

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

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

“ 11 ” червня 2020 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка (Системи управління виробництвом і розподілом
електроенергії)

на тему: Реконструкція промислової підстанції 35/6 кВ

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕК-зг61-01
(шифр групи)

Шигида Радіон Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник к.т.н., доцент, Курсон О.І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

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

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

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

Студент _____
(підпис)

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1.Схема підстанції.2.Схеми ЗРП35кВ та ЗРП 6 кВ. 3.План розміщення обладнання.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

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

7. Дата видачі завдання 02.11.2018р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Характеристика заданої підстанції	29.04.2020	
2.	Розрахунки струмів короткого замикання	29.04.2020	
3.	Вибір обладнання ЗРП 35 кВ. Схема реконструйованого ЗРП	05.05.2020	
4.	Вибір обладнання РП 6 кВ. Схема реконструйованого ЗРП	10.05.2020	
5.	Розрахунки релейного захисту елементів підстанції.	25.05.2020	
6.	План розміщення обладнання. Графічна ілюстрація	30.05.2020	
7.	Оформлення закінченої роботи	05.06.2020	

Студент

(підпис)

Р.В. Шигида
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

О.І. Курсон
(ініціали, прізвище)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/П	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	141.5115.004.ДБ	Пояснювальна записка	70	
3	A1	141.5115.004.ТК1	Підстанція 35/6 кВ. Схема електрична однолінійна	1	
4	A1	141.5115.004.ТК2	ЗРП 35 та 6 кВ. Схема електрична однолінійна. Розміщення пристроїв РЗА	1	
5	A1	141.5115.004.ТК3	План розміщення обладнання в пересувному контейнері	1	

					141.5115.004.ДБ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість дипломного проекту	Літера	Лист	Листів
Розробив	Шигида Р.В.							
Перевірив	Курсон О.І.							
Н.контр.	Настенко Д.В.							
Затверд.	Толочко О.І.					КПІ ім Ігоря Сікорського, ФЕА, гр. ЕК-зг61-01		

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: **Реконструкція промислової підстанції 35/6 кВ**

Київ – 2020 року

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота складається з 70 аркушів та містить 27 таблиць, 5 рисунків, 3 листи графічної частини, кількість використаних джерел - 27.

Об'єкт дослідження – Промислова трансформаторна підстанція 35/6 кВ.

Предмет дослідження – Типова підстанція 35/6 кВ. Розглянуті всі основні елементи підстанції, наведена однолінійна схема. Дана підстанція підлягає реконструкції. Було вибрано обладнання ЗРП 35 та 6 кВ. Були проведені розрахунки короткого замикання. По розрахунках струмів КЗ був обраний релейний захист. Були вибрані найбільші постачальники обладнання в Україні. Був проведений аналіз доцільності вибору обладнання.

Мета дослідження – Перетворення звичайної трансформаторної підстанції 35/6 кВ в підстанцію модульного типу.

Ключові слова: ЗРП 35 кВ, ЗРП 6 кВ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, SCHNEIDER ELECTRIC, SEPAM.

					141.5115.004.ДБ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 70 sheets and contains 27 tables, 5 figures, 3 letters of the graphic part, the number of used sources - 27.

Object of study - Is the 35/6 kV industrial transformer substation.

Subject of research - Typical substation 35/6 kV. All the main elements of the substation are considered, a single-line scheme is given. This substation is subject to reconstruction. 35 and 6 kV ZRP equipment was selected. Short circuit calculations were performed. According to the calculations of short-circuit currents, relay protection was selected. The largest equipment suppliers in Ukraine were selected. An analysis of the feasibility of equipment selection was conducted.

The aim - Conversion of a conventional 35/6 kV transformer substation into a modular substation.

Key words: 35 kV CS, 6 kV CS , SHORT CIRCUIT, RELAY PROTECTION, SCHNEIDER ELECTRIC, SEPAM.

					141.5115.004.ДБ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП	11
1 АНАЛІЗ СХЕМИ ТА ВСТАНОВЛЕНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПІДСТАНЦІЇ.....	12
1.1 Схема електричних з'єднань.....	12
1.2 Основне обладнання	13
1.2.1 Живлячі трансформатори.....	13
1.2.2 Обладнання ВРП 35 кВ	13
1.2.3 Обладнання ЗРП 6 кВ	16
1.3 Розрахунок струмів короткого замикання.....	21
1.3.1 Вихідні дані	21
1.3.2 Розрахунок струмів КЗ без врахування навантаження	23
1.3.3 Визначення приведених значень опорів.....	23
1.3.4 Еквівалентні перетворення схеми.....	24
1.3.5 Розрахунок струму короткого замикання.....	25
1.4 Постановка задачі проекту.....	27
Висновки	28
2 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЗРП 35 кВ.....	29
2.1 Вимоги до вибору обладнання	29
2.1.1 Основні критерії вибору комірок.....	29
2.1.2 Основні критерії вибору вимикачів.....	30
2.2 Огляд представленого на Україні обладнання.....	30
2.2.1 Обладнання фірми АВВ	30
2.2.2 Обладнання фірми Siemens	31
2.2.3 Обладнання фірми Шнейдер Електрик	32
2.2.4 Обладнання фірми РЗВА.....	33
2.2.5 Остаточний вибір обладнання	34
2.3 Схема реконструйованого ЗРП 35 кВ.	34

					141.5115.004.ДБ	Лист
						7
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Висновки	35
3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЗРП 6 кВ.....	36
3.1 Вимоги до вибору обладнання.....	36
3.1.1 Основні критерії вибору комірок.....	36
3.1.2 Основні критерії вибору вимикачів.....	36
3.2 Огляд представленого на Україні обладнання ЗРП 6 кВ	37
3.2.1.1 Комірки фірми АBB	37
3.2.1.2 Комірки фірми Siemens	38
3.2.1.3 Комірки фірми РЗВА.....	38
3.2.1.4 Комірки фірми Schneider Electric	39
3.2.1.5 Комірки фірми ЗЗВА	40
3.3 Остаточний вибір обладнання	41
3.4 Компановка комплектних розподільчих пристроїв 35 та 6 кВ	42
Висновки	43
4 РЗ ТА АВТОМАТИКА ЖИВЛЯЧОГО ТРАНСФОРМАТОРУ 35 кВ.....	44
4.1 Вибір захистів.....	44
4.1.1 Захист трансформатору	44
4.2 Розрахунок захистів трансформатора	45
4.2.1 Максимальний струмовий захист на стороні НН.....	45
4.2.2 Максимальний струмовий захист на стороні ВН	46
4.2.3 Розрахунок уставок захисту від перевантажень	47
4.3 Реалізація захистів	47
Висновки	48
5 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА ПРИЄДНАНЬ ЗРП 6кВ.....	49
5.1. Пристрої, що підлягають захисту.....	49
5.2. Вибір захистів.....	49
5.2.1 Трансформатор ТМ-400/6/0,4	49
5.2.2 Для двигунів	50
5.3 Розрахунок захистів	50

5.3.1 Трансформатор ТМ-400/6/0,4.....	50
5.3.1.1 Струмова відсічка трансформатора.....	50
5.3.1.2 МСЗ трансформатора.....	52
5.3.1.3 СЗ від симетричних перевантажень.....	52
5.3.2 Для двигунів.....	53
5.3.2.1 СДБМ-630.....	53
5.3.2.2 Захист від міжфазних КЗ.....	54
5.3.2.3 Захист однофазних замикань на землю.....	55
5.3.2.4 Тепловий захист двигунів.....	55
5.3.2.5 Захист від зтягнутого пуску і блокування ротора.....	57
5.3.2.6 Захист мінімальної напруги.....	58
5.4 Реалізація захистів на терміналах Seram.....	65
5.4.1 Для трансформатору ТМ-400 6/0,4.....	65
5.4.2 Для двигунів.....	65
Висновки.....	66
ВИСНОВКИ.....	67
ЛІТЕРАТУРА.....	69

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ВН - висока напруга трансформатора

ЗП - заземлюючий пристрій

ЗРП - закритий розподільчий пристрій

КЗ - коротке замикання

КЛ - кабельна лінія

МСЗ - максимальний струмовий захист

НН - низька напруга трансформатора

РЗА - релейний захист та автоматика

РЗ - релейний захист

РП - розподільчий пристрій

СВ - струмова відсічка

ТН - трансформатор напруги

ТС - трансформатор струму

					141.5115.004.ДБ	Лист
						10
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний світ неможливо уявити без електричної енергії, вона застосовується у всіх галузях промисловості, в сільському господарстві і в побуті, і є основою функціонування і розвитку людського суспільства.

Щоб забезпечити споживачам якісне і надійне електропостачання, необхідно вирішити безліч питань, пов'язаних з виробництвом, передачею та збутом електроенергії, а також забезпечити безпеку життєдіяльності людей і мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

Одним з основних показників надійності роботи електроенергетичних об'єктів є наявність обладнання, котре вже відпрацювало заданий термін експлуатації, морально та фізично застаріло. Наявність такого обладнання може негативно вплинути на надійність роботи, а також на безпеку персоналу, котрі працюють на об'єкті, де таке обладнання розташоване. Тому інвестиції саме в такі об'єкти являються не менш важливими, ніж інвестиції в будівництво нових. Оновлення існуючих електроенергетичних об'єктів дозволяє підвищити надійність їх роботи, дозволяє використовувати новітні засоби керування, захисту, зменшує ризик аварії.

При проектуванні схеми електропостачання дуже важливо вирішити основні завдання - забезпечення необхідної якості електроенергії, надійності і економічності електропостачання.

Мета дипломного проекту – реконструкція промислової підстанції 35/6 кВ, основу чого покладено проектування модульної підстанції 35/6 кВ. При проектуванні, надзвичайно важливо враховувати компактне розміщення встановленого обладнання в єдиному контейнері та розрахувати для цього надійний релейний захист.

					141.5115.004.ДБ	Лист
						11
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ СХЕМИ ТА ВСТАНОВЛЕНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПІДСТАНЦІЇ

1.1 Схема електричних з'єднань

Схема заданої промислової підстанції зображена на листі 1 (рис.1.1). Підстанція має два класи напруги 35 кВ та 6 кВ. Живлення в даній схемі здійснюється від енергосистеми по повітряним лініям Л1 та Л2, кожна з яких підключена через два силових трансформатори до секцій шин 6 кВ.

Розподільчий пристрій (РП) 35 кВ виконано відкритим. На ВРП використовується схема двох блоків трансформатор – лінія. На кожній ділянці 35кВ встановлено роз'єднувачі типу РЛНД, короткозамикачі, від'єднувачі та повітряні розрядники типу РВС-35 кВ. На ВРП 35кВ застосовується схема короткозамикач – від'єднувач. При комутаціях у цій схемі створюється штучне коротке замикання. Це призводить до швидшого зношення обладнання, лінії і негативно впливає на надійність підстанції.

На підстанції встановлено два двохобмоткових масляних силових трансформатори типу ТМН.

