 року № 257; зареєстровано в Міністерстві юстиції України 13 січня 1998 року за № 11/2451; зі змінами і доповненнями, внесеними наказом Комітету по нагляду за охороною праці України Міністерства праці та соціальної політики від 25 лютого 2000 року № 26.

3.. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила: ГКД 34.20.507-2003: Затверджено наказом Мінпаливенерго України від 13.06.2003 р. № 296.

4. Правила експлуатації електрозахисних засобів: НПАОП 40.1-1.07-01 (ДНАОП 1.1.10-1.07-01): затверджено наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 5 червня 2001 року № 253..

5.. Технічне обслуговування мікропроцесорних пристроїв релейного захисту, протиаварійної автоматики, електроавтоматики, дистанційного керування та сигналізації електростанцій і підстанцій від 0,4 кВ до 750 кВ: СОУ-Н ЕЕ 35.514:2007: затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 30 жовтня 2007 року № 514.

6. Каталог мікропроцесорних пристроїв РЗА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rza-promav.com/>

7. Пристрій мікропроцесорний захисту, автоматики, контролю і управління приєднань MRZS-S. Настанова щодо експлуатування. – Київ: «НВП «Промавтоматика», 2022.

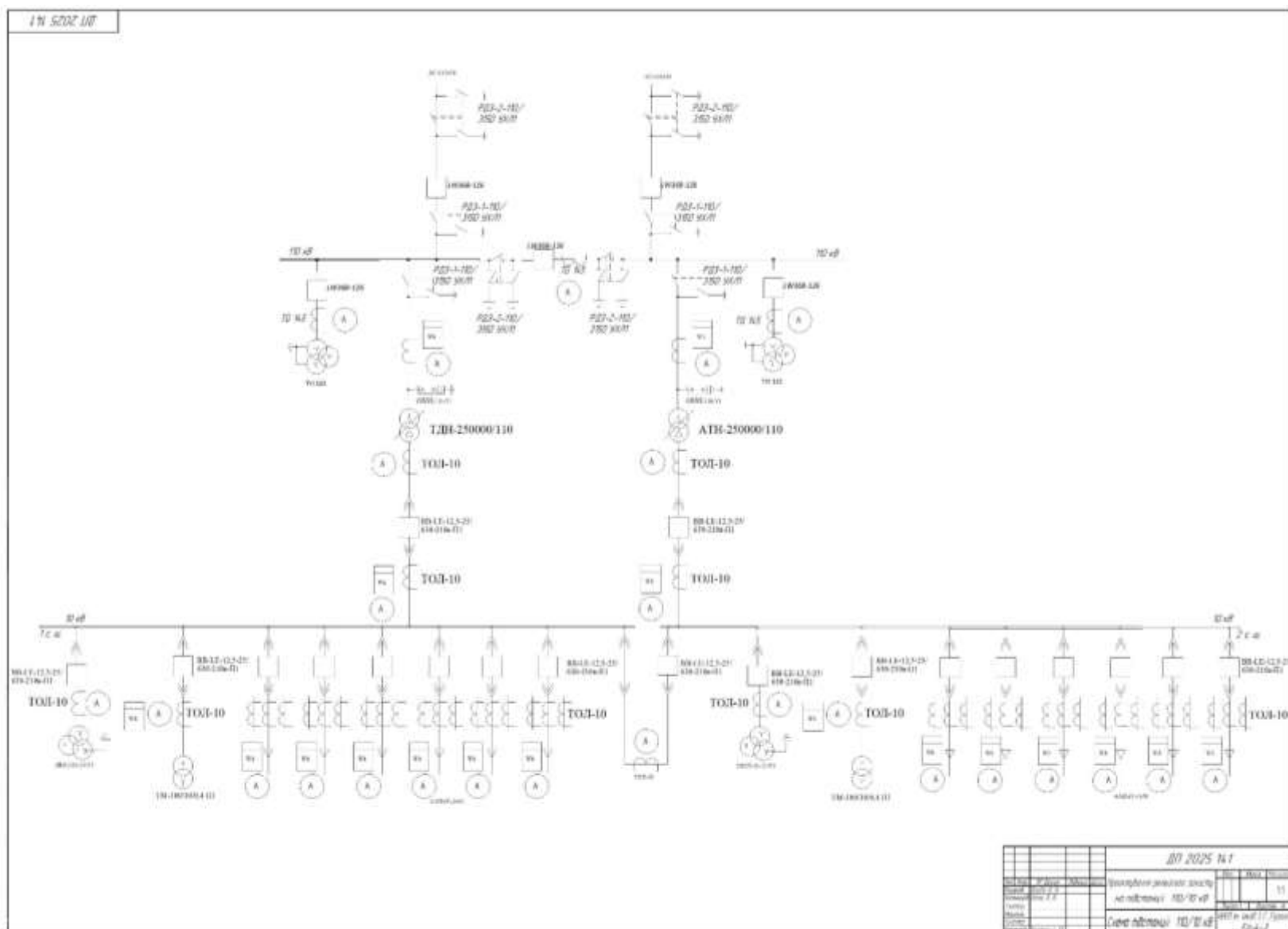
					ДІП-2025-141		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Джерела інформації		
Розроб.		Верба В.В.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Грищенко Р. В.					
Н. Контр.							
Затверд.							
					Лім.	Арк.	Аркушів
						74	79
					ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого		

8. Пристрій мікропроцесорний захисту, автоматики, контролю і управління приєднань MRZS-T. Настанова щодо експлуатування. – Київ: «НВП «Промавтоматика», 2022.