Розподільчий пристрій 6 кВ виконано закритим (ЗРП). ЗРП 6 кВ має дві секції збірних шин, з'єднаних між собою секційним вимикачем. На ЗРП розташовано комірки комплектного розподільчого пристрою (КРП). Зі сторони 6 кВ до кожної секції шин приєднані 3 двигуни потужності 630 кВа, 2 двигуни потужності 400 кВа та 1 трансформатор 400 кВа.

					141.5115.004.ДБ			
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Аналіз схеми та встановленого обладнання на підстанції	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Шигида Р.В.							
Перевір.	Курсон О.І.						12	17
Реценз.						КПІ ім Ігоря Сікорського, ФЕА, гр. ЕК-зг61-01		
Н. Контр.	Настенко ДВ.							
Затверд.	Толочко О.І.							

1.2 Основне обладнання

1.2.1 Живлячі трансформатори 35кВ

На заданій підстанції встановлено два трансформатори ТМН4000/35/6. Трансформатори ТМН трифазні, з масляним охолодженням, з регулюванням напруги під навантаженням (РПН), з діапазоном регулювання $\pm 4 \times 2,5\%$ призначені для перетворення напруги в мережах 35 кВ.

Характеристики ТМН 4000/35/6 представлені в табл.1.1.

Таблиця 1.1 - Характеристики ТМН 4000/35/6

Тип трансформатора	Номінальна потужність	Напруга обмотки		Втрати		U_k	I_x
		ВН	НН	P_x	P_{kz}		
	МВА	кВ	кВ	кВт	кВт	%	%
ТМН4000/35/10	4,0	35	6	8	46,5	6	0,8

1.2.2 Обладнання відкритого розподільчого пристрою 35кВ (ВРП)

На заданій підстанції до ВРП входять:

- роз'єднувачі РЛНД-2-35/600, РЛНД-16-35/600, РЛНД-35/600;
- розрядники РВС-35;
- короткозамикачі КЗ-35-600;
- відділювачі ОД-35/600.

Роз'єднувачі РЛНД призначені [1]:

- для створення видимого розриву електричного кола з метою забезпечення безпечного обслуговування електротехнічного обладнання;
- для включення і відключення під напругою знеструмлених ділянок ланцюга високої напруги;

- заземлення відключених ділянок за допомогою стаціонарних заземлювачів;

- для відключення і включення струму холостого ходу трансформаторів.

На ВРП 35 кВ встановлено 6 роз'єднувачів типу РЛНД з одним та двома заземлюючими ножами. Технічні характеристики встановлених роз'єднувачів приведено в таблиці 1.2 [1]

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики роз'єднувачів

Параметр	РЛНД-35/600	РЛНД-2-35/600
Номінальна напруга, кВ	35	35
Номінальний струм, А	600	600
Граничний наскрізний струм, кА	80	80
Струм термічної стійкості, кА/с	12/10	12/10
Тип привода	ПРН-110м	ПРН-220м

Розрядники вентильні серії РВС-35 призначені для захисту від атмосферних перенапруг ізоляції електрообладнання змінного струму частоти 50 і 60 Гц на клас напруги 35 кВ.

Характеристики наведені в таблиці 1.3. [1]

Таблиця 1.3 – Характеристика РВС-35

Клас напруги, кВ	35
Номінальна напруга, кВ	40,5
Пробивна напруга при 50 Гц в сухому стані	
- не менше	78
- не більше	98
Імпульсна пробивна напруга розрядника	125
Залишкова напруга при імпульсному струмі 8 мкс з амплітудою	
3000А	122
5000А	130
10000А	143

Технічні характеристики короткозамикача наведені у таблиці 1.4 [1]

Таблиця 1.4 - Характеристики короткозамикача КЗ-35

Найменування параметру	Значення
Номінальна напруга, кВ	35
Струм замикання, кА	42
Струм термічної стійкості, кА/2с	18
Повний час відключення,с	0,4

Відділювач - це апарат, який служить для виробництва перемикачів без навантаження, а також для автоматичного відключення елементів схеми при відсутності протікання робочого струму. Характеристики відділювача ОД-35-600 наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Характеристики відділювача ОД-35-600

Тип	Номинальна напруга, кВ	Номинальний струм, А	Струм КЗ		Десятисекундний струм	Повний час відключення, с
			Амплітуда	Діюче значення		
ОД-35 600	35	600	80	31	12.	0,5

1.2.3 Обладнання закритого розподільчого пристрою 6кВ (ЗРП 6кВ)

На заданій підстанції до ЗРП входять:

- масляні вимикачі ВМП-6П-600;
- приводи масляних вимикачів ПЕВ-14;
- трансформатори власних потреб ТМ-63/6/0,23;
- заземлюючі трансформатори ТЗЛ-200;
- трансформатори напруги НОМ-6,0;
- запобіжники ПКТ-6.

Вимикачі типу ВМП відносяться до малооб'ємних масляних вимикачів.

Характеристики ВМП-10П наведені у вигляді таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Характеристики вимикачів

Характеристики ВМП-6	600А
Вага масла, кг	4,5
Опір струмопроводу, мкОм:	
Всього контуру	55

Продовження таблиці 1.6

Ділянки роликів	22
Ділянки розетки	33

Привід електромагнітний постійного струму типу ПЕВ-14

Характеристики ПЕВ-14 наведені у вигляді табл.1.7.

Таблиця 1.7 – Характеристики ПЕВ-14

Параметри	Числове значення
Номінальна напруга постійного току магніту, В	220
Границі робочої напруги (в % від номінальної напруги)	
- Ввімкнення	85...110
- Вимикання	65...110
Опір катушки при 20° С, Ом:	20 кА 31,5 кА
110 В	0,54±0,02 0,45±0,02
220 В	2,18±0,09 1,64±0,08

Трансформатор ТМ-63 - трифазний двох обмотувальний понижуючий загальнопромислового застосування, призначений для внутрішньої і зовнішньої установки.

Випускається на номінальну напругу первинної обмотки 6 або 10 кВ. Номінальна напруга вторинної обмотки 0,4 або 0,23 кВ. Для збільшення поверхні охолодження в трансформаторах застосовуються гофровані стінки.

Трансформатори ТМ-63/6, забезпечуються маслорозширювачем, що забезпечує наявність масла при всіх режимах роботи трансформатора і коливаннях температури навколишнього середовища.

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		17

Характеристики трансформатора для власних потреб наведені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Характеристики трансформатора ТМ-63

Тип, номінальна, потужність, кВА	Схема	U _н , кВ	Р _к , Вт	Р _{хх} , Вт	U _к , %	I _{хх} , %
ТМ-63	Δ/Y _н -11	6, 10	1280 1460 1460	220	4,5	2,4

Трансформатор ТЗЛ-200 є трансформатором струму нульової послідовності, і призначений для установки на кабель. Використовується для подачі напруги в ланцюг релейного захисту при замиканні на землю будь-якої з жил трифазного кабелю. Трансформатор ТЗЛ-200 встановлюють в комплектні розподільчі пристрої.

Характеристики представлені у вигляді таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Характеристики трансформатора ТЗЛ-200

Параметр	Величина
Частота мережі, Гц	50
Коефіцієнт трансформації	60/1
Односекундний струм термічної стійкості вторинної обмотки, А	140
Значення випробувальної однохвилинної напруги, кВ	3
Значення чутливості захисту по первинному току, при роботі з реле РТЗ-51 з уставкой 0,03А при паралельному з'єднанні обмоток реле і опором з'єднувальних проводів 1 Ом, не більше, А	2,8

Трансформатор НОМ-10-66 - однофазний масляний вимірювальний трансформатор напруги. Призначений для зниження високої первинної

напруги до значень придатних для вимірювань, виробляє сигнал вимірювальної інформації для приладів, а також ланцюгів релейного захисту та автоматики в мережах з ізольованою нейтраллю.

Трансформатор НОМ-10-66 встановлюється в шафах комплектних розподільних пристроїв.

Характеристики представлені у вигляді таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Характеристика трансформатора НОМ-6-66

Найменування параметру	Величина
Номінальна напруга, кВ	6; 10,5; 11
Значення найбільшої робочої напруги, кВ	12
Значення номінальної напруги вторинної обмотки, В	100
Значення опору ізоляції обмоток 20°C, МОм, не менше	300
Значення номінальної потужності вторинної обмотки для класу точності	
0,5	75
1	150
3	300
Гранична потужність, ВА	630
Основна похибка по напрузі, %	±0,48
Основна похибка по куту	±20
Маса, кг	
для виконання У2	31
для виконання Т2	32

Високовольтний запобіжник ПКТ призначений для захисту силових трансформаторів, трансформаторів напруги кабельних і повітряних ліній.

Переважно використовуються при монтажі в комплектних трансформаторних підстанціях

На даний момент з'явилася величезна кількість виробників даного обладнання, які розробляють власні ТУ і внаслідок цього отримують можливість виготовляти дешевше, ніж виробники, які виробляють ПКТ відповідні ДСТУ.

Характеристика ПКТ-6 наведена в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Характеристика ПКТ-6

Найменування	Одиниця виміру	Числове значення
Номінальна робоча напруга	кВ	6
Найбільша робоча напруга	кВ	7,2
Номінальний струм	А	20
Номінальний струм вимкнення	кА	31,5
Діаметр	мм	55

Продовження таблиці 1.11

Довжина	мм	412
Маса	кг	4,9 (1,95)

1.3 Розрахунок струмів короткого замикання

1.3.1 Вихідні дані

Розрахункова схема електричної системи зображена на рис. 1.1, коротке замикання в точках К1-2.

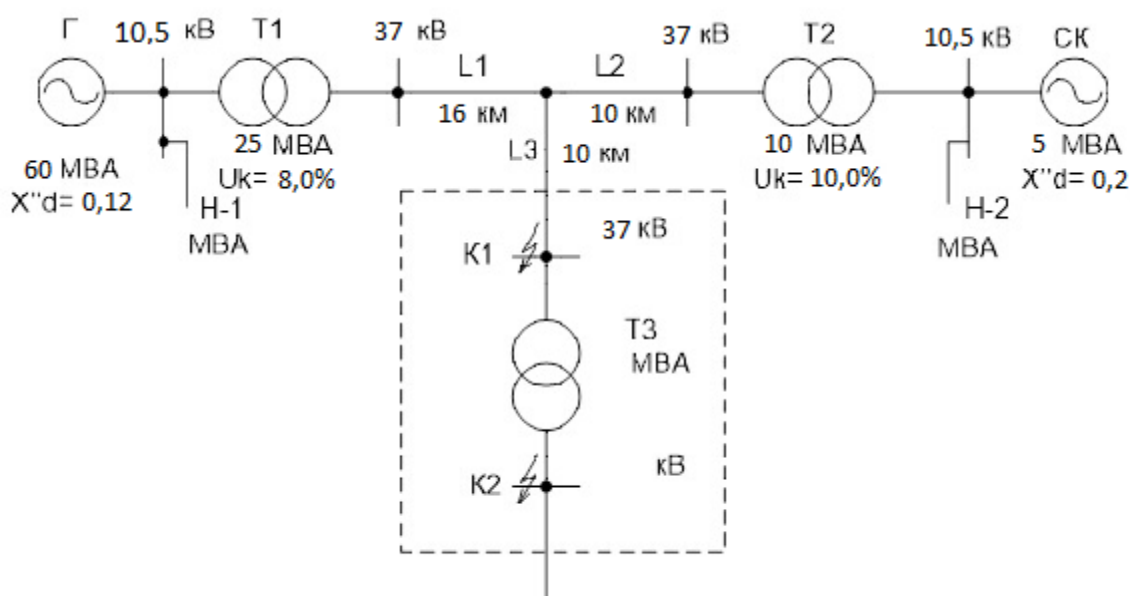


Рисунок 1.1. Розрахункова схема електричної системи

Параметри елементів схеми електричної системи приведені в таблицях 1.12-1.14.

Таблиця - 1.12. Параметри ліній електропередач

Лінія	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$l, \text{км}$	$X_0, \text{Ом/км}$
L_1	37	16	0,4
L_2	37	10	0,4
L_3	37	10	0,4

Таблиця - 1.13. Параметри трансформаторів

Позначення	$S_{\text{ном}}, \text{МВА}$	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$		$U_k, \%$
		ВН	НН	
T1	25	37	10,5	8
T2	10	37	10,5	10
T3	4	37	6	10

Таблиця - 1.14. Параметри генератора та синхронного компенсатора

Позначення	$S \text{ МВА}$	$X_d'' \text{ в.о.}$
Г	60	0,12
СК	5	0,12

Значення надперехідних опорів генератора та синхронного компенсатора наведені в таблиці 1.13. Базисна потужність S_B рівна 100 МВА, напруга: $U_0 = U_{\text{ср}}$

Параметри надперехідних ЕРС:

- а) генератора - $E_G = 1,08$;
- б) синхронного компенсатора - $E_{\text{СК}} = 1,1$;
- в) навантаження:
 - 1) $X_H'' = 0,35 \text{ в.о.}$
 - 2) $E_H = 0,85 \text{ в.о.}$

1.3.2 Розрахунок струмів КЗ без врахування навантаження

1.3.2.1 Еквівалентна схема заміщення без врахування навантаження зображена на рис. 1.2.

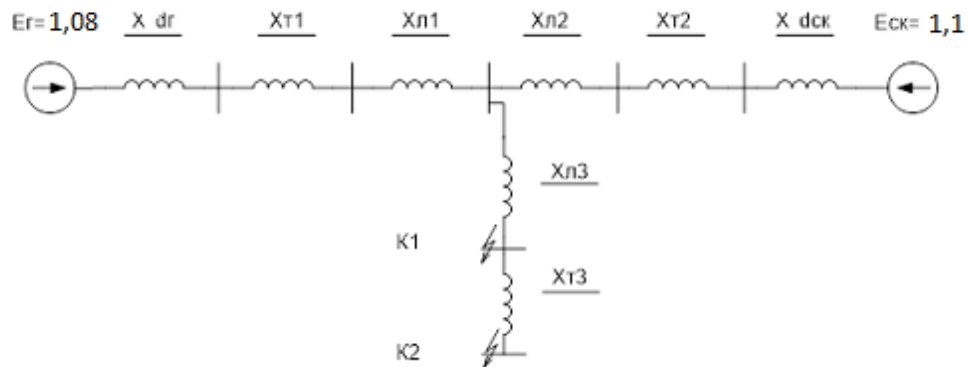


Рисунок 1.2. Еквівалентна схема заміщення без врахування навантаження

1.3.3 Визначення приведених значень опорів

Приведений опір трансформаторів визначається за формулою:

$$x_m = \frac{U_{km}}{100\%} \cdot \frac{S_{\phi}}{S_{ном.т.}} \quad (1.1)$$

$$X_{m1} = \frac{8 \cdot 100}{100 \cdot 25} = 0.32 \text{ (в. о.)} - \text{для трансформатора 1;}$$

$$X_{m2} = \frac{10 \cdot 100}{100 \cdot 10} = 1 \text{ (в. о.)} - \text{для трансформатора 2;}$$

$$X_{m3} = \frac{6 \cdot 100}{100 \cdot 4} = 1.5 \text{ (в. о.)} - \text{для трансформатора 3;}$$

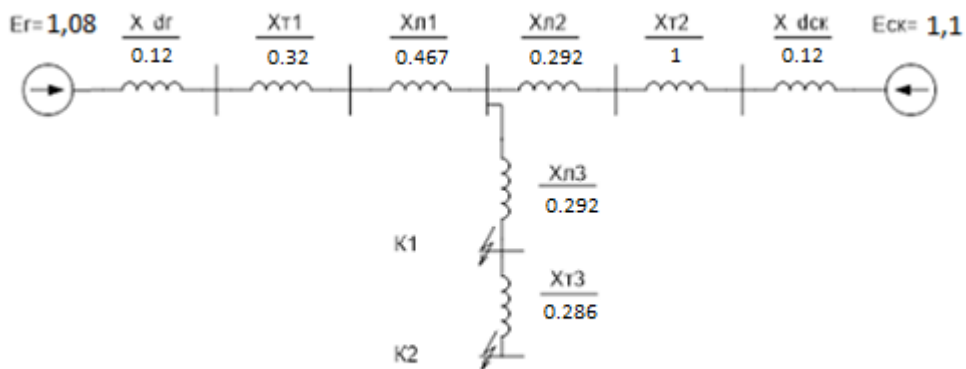
Приведений опір ліній:

$$x_L = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\phi}}{U^2_{\phi}} \quad (1.2)$$

$$X_{л1} = 0.4 \cdot 16 \frac{100}{37^2} = 0.467 \text{ (в. о.)} - \text{для лінії 1;}$$

$$X_{л2} = 0.4 \cdot 10 \frac{100}{37^2} = 0.292 \text{ (в. о.)} - \text{для лінії 2;}$$

$$X_{л3} = 0.4 \cdot 10 \frac{100}{37^2} = 0.292 \text{ (в. о.)} - \text{для лінії 3;}$$



1.3.4 Еквівалентні перетворення схеми

Послідовне з'єднання елементів:

$$x_{11} = x_{дГ} + x_{л1} + x_{л2} \quad (1.3)$$

$$X_{11} = 0.12 + 0.32 + 0.467 = 0.907 \text{ (в. о.)}$$

$$x_{12} = x_{дСК} + x_{л2} + x_{л3} \quad (1.4)$$

$$X_{12} = 0.12 + 1 + 0.292 = 1.412 \text{ (в. о.)}$$

а) для точки КЗ — К1:

$$X_{13} = X_{л3} = 0.292 \text{ (в. о.)}$$

б) для точки КЗ — К2:

$$X_{13} = X_{т3} + X_{л3} = 1.792 \text{ (в. о.)}$$

Вказані перетворення зображені на рис. 1.3 (для точки КЗ – «К2»)

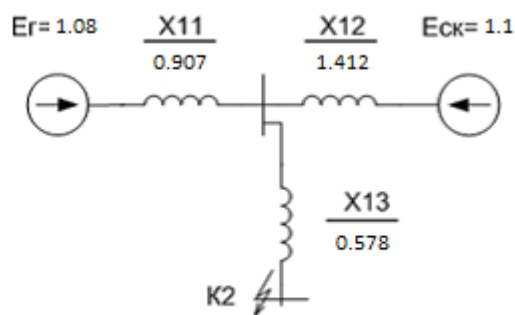


Рисунок 1.3. Еквівалентна схема після перетворень

Заміна двох джерел еквівалентним:

$$E_{PE3} = \frac{E_{Г1} \cdot x_{12} + E_{СК} \cdot x_{11}}{x_{11} + x_{12}} \quad (1.5)$$

$$E_{PE3} = \frac{1.08 * 1.412 + 1.1 * 0.907}{0.907 + 1.412} = 1.088 \text{ (в. о.)}$$

Послідовно-паралельне з'єднання:

$$x_{PE3} = \frac{x_{11} \cdot x_{12}}{x_{11} + x_{12}} + x_{13} \quad (1.6)$$

а) для точки КЗ – К1:

$$X_{PE3} = \frac{0.907 * 1.412}{0.907 + 1.412} + 0.292 = 0.844 \text{ (в. о.)}$$

б) для точки КЗ – К2:

$$X_{PE3} = \frac{0.907 * 1.412}{0.907 + 1.412} + 1.792 = 2.343 \text{ (в. о.)}$$

Спрощена еквівалентна схема зображена на рисунку 1.4.

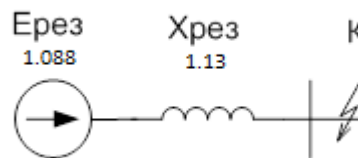


Рисунок 1.4. Спрощена еквівалентна схема.

1.3.5 Розрахунок струму короткого замикання

Початкове значення періодичної складової струму КЗ для точки К у іменованих одиницях:

$$I_K = \frac{E_{рез}}{x_{рез}} \cdot I_{\sigma} \quad (1.7)$$

де I_{σ} - базисний струм що знаходиться за формулою

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} \quad (1.8)$$

а) для точки КЗ – К1:

$$I_{\phi} = \frac{100}{\sqrt{3} * 35} = 1.65 \text{ (кА)}$$

$$I_{K3} = \frac{1.088 * 1.65}{1.13} = 2.124 \text{ (кА)}$$

б) для точки КЗ – К2:

$$I_{\phi} = \frac{100}{\sqrt{3} * 6} = 9.623 \text{ (кА)}$$

$$I_{K3} = \frac{1.088 * 9.623}{2.343} = 4.468 \text{ (кА)}$$

Ударний струм в точці КЗ:

$$i_{y\phi} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{y\phi} \cdot I_{\kappa} \quad (1.9)$$

де $\kappa_{y\phi}$ - ударний коефіцієнт.

а) для точки КЗ – К1:

Коефіцієнт $\kappa_{y\phi}$ приймаємо рівним 1.8.

$$I_{y\phi} = \sqrt{2} * 1.8 * 2.124 = 5.408 \text{ (кА)}$$

б) для точки КЗ – К2:

Коефіцієнт $\kappa_{y\phi}$ приймаємо рівним 1,8:

$$I_{y\phi} = \sqrt{2} * 1.8 * 4.468 = 11.42 \text{ (кА)}$$

Розраховані значення мають бути застосовані для вибору обладнання та пристроїв релейного захисту підстанції.

1.4. Постановка задачі проекту

Головною причиною реконструкції відкритих розподільчих пристроїв є моральна і фізична застарілість обладнання та невідповідність його новим євростандартам, так як воно було закладене у 60-х роках минулого століття. Це, в свою чергу, є причиною частих відмов обладнання. У зв'язку з цим доцільно встановлення закритих розподільчих пристроїв замість існуючих з застосуванням модульного принципу.

Модульний принцип побудови системи електропостачання, при якому елементами є функціонально і конструктивно оформлені блоки, дозволяє спростити обслуговування, підвищити ступінь заводської готовності обладнання за рахунок можливості поблочного налагодження і збільшити терміни функціонування електрообладнання. За рахунок підвищення надійності комутаційних і захисних апаратів і скорочення часу їх обслуговування істотно знижується і вплив людського фактора на надійність електропостачання.