9. Пристрій мікропроцесорний захисту, автоматики, контролю і управління приєднань MRZS-L. Настанова щодо експлуатування. – Київ: «НВП «Промавтоматика», 2022.

10. Пристрій мікропроцесорний захисту, автоматики, контролю і управління приєднань MRZS-R. Настанова щодо експлуатування. – Київ: «НВП «Промавтоматика», 2022.

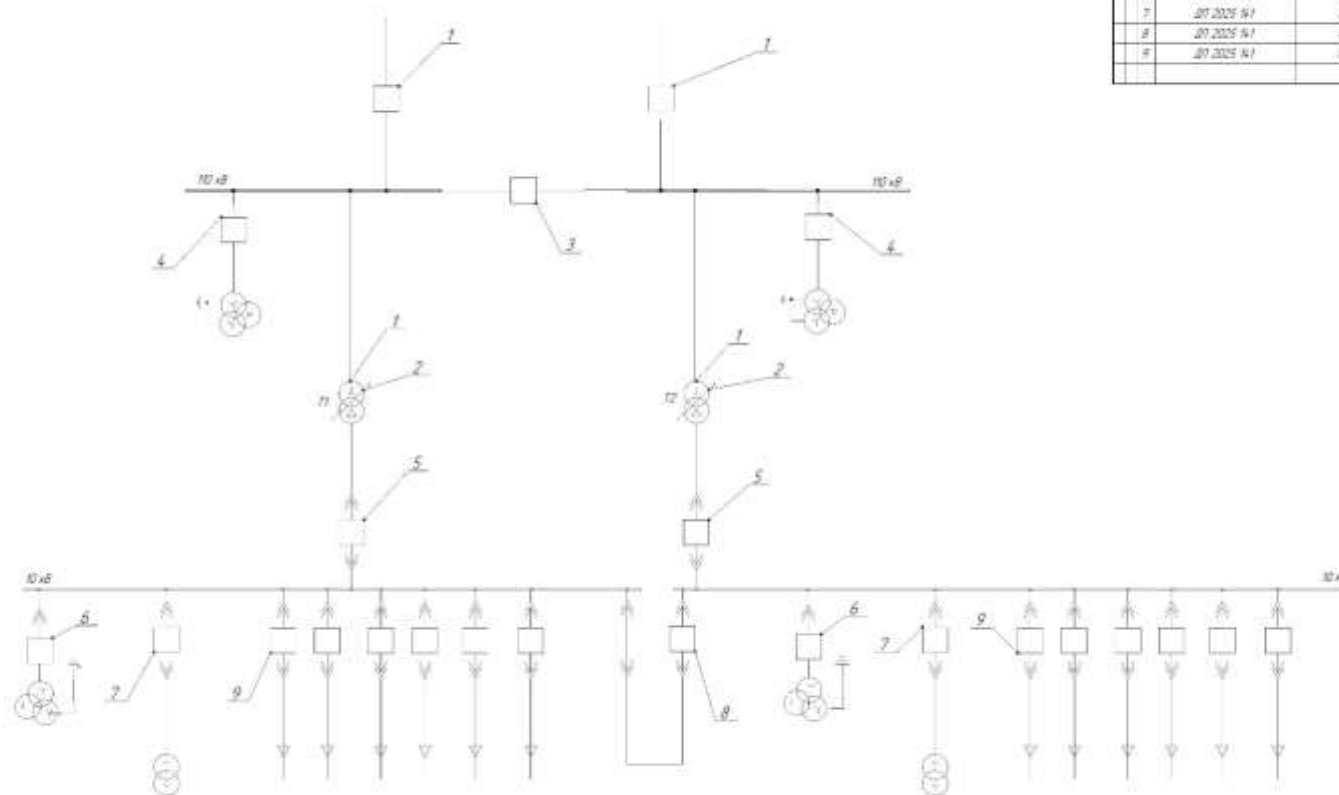
					ДП-2025-141	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Додаток Б

ЛН 5202 ЛН

№ п/п	Наименование	Модель	Д	Примечание
Наименование				
1	ЛН 5202 ЛН	ЛН-1	2	ЛН-1
2	ЛН 5202 ЛН	ЛН-2	2	ЛН-2
3	ЛН 5202 ЛН	ЛН-3	1	ЛН-3
4	ЛН 5202 ЛН	ЛН-4	2	ЛН-4
5	ЛН 5202 ЛН	ЛН-5	2	ЛН-5
6	ЛН 5202 ЛН	ЛН-6	2	ЛН-6
7	ЛН 5202 ЛН	ЛН-7	2	ЛН-7
8	ЛН 5202 ЛН	ЛН-8	2	ЛН-8
9	ЛН 5202 ЛН	ЛН-9	1	ЛН-9



ЛН 5202 ЛН			
ЛН 5202 ЛН	ЛН 5202 ЛН	ЛН 5202 ЛН	ЛН 5202 ЛН
ЛН 5202 ЛН	ЛН 5202 ЛН	ЛН 5202 ЛН	ЛН 5202 ЛН
ЛН 5202 ЛН	ЛН 5202 ЛН	ЛН 5202 ЛН	ЛН 5202 ЛН