Для підвищення надійності живлення, мобільності, пропонується розмістити комутаційне обладнання живлення кожної секції підстанції в контейнер, який створить окремий промисловий модуль.

Для проектування модулю необхідно:

- 1) Провести вибір обладнання ЗРП 35 кВ, що включає в себе:
 - Вибір комірки з вимикачем;
 - Компоновку обладнання у відведеному приміщенні ЗРП;
- 2) Провести вибір схеми і обладнання ЗРП 6 кВ, що включає в себе:
 - Вибір комірок з вимикачами;
 - Компоновку обладнання у відведеному приміщенні ЗРП;
- 3) Релейний захист приєднань ЗРП 35/6, що включає в себе:
 - 1) Вибір захистів
 - 2) Розрахунок релейного захисту силових трансформаторів;
 - 3) Розрахунок релейного захисту двигунів;

4) Розрахунок релейного захисту трансформатору.

Для підвищення надійності живлення, доцільно передбачити можливість об'єднання модулів. [1]

Висновки

1. Обладнання підстанції морально та фізично застаріло і потребує заміни.
2. При реконструкції підстанції доцільне встановлення закритих розподільчих пристроїв замість існуючих із застосуванням модульного принципу.
3. Прийнята односекційна схема підключення приєднань 6 кВ.
4. Застосування модульного принципу та сучасних комплектних розподільчих пристроїв 35 кВ та 6 кВ, дозволяє розміщення живлення кожної секції в контейнері.
5. Розрахунки струмів к.з. при розрахунковій схемі живлення дають змогу вибрати обладнання підстанції.

2 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЗРП 35 кВ

Для підвищення надійності обладнання, економії площі, більш зручного обслуговування при низьких температурах та зменшення впливу навколишнього середовища, комутаційне обладнання 35 кВ переносимо в ЗРП 35 кВ контейнеру.

2.1 Вимоги до вибору обладнання:

На ЗРП 35 кВ вибираються комірки із встановленим обладнанням за відповідними критеріями [4]. Порівняння та вибір комірок проводиться по габаритним розмірам та встановленим електротехнічним обладнанням.

2.1.1 Основні критерії вибору комірок:

- а) Усе обладнання має бути розташоване в комірках;
- б) Пропонується застосувати РП закритого типу;
- в) Ізоляція в комірках – повітряна [4];
- г) Комірка повинна швидко ремонтуватись у випадку несправності [4];
- д) Габарити комірок мають бути мінімальними і задовольняти розмірам приміщення;
- е) Комірки мають містити дуговий захист;

					141.5115.004.ДБ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Вибір обладнання ЗРП 35 кВ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Шигида Р.В.						
Перевір.		Курсон О.І.					29	7
Реценз.						КПІ ім Ігоря Сікорського, ФЕА, гр. ЕК-зг61-01		
Н. Контр.		Настенко Д. В.						
Затверд.		Толочко О.І..						

2.1.2 Основні критерії вибору вимикачів:

а) Номінальна напруга не менша $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мер.ном}} = 38,5 \text{ кВ}$;

Номінальний (робочий) струм не менший:

$$\text{для вхідних приєднань: } I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роб.макс}} = \frac{S}{U_p \cdot \sqrt{3}} = \frac{4000}{38,5 \cdot \sqrt{3}} = 60 \text{ А};$$

б) Струм відключення не менший $I_{\text{відкл.}} \geq I_{\text{кз}} = 2,1 \text{ кА}$;

в) Струм електродинамічної стійкості не менший $I_{\text{дин.}} \geq I_{\text{уд}} = 5,36 \text{ кА}$;

г) Для уникнень перенапруг при комутаціях електричних двигунів і збільшення надійності вибираємо елегазовий вимикач [3].

2.2 Огляд представленого на Україні обладнання ЗРП 35 кВ:

Вибір комірок

На ринку України представлені наступні виробники високовольтних комірок: ABB, Siemens, Schneider Electric та РЗВА.

2.2.1 Обладнання фірми “ABB”

ABB (ASEA Brown Boveri Ltd.) – всесвітньо відома шведсько-швейцарська компанія, яка займає стійкі позиції найбільшого в світі постачальника систем для передачі й розподілу електроенергії, промислових моторів та електроприводів, а також систем розподіленої автоматизації промислових виробництв.

Для порівняння були обрані комірочки типу ZS3.2 з повітряною ізоляцією, які мають можливість встановлення елегазового вимикача типу HD4.

Комірочки ZS3.2:

Технічна характеристика комірочки типу ZS3.2 наведена в табл. 2.1.

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

Таблиця 2.1 - Технічна характеристика комірки ZS3.2 [15]

Найменування параметру	Значення параметру
Номінальна напруга, кВ	36
Найбільша робоча напруга, кВ	40.5
Випробувальна напруга 50Гц, 1 хв, кВ	70
Номінальна напруга імпульсу блискавки, кВ	170
Струм термічної стійкості 4с кА	31,5
Номінальний граничний струм, кА	80
Номінальний струм КЗ, кА	31,5
Номінальний струм відхідних шин	3150
Номінальний струм збірних шин, А	3150
Габарити	
Висота	2400
Ширина, мм	1200
Глибина	2565
Маса, кг	3000

2.2.2 Обладнання фірми “Siemens”

Siemens AG - один з найбільших в світі виробників енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій, Siemens є лідером в області будівництва морських вітряних турбін і є провідним постачальником турбін комбінованого циклу для вироблення електроенергії, а також рішень з передачі електроенергії, рішень для інфраструктури та автоматизації, а також приводів і програмних рішень для промисловості.

Компанія Siemens пропонує КРП вище 72,5 кВ з елегазовою ізоляцією і вакуумними вимикачами. Так, як пункт г) у підрозділі 2.1.2 не виконується – комірки цієї фірми не розглядаються.

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		31

2.2.3 Обладнання Шнайдер Електрик

Schneider Electric – це французька компанія, яка представляє ефективні та екологічні рішення по забезпеченню доступу до електроенергії та автоматизації. Компанія виробляє обладнання для центрів обробки даних, об'єктів інфраструктури та промисловості.[13]

Для порівняння було вибрано комірки типу Fluaір f400 для ЗРП 35 кВ. Основні технічні характеристики комірки даного типу наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Технічна характеристика комірки «Fluaір f400» [13].

Найменування параметру	Значення параметру
Номінальна/найбільша робоча напруга, кВ	40,5
Випробна напруга промислової частоти, 1 хв, кВ	85
Випробна напруга грозового імпульсу, кВ	185
Номінальний струм вимикача, А	1250
Струм термічної стійкості, 1с, кА	31,5
Номінальний робочий струм збірної шини, А	1250
Стійкість до внутрішньої дуги, кА	31,5
Габарити, мм	
Ширина, мм	1100
Висота, мм	2255
Глибина, мм	3074
Маса, кг	1929

2.2.4 Обладнання “РЗВА”

РЗВА (Рівненський завод високовольної апаратури) – дане підприємство здійснює повний цикл виробництва обладнання, класами напруг від 6 кВ до 220 кВ. Прикладами такого обладнання є комплектні трансформаторні підстанції, комутаційні апарати (генераторні вимикачі 10 кВ, вакуумні вимикачі до 110 кВ), роз’єднувачі 35 кВ та 110 кВ та комплектні розподільчі пристрої (КРП) до 35 кВ.

Для порівняння було обрано КРП 35 кВ типу КУ 35. Дана комірka в стандартній комплектації має встановлений вакуумний вимикач типу ВР-35. Але є можливість встановити елегазовий вимикач вірми АВВ типу HD4.

Технічні характеристики комірки КУ35 вказані в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики КРП серії КУ35 [14]

Найменування параметра,	Значення параметру
Номинальна напруга, кВ	35
Найбільша номінальна напруга, кВ	40,5
Номинальний струм головних з'єднань збірних шин, А	630; 1600;
Номинальний струм відключення вимикача, кА	20
Струм термічної стійкості, 3 с, кА	20
Номинальний струм електродинамічної стійкості головних з'єднань, кА	51

Габарити, мм	
Ширина	1500
Висота	2800
Глибина	2532
Маса, кг	2000

2.2.5 Остаточний вибір обладнання

Для порівняльного аналізу зведемо основні параметри, які необхідні для вибору комірок у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Зведені характеристики комірок

Фірма виробник	Найменування	Найменування параметру			Габарити мм			Вимикач
		U _н , кВ	I _н , А	I _{откл} , кА	Ш	В	Г	
ABB	ZS3.2	36	3150	80	1200	2400	2565	Елегаз
РЗВА	KУ35	35	630 1600	20	1500	2800	2532	Елегаз
Schneider Electric	Fluair 400	40,5	1250	31,5	1100	2255	3074	Елегаз

З усіх критеріїв, які були наведені вище, повністю підійшли комірки типу «Fluair f400» від виробника Schneider Electric. Вони підходять по всім електротехнічним вимогам, а принцип пересувного модулю особливо критичний, тому при реконструкції даної підстанції будуть встановлені саме ці КРП. План розміщення комірок зображено на листі 3.

2.3 Схема реконструйованого ЗРП 35 кВ

Комірка Fluair 400 – комплектний розподільчий пристрій, призначений для встановлення в центрі живлення, розподільчих пунктах великої потужності на стороні 35 кВ. Ланцюги вторинної комутації розподільчого пристрою проходять над відсіками низької напруги комірки. Кабелі низької напруги можуть входити в клітинку зверху чи знизу. Управління переміщенням вкочування /викочування проводиться з відсіку вимикача.

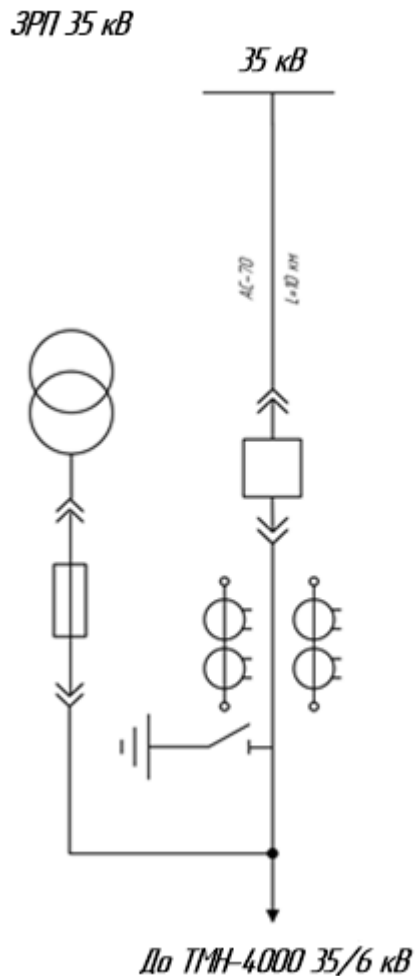


Рисунок 2.1 – Схема ЗРП 35 кВ

Висновки

1. У даному розділі обиралися обладнання для сторони 35 кВ Відбір обладнання відбувається по критеріям, основними з яких є: надійність, повітряна ізоляція та габарити, елгасова ізоляція вимикачів
2. Вибір проводився між фірмами ABB, Siemens AG, Schneider Electric і РЗВА за критеріями, вказаними в пункті 2.1.1.
3. Серед розглянутого обладнання, по всіх пунктах підійшли КРП компанії Schneider Electric, типу «Fluair f400».
4. Розроблена схема ЗРП 35 кВ виконується на двох комірках «Fluair f400».
5. Схема реконструйованого ЗРП 35 кВ та 6 кВ зі встановленими захистами зображено на листі 2.

3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЗРП 6 кВ

3.1 Вимоги до вибору обладнання:

На ЗРП 6 кВ вибираються комірки із встановленим обладнанням за критеріями. [4]. Порівняння та вибір комірок проводиться по габаритним розмірам та встановленим електротехнічним обладнанням, найважливішим з яких, є вимикач.

3.1.1 Основні критерії вибору комірок:

- а) Встановлене обладнання повинне розташовуватись в комірках;
- б) В усіх комірках має бути повітряна ізоляція [4];
- в) При виявленні поломки, комірка повинна підлягати швидкому відновленню [4];
- г) Габарити комірок мають бути мінімальними і задовольняти розмірам приміщення;
- д) Комірки мають містити дуговий захист.

3.1.2 Основні критерії вибору вимикачів:

- а) Номінальна напруга не менша $U_{НОМ} \geq U_{МЕР.НОМ} = 6,6 \text{ кВ}$;
- б) Номінальний (робочий) струм не менший:
для вхідних приєднань: $I_{НОМ} \geq I_{РОБ.МАКС} = \frac{S}{U_p \cdot \sqrt{3}} = \frac{4000}{6,6 \cdot \sqrt{3}} = 350 \text{ А}$;
- в) Струм відключення не менший $I_{ВІДКЛ.} \geq I_{КЗ} = 11,86 \text{ кА}$;
- г) Струм електродинамічної стійкості не менший $I_{ДИН.} \geq I_{УД} = 31,04 \text{ кА}$;
- д) Струм термічної стійкості не менший $I_{ТЕРМ.} \geq I_{КЗ} = 11,86 \text{ кА}$;
- е) Клас ізоляції: “F”;

					141.5115.004.ДБ						
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат							
Розроб.		Шигида Р.В.			Вибір обладнання ЗРП 6 кВ			Лім.	Арк.	Акрушіє	
Перевір.		Курсон О.І.								36	8
Реценз.								КПІ ім Ігоря Сікорського, ФЕА, гр. ЕК-зг61-01			
Н. Контр.		Настенко Д.В.									
Затверд.		Толочко О.І.									

ж) Для уникнення перенапруг при комутації високовольтних двигунів пропонується застосовувати елегазові вимикачі, які збільшують надійність роботи ЗРП;

з) Мінімальні габарити (якомога компактніше розмістити пристрої в приміщенні модульної пересувної підстанції контейнерного типу).

3.2 Огляд представленого на Україні обладнання ЗРП 6 кВ

Вибір комірок

На ринку України представлено такі фірми виробники високовольтних комірок, як комірки ABB, Siemens, Schneider Electric, P3BA.

3.2.1.1 Комірки фірми “ABB”

Комірки UniGear ZS1: [8]

Технічні характеристики комірок типу «UniGearZS1 VSC7/P» наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика комірки «UniGear ZS1 VSC7/P» [8].

Найменування параметру	Значення параметру
Номінальна напруга, кВ	6,6
Найбільша робоча напруга, кВ	7,2
Випробувальна напруга 50Гц, 1 хв , кВ	20
Випробувальна напруга імпульс, кВ	60
Номінальна частота, Гц	50
Струм термічної стійкості 3с кА	50
Номінальний струм електродинамічної стійкості, кА	125
Номінальний струм відключення вбудованого вимикача, кА	50
Номінальний струм збірних шин, А	4000
Номінальний струм відхідних шин	630, 1600
Граничний струм внутрішньо дугового замикання, кА 1с	40
Вид лінійних високовольтних приєднань	Кабельне

Продовження таблиці 3.1

Габарити	
Висота	2595
Ширина	650
Глибина	1340

3.2.1.2 Комірки фірми “Siemens”

Для даного рівня напруги фірма Siemens пропонує комірки, в які встановлюються тільки вакуумні вимикачі. Оскільки одним з критеріїв є встановлення елегазових вимикачів, то обладнання даної компанії не підходить.

3.2.1.3 Обладнання фірми “РЗВА”

Компанія “РЗВА” для класу напруги 6 кВ виробляє тільки комірки типу КУ6С. Технічні характеристики таких комірок наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики КРП серії КУ6С [10].

Найменування параметра,	Значення параметру
Номінальна напруга, кВ	6,0
Найбільша номінальна напруга, кВ	7,2
Номінальний струм головних з'єднань збірних шин, А	630; 1600;
Номінальний струм відключення вимикача, кА	40
Струм термічної стійкості, 3 с, кА	40
Номінальний струм електродинамічної стійкості головних з'єднань, кА	102; 128

Продовження таблиці 3.2

Габарити, мм	750x1200x2300
Ширина	750
Висота	2300
Глибина	1400
Маса, кг	від 600

У базовій комплектації, до комірки такого типу додається вакуумний вимикач типу ВРС-6. Але, згідно технічних характеристик, можливе встановлення елегазового вимикача типу HD4 фірми ABB.

3.2.1.4 Обладнання фірми “Schneider Electric”

Технічна характеристика комірки «MCset» представлена в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічна характеристика комірки типу MCset AD1/3 [11].

Найменування параметру	Значення параметру	
	AD1	AD3
Номінальна/найбільша робоча напруга, кВ	6,6/7,2	
Іспитова напруга промислової частоти, 60 сек, кВ	20	
Іспитова напруга грозового імпульсу кВ	60	
Номінал. струм вимикача, А	630	2500
Номінал. струм відключення, кА	31,5	50
Струм термічної стійкості, 3с, кА	31,5	50
Струм термічної стійкості, 1с, кА	31,5	40
Номінальний робочий струм збірної шини, А	4000	
Стійкість до внутрішньої дуги, кА	25	

Продовження таблиці 3.3

Габарити, мм		
Ширина	570	900
Висота	2300	2300
Глибина	1575	1575

3.2.1.5 Комірки фірми “ЗЗВА”

З продукції, яку пропонує Запорізький завод високовольтної апаратури (ЗЗВА), найбільше підходить КРП типу КМ-1Ф. В даних комірках можливе встановлення елегазових вимикачів типу LF1 або LF2 компанії “Schneider Electric”. Технічні характеристики комірок типу КМ-1Ф наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики комірки типу КМ-1Ф. [27]

Найменування параметру	Значення параметру
Номінальна напруга, кВ	6
Найбільша робоча напруга, кВ	7,2
Струм термічної стійкості 3с кА	20
Номінальний струм відключення вимикача, кА	20
Номінальний струм головних ланцюгів шаф, А	630
Номінальний струм збірних шин, А	630
Габарити, мм	
Висота	2150
Ширина	750
Глибина	1300

3.3 Остаточний вибір обладнання

Для порівняльного аналізу зведемо основні параметри, які необхідні для вибору комірок, у зведену табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Зведені характеристики комірок

Фірма виробник	Найменування	Найменування параметру			Габарити мм			Вимикач
		U _н , кВ	I _н , А	I _{откл} , кА	ширина	висота	глибина	
ABB	Unigear ZS1 VSC7/P	6,6	4000	50	650	2595	1340	Елегаз
РЗВА	KY6C	6,0	630 1600	40	750	2300	1400	Елегаз
Schneider Electric	MCset AD1	6,6	630 2500	31,5	570	2300	1575	Елегаз
ЗЗВА	KM-1Ф	6	630	20	750	2150	1300	Елегаз

Комірки типу Unigear ZS1VSC7/P фірми ABB не підходять, оскільки мають найбільші габарити. Для комірок типу KY6C компанії РЗВА елегазові вимикачі необхідно обирати окремо, а це збільшує сумарну вартість комірки. Комірки типу KM-1Ф компанії ЗЗВА занадто широкі (750мм). КРП типу MCset фірми Schneider Electric підходить по всім критеріям та має найнижчу вартість.

Отже, на ЗРП 6 кВ будуть встановлені комірки типу MCset AD1/AD3 від Schneider Electric.

На листі 2 зображено схему ЗРП 6 кВ на базі вибраного обладнання.

На стороні 6кВ застосовуються дві секції, які з'єднуються секційним вимикачем. В кожному контейнері пропонується застосовувати обладнання однієї секції, як показано нижче.

3.4 Компонівка комплектних розподільчих пристроїв 35 та 6 кВ

На листі 3 зображено креслення контейнерного модуля у двох виглядах: вигляд зверху та вигляд збоку, щоб було можливим відобразити повні габарити модулю та висоту комірок. Оскільки це модульна підстанція, то її габарити та маса обиралися згідно норм ПДР (Правил дорожнього руху) для безпечного транспортування [26]. Габарити модулю: висота – 2500 мм, ширина – 3500 мм та довжина – 12000 мм. Вага, згідно правил, не перевищує 46 тон [26]. Конструкція даху – стандартна, похила. З обох боків модулю встановлено двері, щоб було зручніше обслуговувати обладнання.

На даній підстанції використовуються масляні силові трансформатори. Оскільки масляні трансформатори, на відміну від сухих, мають вищу вірогідність загоряння, то їх необхідно встановлювати зовні. Тому, в середині контейнера не відводиться місце для трансформаторів.

Під'єднання всіх комірок (35 кВ та 6 кВ) виконується знизу, тому КРП встановлені на фундамент, під яким буде виконана кабельна прокладка до обладнання. Всі комірки 6 кВ виставлені якомога компактніше, враховуючи простір, необхідний для викотних вимикачів, що встановлені в даних КРП.

Комірки 35 кВ типу Fluair f400 встановлюються окремо, оскільки це інший клас напруги. КРП 35 кВ додатково огорожується сіткою, а всі струмопровідні частини знаходяться на відстані не менше 160 мм від комірки, згідно ПУЕ [12]. Для того, щоб контролювати вологу та температуру, необхідно виконати ущільнення контейнера додатковою стінкою та встановити кондиціонер.

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42

Висновки

1. Вибір обладнання 6 кВ для даної підстанції проводився серед п'яти компаній-виробників, а саме: ABB, ЗЗВА, РЗВА, Schneider Electric та Siemens.
2. З усього представленого обладнання, було обрано КРП типу MCset AD1 компанії Schneider Electric, яке повністю підійшло по всіх електротехнічних вимогах та по габаритним розмірам
3. Пропонується застосовувати один контейнерний модуль для однієї секції 6 кВ
4. Для організації АВР присумісному застосуванні 2-х секцій (2-х контейнерів) на кожній секції встановлені секційні вимикачі.
5. Було виконано опис самого контейнера, в якому буде розміщуватись обране обладнання, та опис розміщення обладнання в цьому контейнері згідно вимог ПДР [26] та ПУЕ [12].

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

4 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА ЖИВЛЯЧОГО ТРАНСФОРМАТОРУ 35 кВ

На підстанції встановлено трансформатори ТМН-4000 35/6 кВ. Як ввідні, використовуються комірки компанії «Schneider Electric» зі встановленими в них мікропроцесорними пристроями релейного захисту «Seram 40», оскільки, у своєму складі підстанція має двигуни та інше обладнання, що потребують захисту.

4.1 Вибір захистів

4.1.1 Захист трансформатору ТМН-4000 35/6 кВ

На підстанціях передбачаються спеціальні пристрої, щоб захистити трансформатори від різних ненормальних режимів та пошкоджень, які можуть виникнути внаслідок впливу цих режимів. Приклади таких режимів та пошкоджень [12]:

- а) міжфазне КЗ в обмотках та на виводах;
- б) струми в обмотках, які виникли внаслідок зовнішнього короткого замикання;
- в) струми в обмотках, внаслідок перевантаження.

Для захисту трансформаторів потужністю не більше 6300 кВА та класу напруги, який не перевищує 35 кВ, застосовується струмова відсічка без витримки часу (згідно ПУЕ) [12].

Максимальний струмовий захист, у даному випадку, використовується для запобігання впливу зовнішнього короткого замикання.

Розрахунок уставок захистів трансформатора типу ТМН-4000 35/6, тип захисту – Seram 40.

					141.5115.004.ДБ				
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					
Розроб.		Шигида Р.В.			Релейний захист та автоматика живлячого трансформатору 35 кВ		Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Курсон О.І.						44	5
Реценз.							КПІ ім Ігоря Сікорського, ФЕА, гр. ЕК-зг61-01		
Н. Контр.		Настенко Д.В.							
Затверд.		Толочко О.І.							

4.2. Розрахунки захистів трансформатора

4.2.1 Максимальний струмовий захист на стороні НН

Струм спрацьовування захисту за умовою неспрацьовування захисту при після аварійних перевантаженнях [3]:

$$I_{сз} = \frac{k_n \cdot k_{с.з.н.}}{k_{поє}} \cdot 1,4 \cdot I_{нт}$$

де $k_n = 1,3$ - коефіцієнт надійності;

$k_{с.з.} = 2$ - коефіцієнт само запуску електродвигунів;

$k_{поє} = 0,93$ - коефіцієнт повернення [3];

$I_{нт}$ - номінальний струм трансформатора.

$$I_{нт} = \frac{S_{нт}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}}$$

$$I_{нт} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 384,9 \text{ А}$$

$$I_{сз} \geq \frac{1,3 \cdot 2}{0,93} \cdot 1,4 \cdot 384,9 = 1506 \text{ А}$$

Узгодження з захистом попередніх елементів (МСЗ секційного вимикача 6 кВ):

$$I_{сзп} \geq k_{к\backslash\text{зс}} \cdot I_{сз.ос}$$

$$I_{сз} \geq 1,2 \cdot 1708 = 2049,6 \text{ А}$$

Струм спрацювання захисту $I_{сз} = 2049,6 \text{ А}$

Час спрацювання МСЗ з узгодженням з попередньою витримкою на секційному вимикачі (найбільша витримка часу):

$$t_{сз} = t_{сз}^{ос} + \Delta t$$

де $\Delta t = 0,3 \text{ сек}$ [9] ступінь селективності МСЗ [25].

$$t_{сз} = 0,6 + 0,3 = 0,9 \text{ с}$$

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

4.2.2 Максимальний струмовий захист на стороні ВН

Струм спрацювання захисту за умовою неспрацювання захисту при післяаварійних перевантаженнях [3]:

$$I_{сз} = \frac{k_n \cdot k_{с.з.п.}}{k_{пов}} \cdot 1,4 \cdot I_{нт}$$

де $k_n = 1,3$ - коефіцієнт надійності;

$k_{с.з.} = 2$ - коефіцієнт само запуску електродвигунів;

$k_{пов} = 0,93$ - коефіцієнт повернення [3];

$I_{нт}$ - номінальний струм трансформатора.

$$I_{нт} = \frac{S_{нт}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}}$$

$$I_{нт} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 65,983 \text{ A}$$

$$I_{сз} \geq \frac{1,3 \cdot 2}{0,93} \cdot 1,4 \cdot 65,983 = 258,256 \text{ A}$$

Узгодження з захистом попередніх елементів (МСЗ трансформатора на стороні 10 кВ, зведений до сторони 110 кВ):

$$I_{сз} = k_{узз} \cdot I_{сз.п} \cdot \frac{6}{35}$$

де $k_{узз} = 1,2$ - коефіцієнт узгодження з попередніми захистами;

$I_{сз} = 2049,6 \text{ A}$ - струм спрацювання на стороні НН

$$I_{сз} \geq 1,2 \cdot 2049,6 \cdot \frac{6}{35} = 421,632 \text{ A}$$

Струм спрацювання захисту $I_{сз} = 421,632 \text{ A}$

Чутливість при двофазному КЗ на шинах 110кВ в мінімальному режимі системи:

$$k_{\psi} = \frac{I_{КЗ\text{мін}}^{(2)}}{I_{сз}}$$

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

$$I_{КЗл\dot{м}н}^{(2)} = 0,865 \cdot I_{КЗл\dot{м}н}^{(3)}$$

$I_{КЗл\dot{м}н}^{(3)} = 12,393 \text{ кА}$ трьох фазне КЗ на стороні ВН трансформатора в точці К1

$$I_{КЗл\dot{м}н}^{(2)} = 0,865 \cdot 12393 = 10720 \text{ А}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{10720}{421,632} \geq 1,5$$

Час спрацювання МСЗ з узгодженням з попередньою витримкою на секційному вимикачі (найбільша витримка часу)

$$t_{\text{сз}} = t_{\text{сз}}^{\text{нн}} + \Delta t$$

де $\Delta t = 0,3 \text{ сек}$ ступінь селективності МСЗ.

$$t_{\text{сз}} = 0,9 + 0,3 = 1,2 \text{ с}$$

4.2.3 Розрахунок уставок захисту від перевантажень

Первинний струм спрацювання захисту від перевантаження:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 65,983 \text{ А}$$

$$I_{\text{сз}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном}}}{K_{\text{пов}}} = \frac{1,3 \cdot 65,983}{0,935} = 91,741 \text{ А}$$

Вторинний струм спрацювання реле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{п}}}{n_{\text{т}}} = \frac{91,741 \cdot 2}{35/6} = 31,45 \text{ А}$$

Захист виконується на відключення. Час спрацювання $t_{\text{сз}} = 9 \text{ с}$.

4.3 Реалізація захистів

1. Захист лінії реалізується за допомогою цифрового терміналу Sepam 40.

2. Струмова відсічка від між фазних КЗ реалізується на основі першої ступені вбудованого максимального струмового захисту пристрою Sepam код ANSI 50/51.

3. Максимальний струмовий захист реалізується на основі другого ступеня максимального струмового захисту пристрою Seram код ANSI 50/51.

4. Захист однофазного КЗ на землю реалізується пристроєм Seram код ANSI 50N/51N.

Висновки

1. Основними видами пошкоджень трансформаторів являються:
 - міжфазне КЗ в обмотках та на виводах;
 - струми в обмотках, які виникли внаслідок зовнішнього короткого замикання;
 - струми в обмотках, внаслідок перевантаження.
2. Було вибрано та розраховано релейні захисти для трансформатора, згідно з вимогами.
3. Для реалізації захистів обрано мікропроцесорний захист типу SEPAM.
4. Для підключення вимірювальних приладів обліку та споживання електроенергії в комірці застосовано трансформатор напруги.

					141.5115.004.ДБ	Лист
						48
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА ПРИЄДНАНЬ ЗРП 6 кВ

5.1 Пристрої, що підлягають захисту

Розрахунки релейного захисту потрібно провести для двигунів типу СДБМ – 630 та А4-400. Також потрібно розрахувати захист для трансформатора власних потреб ТМ-400/6/0,4

5.2 Вибір захистів

5.2.1. Трансформатор ТМ-400/6/0,4

Для захисту трансформатору передбачають пристрої для наступних захистів [24]:

- Міжфазне коротке замикання в обмотках, а також на виводах трансформатора.
- Струмів, які викликані зовнішніми короткими замиканнями
- Струми, які виникають в наслідок перевантаження

По ПУЕ [21] трансформатори клас напруги яких не перевищує 35 кВ та потужність менша 6300 кВА потрібно використовувати струмову відсічку без витримки часу від міжфазних КЗ.

Максимальний струмовий захист використовувати від зовнішніх пошкоджень.

Значення номінальної величини струму на стороні 6 кВ

$$I_{\text{ном.}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}$$

					141.5115.004.ДБ								
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Релейний захист та автоматика приєднань ЗРП 6 кВ					Літ.		Арк.	Аркушів
Розробив	Шигида Р.В.											49	18
Перевірив	Курсон О.І.												
Консульт.													
Н.контр.	Настенко Д.В.												
Затверд.	Толочко О.І.												
					КПП ім Ігоря Сікорського, ФЕА, гр. ЕК-зг61-01								

$$I_{\text{ном.тр.ВН}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6,6} = 35 \text{ А}$$

5.2.2 Для двигунів

Для двигунів, які використовуються, потрібно розрахувати такі види захистів [12]:

- Струмову відсічку
- Захист від замикань на землю, а саме однофазних
- Тепловий захист
- Від блокування ротора та затянутого пуску
- Захист мінімальної напруги

Потрібно провести розрахунок уставок для існуючих двигунів СДБМ – 630 та А4-400 на напругу 6 кВ. Їхня потужність 630 та 400 кВт. Живлення двигуна здійснюється кабелем ААБ-3*25. Довжина кабелю рівна 16 м. Для захисту двигунів обрано сучасне мікропроцесорне устаткування фірми Schneider Electric, а саме Sepam 40.

5.3.Розрахунок захистів

5.3.1 Трансформатор ТМ-400/6/0,4

5.3.1.1 Струмова відсічка трансформатора

Відбудова від стрибкоподібного струму намагнічування трансформатора [20]:

$$I_{\text{с.з.}} \geq K_{\text{відб}} \cdot I_{\text{тр.ном.}}$$

де $K_{\text{відб}} = 3$ коефіцієнт відбудови від стрибкоподібного струму намагнічування трансформатора;

$$I_{\text{с.з.}} \geq 3 \cdot 35 = 105 \text{ А}$$

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відбудова від максимального струму який спричинений трифазним коротким замиканням на виводах 0,4 кВ.

$$I_{с.з.} \geq k_{відб} \cdot I_{відб}^{<3>}$$

де $I_{відб}^{<3>}$ – струм спричинений трифазним КЗ на виводах 0.4 кВ трансформатора, приведений до струму на стороні 6 кВ;

$$k_{відб} = 1.2$$

$$I_{КЗ}^{<3>} = \frac{E_M}{\sqrt{3} \cdot (Z_M + Z_{тр})}$$

де $E_M = 6$ кВ – ЕРС мережі;

Z_M – внутрішній опір системи;

$Z_{тр}$ – внутрішній опір трансформатора;

$$Z_M = \frac{E_M}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ}} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 12.393} = 0.292 \text{ Ом}$$

$$Z_{тр} = U_K \cdot \frac{U_{BH}^2}{100 \cdot S_{тр}} = 5.5 \cdot \frac{6^2}{100 \cdot 0.4} = 4.95 \text{ Ом}$$

$$I_{КЗ}^{<3>} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot (0.292 + 4.95)} = 0.6608 \text{ кА}$$

Струм на стороні 6 кВ:

$$I_{КЗ}^{<3>} = \frac{I_{КЗ}^{<3>}}{k_{тр}} = \frac{660.8}{16.5} = 36.53 \text{ А}$$

де $k_{тр}$ – коефіцієнт трансформації.

$$I_{с.з.} \geq 1.2 \cdot 36.53 = 43.84 \text{ А}$$

Вибираємо найбільший з двох струмів спрацювання який рівний 105 А.

Для селективності вибираємо час відсічки, який рівний 50мс.

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3.1.2 МСЗ трансформатора

Струм перевантаження для масляного трансформатора рівний не більше чим 105%

$$I_{\text{Нав.Макс.}} = 1.05 \cdot I_{\text{ном.тр.ВН}} = 1.05 \cdot 35 = 36,75 \text{ А}$$

Струм спрацювання захисту:

$$I_{\text{С.З.}} \geq \frac{k_{\text{Н}} \cdot k_{\text{СЗ}}}{k_{\text{ПОВ}}} \cdot k_{\text{ПЕР}} \cdot I_{\text{Нав.Макс.}}$$

Час спрацювання МСЗ при узгодженні з попередніми мікропроцесорними захистами визначається:

$$t_{\text{сз}}^{\text{тр}} = t_{\text{сз}} + \Delta t = 0.05 + 0.3 = 0.35 \text{ с}$$

де $t_{\text{сз}} = 0.05$ час спрацювання попереднього ступеню захисту МТЗ;

$\Delta t = 0.3 \text{ с}$ ступінь селективності захисту терміналів Sepam.

5.3.1.3 СЗ від симетричних перевантажень

Струм спрацювання захисту від симетричних перевантажень;

$$I_{\text{С.З.}} \geq \frac{k_{\text{пер}} \cdot I_{\text{ном.тр.}}}{k_{\text{в}}}$$

де $I_{\text{ном.тр.}}$ значення номінального струму трансформатора на стороні ВН;

$$I_{\text{С.З.}} \geq \frac{1.4 \cdot 35}{0.93} = 52,69 \text{ А}$$

Час спрацювання захисту від симетричних перевантажень приймається

$$t_{\text{С.З.}} = 9 \text{ с [20]}$$

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1. Результати розрахунку РЗ трансформатору.

Серія	Величина номінального струму	СВ		МСЗ		СЗ від симет. переван.	
	$I_{\text{номін}}, \text{A}$	$I_{\text{стр.зах.}}, \text{A}$	$t_{\text{стр.Від.}}, \text{с}$	$I_{\text{стр.зах.}}, \text{A}$	$t_{\text{МСЗ}}, \text{с}$	$I_{\text{стр.зах.}}, \text{A}$	$t, \text{с}$
ТМ- 400/6/0,4	35	105	0,05	66,94	0,35	52,69	9

5.3.2 Для двигунів

5.3.2.1 СДБМ-630

1. Дані двигунів СДБМ-630 (табл.5.2)

Таблиця 5.2 Дані двигунів СДБМ-630

Серія	$P_{\text{ном.дв}}$	$S_{\text{ном.дв}}$	$\eta_{\text{ном.дв}}$	$k_{\text{пуск.}}$	$\cos(\varphi)$
СДБМ- 630	630	765	0,963	5,58	0,9

2. Довжина лінії - $L = 16 \text{ м}$;

3. Кабель марки - ААБ - $3 \times 25 \text{ мм}^2$;

4. Напруга - $U_{\text{ном.дв}} = 6 \text{ кВ}$;

5. Значення струмів трифазного КЗ на секції шин РУ-6 кВ розрахованих в розділі 1: $I_{\text{к.з.мін}} = 12393 \text{ А}$.

6. Схема з'єднань вторинних обмоток трансформаторів струму «повна зірка».

7. Тип мікропроцесорного захисту - Sepam 40 (фірми Schneider Electric).

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3.2.2 Захист від міжфазних КЗ

По ПУЕ [12], для захисту двигунів до 5 МВт від міжфазних КЗ потрібно використовувати струмову відсічку без витримки часу.

Вибір струму спрацювання відсічки потрібний у випадку її неспрацювання [17]:

$$I_{CB} \geq 2,5 * I_{Пуск,Дв},$$

де $I_{Пуск,Дв}$ – значення періодичної складової пускового струму двигуна:

$$I_{Пуск,Дв} = k_{Пуск,Дв} * I_{НОМ,Дв}$$

$$K_{Пуск,Дв} = 5,58.$$

Величина номінального струму двигуна:

$$I_{НОМ,Дв} = \frac{P_{Дв}}{\cos \varphi \cdot \eta \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}$$

$$I_{НОМ,Дв} = \frac{630}{0,9 \cdot 0,963 \cdot \sqrt{3} \cdot 6,6} = 65,04 \text{ А}$$

Величина пускового струму:

$$I_{Пуск,Дв} = 5,58 * 65,04 = 362,92 \text{ (А)}$$

$$I_{CB} \geq 2,5 * 362,99 = 907,308 \text{ (А)}$$

Значення коефіцієнту чутливості захисту:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{CB}} > 2$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{12,393}{0,907} = 13,66 > 2$$

Низька чутливість такого захисту вимагає введення другої ступені МТЗ характеристика якої є незалежна, а струм спрацювання:

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{МСЗ} \geq 1,2 * I_{Пуск,Дв}$$

$$I_{МСЗ} \geq 1,5 * 362,92 = 544,38 \text{ (A)}$$

Витримка часу другого ступеню МТЗ від кидка пускового струму:

$$t_{МСЗ} = 0,1 \text{ с} \geq t_{к.Пуск.Стр.}$$

5.3.2.3 Захист однофазних замикань на землю

Величина струму струму спрацювання, від замикань на землю, для двигунів більше 2 МВт має бути не більше 5 А [12] .

$$I_{с.з.} = \frac{k_H \cdot k_{кид}}{k_{пов}} * (I_{\epsilon MH, ДВ} + I_{\epsilon MH, КАБ})$$

де $k_{пов} = 1$ – коефіцієнт повернення;

$k_H = 1,2$ – коефіцієнт надійності;

$I_{ос} = 1.25 \text{ А/км}$ ємнісний струм замикання на землю;

$k_{кид} = 2.5$ – коефіцієнт, який враховує кидок ємнісного струму в момент виникнення замикання на землю.

Довжина кабелю складає 16м, тому: $I_{\epsilon MH, КАБ} = 0,075 \text{ (A)}$.

$$I_{\epsilon MH, ДВ} \approx 0,017 * S_{ДВ} \approx 0,017 * 721 \approx 12,257 \text{ (A)}$$

$$I_{с.з.} = \frac{1,2 \cdot 2,5}{1} * (12,257 + 0,075) = 36,996 \text{ (A)}$$

5.3.2.4 Тепловий захист двигуна

Струм теплової моделі береться рівний номінальному струму двигуна [17]:

$$I_{Т.М.} = I_{НОМ, ДВ} = 65,04 \text{ (A)}$$

Мінімально-допустима постійна часу охолодження статора двигуна:

$$A = t_{доп} * (k_*^2 - 1) = 120 * (1,5^2 - 1) = 150 \text{ (с.)}$$

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де A – теплова постійна часу охолодження статорної обмотки, визначаючою за конструкцією двигуна;

$t_{\text{доп}}$ – допустимий час роботи двигуна при перевантаженні k_* .

Двигун відповідає ГОСТ Р 52776-2007, приймаємо $t_{\text{доп}} = 150\text{с}$, $k_* = 1.5$.

Значення мінімально-допустимої постійної часу по нагріву можна знайти за виразом [17]:

$$T_1 = \frac{A}{60 \ln \left(\frac{k_*^2 - 1}{k_*^2 - k_{\text{MAX}}} \right)} = \frac{150}{60 \ln \left(\frac{1.5^2 - 1}{1.5^2 - 1.278} \right)} = 9,94 (\text{хв.})$$

де k_{MAX} – це величина граничної кратності перегріву, яку визначають за класом ізоляції двигуна. В даному випадку клас «F», тому k_{MAX} рівне 1,278.

Постійна часу охолодження, з врахуванням того, що вентилятор встановлений на валу:

$$T_2 = 4 * T_1 = 39,76 (\text{хв.})$$

Розрахунковий нагрів при пуску двигуна:

$$E_{\text{ПУСК}} = 100\% * k_{\text{ПУСК}}^2 * \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{П}}}{T_1}} \right) = 100 * 6,16^2 * \left(1 - e^{-\frac{10}{596,4}} \right) \approx 37,32 \%$$

Допустиме значення відносного перегріву в % при якому дозволений пуск двигуна:

$$E_{S1} \leq 100\% - E_{\text{ПУСК}} \% = 100 - 37,32 = 62,68 \%$$

Прийmemo $E_{S1} = 62\%$

Параметри пуску теплового захисту двигуна на сигналізацію і відключення E_{S2} і E_{S3} , %, визначаємо по формулі:

$$E_{S2,3} = 100\% * \left(\frac{I_{\text{ДВ}}}{I_{\text{НОМ,ДВ}}} \right)^2$$

$I_{\text{ДВ}}$, (А) – струм, що споживається двигуном;

$I_{\text{НОМ,ДВ}}$, (А) – номінальний струм двигуна.

Згідно до ГОСТ 13109-97, відношення струмів має таке значення:

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для сигналізації: $\frac{I_{ДВ}}{I_{НОМ,ДВ}} = 0,9$

для вимкнення: $\frac{I_{ДВ}}{I_{НОМ,ДВ}} = 1,10$

Тоді, відповідно, уставки матимуть значення :

$$E_{S2} = 100\% * (0,9)^2 = 81\%$$

$$E_{S3} = 100\% * (1,10)^2 = 121\%$$

5.3.2.5 Захист від затянутого пуску і блокування ротора

Допоміжним пунктом теплового захисту є захист від блокування і затянутого пуску ротора. Також це є резервування захисту від симетричних перевантажень [12]. Величина струму спрацювання:

$$I_{с.з.} = \frac{k_{Пуск,ДВ}}{1,2 * k_{ПОВ}} * I_{НОМ,ДВ}$$

де $k_{ПОВ} = 0,95$ – коефіцієнт повернення;

$k_{Пуск,ДВ} = 5,58$ – кратність пускового струму;

$$I_{с.з.} = \frac{5,58}{1,2 * 0,95} * 65,04 = 351,44 \text{ (A)}$$

Час спрацювання захисту від затягнутого пуску приймають більшим за час пуску самого двигуна:

$$t_{с.з.} \geq (1,5 \div 2) \cdot t_{п}$$

Час захисту від блокування ротора рахують великим за умов:

а) Умова узгодження з часом спрацювання швидкодіючих захистів суміжних двигунів з умовою , щоб струм підживлення короткого замикання від розрахованого двигуна не спричиняв до його непотрібного відключення , приблизно 1 - 2 с;

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) Умова узгодження з часом виходу двигуна на роботу нормального режиму після короточасних знижень рівня напруги з мережі , приблизно 0,2-0,4 часу пуску двигуна.

5.3.2.6 Захист мінімальної напруги

Уставка спрацювання захисту мінімальної напруги береться більша ніж залишкова напруга при якій можливе самозапускання двигунів, але менше ніж значення залишкової напруги при пусках окремих електродвигунів [17]:

$$U_{с.з.мн1} = 0,65 * U_{ном} = 0,65 * 6,6 = 4,29 \text{ (кВ)}$$

Час спрацювання вибирається спираючись на відбудову від часу спрацювання швидкодіючих захистів приєднань:

$$t_{с.з.мн1} = 0,5 \text{ с}$$

Уставка спрацювання другого ступеня ЗМН -1:

$$U_{с.з.мн2} = 0,45 * U_{ном} = 0,45 * 6,6 = 2,97 \text{ (кВ)}$$

Час спрацювання ЗМН - 2 приймається:

$$t_{с.з.мн2} = 5 \text{ с.}$$

5.3.2.7 Захист від асинхронного режиму

Захист від асинхронного режиму роботи електродвигунів полягає в відключенні самого двигуна, або його ресинхронізації. Ресинхронізація реалізується зняттям збудження, потім його відновленням, за рахунок цього двигун втягується в синхронізм. Порушення синхронізму проявляється в коливаннях струму статора, а в роторі змінного струму. Величину струму спрацювання можна знайти за виразом:

$$I_{с.з.} = \frac{k_H}{k_{пов}} * I_{ном.дв} = \frac{1,2}{0,95} * 65,04 = 82,16 \text{ (А)}$$

де $k_{пов} = 0,95$ – коефіцієнт повернення;

$k_H = 1,2$ – коефіцієнт надійності.

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спираючись на клас ізоляції двигунів, а він в усіх двигунах класу «F», тому гранична температура нагріву 115 °С.

5.3.2.8 A4-400X-6УЗ

1. Дані двигунів A4-400X-6УЗ (табл.5.3)

Таблиця 5.3 Дані двигунів A4-400X-6УЗ

Серія	P _{ном.дв}	S _{ном.дв}	η _{ном.дв}	k _{пуск.}	cos(φ)
A4-400X-6УЗ	400	515	0,963	5,58	0,9

2. Довжина лінії - L = 16 м;

3. Кабель марки - ААБ - 3х25 мм²;

4. Напруга - U_{ном.дв} = 6 кВ;

5. Значення струмів трифазного КЗ на секції шин РУ-6 кВ розрахованих в розділі 1: I_{к.з.мін} = 12393 А.

6. Схема з'єднань вторинних обмоток трансформаторів струму «повна зірка».

7. Тип мікропроцесорного захисту - Seram 40 (фірми Schneider Electric).

5.3.2.9 Захист від міжфазних КЗ

По ПУЕ, для захисту двигунів до 5 МВт від міжфазних КЗ потрібно використовувати струмову відсічку без витримки часу.

Вибір струму спрацювання відсічки потрібний у випадку її неспрацювання [17]:

$$I_{CB} \geq 2,5 * I_{Пуск.Дв},$$

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $I_{\text{Пуск,Дв}}$ – значення періодичної складової пускового струму двигуна:

$$I_{\text{Пуск,Дв}} = k_{\text{Пуск,Дв}} * I_{\text{НОМ,Дв}}$$

$$K_{\text{Пуск,Дв}} = 5,58.$$

Величина номінального струму двигуна:

$$I_{\text{НОМ,Дв}} = \frac{P_{\text{Дв}}}{\cos \varphi \cdot \eta \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}$$

$$I_{\text{НОМ,Дв}} = \frac{400}{0,9 \cdot 0,963 \cdot \sqrt{3} \cdot 6,6} = 97,56 \text{ А}$$

Величина пускового струму:

$$I_{\text{Пуск,Дв}} = 5,58 * 97,56 = 544,38 \text{ (А)}$$

$$I_{\text{СВ}} \geq 2,5 * 544,38 = 1360,962 \text{ (А)}$$

Значення коефіцієнту чутливості захисту:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{\text{СВ}}} > 2$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{12,393}{1,36} = 7,74 > 2$$

Низька чутливість такого захисту вимагає введення другої ступені МТЗ характеристика якої є незалежна, а струм спрацювання:

$$I_{\text{МСЗ}} \geq 1,2 * I_{\text{Пуск,Дв}}$$

$$I_{\text{МСЗ}} \geq 1,5 * 362,92 = 544,38 \text{ (А)}$$

Витримка часу другого ступеню МТЗ від кидка пускового струму:

$$t_{\text{МСЗ}} = 0,1 \text{ с} \geq t_{\text{к.пуск.стр.}}$$

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3.2.10 Захист однофазних замикань на землю

Величина струму струму спрацювання, від замикань на землю, для двигунів більше 2 МВт має бути не більше 5 А.

$$I_{с.з.} = \frac{k_H \cdot k_{кид}}{k_{пов}} * (I_{\epsilon мн.дв} + I_{\epsilon мн.каб})$$

де $k_{пов} = 1$ – коефіцієнт повернення;

$k_H = 1,2$ – коефіцієнт надійності;

$I_{ос} = 1.25$ А/км ємнісний струм замикання на землю;

$k_{кид} = 2.5$ – коефіцієнт, який враховує кидок ємнісного струму в момент виникнення замикання на землю.

Довжина кабелю складає 16м, тому: $I_{\epsilon мн.каб} = 0,075$ (А).

$$I_{\epsilon мн.дв} \approx 0,017 * S_{дв} \approx 0,017 * 515 \approx 8,755 \text{ (А)}$$

$$I_{с.з.} = \frac{1,2 \cdot 2,5}{1} * (8,755 + 0,075) = 26,49 \text{ (А)}$$

5.3.2.11 Тепловий захист двигуна

Струм теплової моделі береться рівний номінальному струму двигуна:

$$I_{Т.м.} = I_{ном.дв} = 97,56 \text{ (А)}$$

Мінімально-допустима постійна часу охолодження статора двигуна:

$$A = t_{доп} * (k_*^2 - 1) = 120 * (1.5^2 - 1) = 150 \text{ (с.)}$$

де A – теплова постійна часу охолодження статорної обмотки, визначаючою за конструкцією двигуна;

$t_{доп}$ – допустимий час роботи двигуна при перевантаженні k_* .

Двигун відповідає ГОСТ Р 52776-2007, приймаємо $t_{доп} = 150$ с, $k_* = 1.5$.

Значення мінімально-допустимої постійної часу по нагріву можна знайти за виразом:

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_1 = \frac{A}{60 \ln \left(\frac{k_s^2 - 1}{k_s^2 - k_{MAX}} \right)} = \frac{150}{60 \ln \left(\frac{1,5^2 - 1}{1,5^2 - 1,278} \right)} = 9,94 (\text{хв.})$$

де k_{MAX} - це величина граничної кратності перегріву, яку визначають за класом ізоляції двигуна. В даному випадку клас «F», тому k_{MAX} рівне 1,278.

Постійна часу охолодження, з врахуванням того, що вентилятор встановлений на валу:

$$T_2 = 4 * T_1 = 39,76 (\text{хв.})$$

Розрахунковий нагрів при пуску двигуна:

$$E_{ПУСК} = 100\% * k_{ПУСК}^2 * \left(1 - e^{-\frac{t_{II}}{T_1}} \right) = 100 * 6,16^2 * \left(1 - e^{-\frac{10}{39,76}} \right) \approx 37,32 \%$$

Допустиме значення відносного перегріву в % при якому дозволений пуск двигуна:

$$E_{S1} \leq 100\% - E_{ПУСК} \% = 100 - 37,32 = 62,68 \%$$

Приймемо $E_{S1} = 62\%$

Параметри пуску теплового захисту двигуна на сигналізацію і відключення E_{S2} і E_{S3} , %, визначаємо по формулі:

$$E_{S2,3} = 100\% * \left(\frac{I_{ДВ}}{I_{НОМ,ДВ}} \right)^2$$

$I_{ДВ}$, (А) – струм, що споживається двигуном;

$I_{НОМ,ДВ}$, (А) – номінальний струм двигуна.

Згідно до ГОСТ 13109-97, відношення струмів має таке значення:

$$\text{для сигналізації: } \frac{I_{ДВ}}{I_{НОМ,ДВ}} = 0,9$$

$$\text{для вимкнення: } \frac{I_{ДВ}}{I_{НОМ,ДВ}} = 1,10$$

Тоді, відповідно, уставки матимуть значення :

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	N докум.	Підпис	Дата		

$$E_{S2} = 100\% * (0,9)^2 = 82\%$$

$$E_{S3} = 100\% * (1,10)^2 = 123\%$$

5.3.2.12 Захист від затянутого пуску і блокування ротора

Допоміжним пунктом теплового захисту є захист від блокування і затянутого пуску ротора. Також це є резервування захисту від симетричних перевантажень. Величина струму спрацювання [12]:

$$I_{с.з.} = \frac{k_{Пуск,Дв}}{1,2 * k_{ПОВ}} * I_{НОМ,ДВ}$$

де $k_{ПОВ} = 0,95$ – коефіцієнт повернення;

$k_{Пуск,Дв} = 5,58$ – кратність пускового струму;

$$I_{с.з.} = \frac{5,58}{1,2 * 0,95} * 97,56 = 477,53 \text{ (A)}$$

Час спрацювання захисту від затягнутого пуску приймають більшим за час пуску самого двигуна:

$$t_{с.з.} \geq (1,5 \div 2) \cdot t_{п}$$

Час захисту від блокування ротора рахують великим за умов:

а) Умова узгодження з часом спрацювання швидкодіючих захистів суміжних двигунів з умовою , щоб струм підживлення короткого замикання від розрахованого двигуна не спричиняв до його непотрібного відключення , приблизно 1 - 2 с;

б) Умова узгодження з часом виходу двигуна на роботу нормального режиму після короткочасних знижень рівня напруги з мережі , приблизно 0,2-0,4 часу пуску двигуна.

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3.2.13 Захист мінімальної напруги

Уставка спрацювання захисту мінімальної напруги береться більша ніж залишкова напруга при якій можливе самозапускання двигунів, але менше ніж значення залишкової напруги при пусках окремих електродвигунів [17]:

$$U_{с.з.мн1} = 0,65 * U_{ном} = 0,65 * 6,6 = 4,29 \text{ (кВ)}$$

Час спрацювання вибирається спираючись на відбудову від часу спрацювання швидкодіючих захистів приєднань [17]:

$$t_{с.з.мн1} = 0,5 \text{ с}$$

Уставка спрацювання другого ступеня ЗМН -1:

$$U_{с.з.мн2} = 0,45 * U_{ном} = 0,45 * 6,6 = 2,97 \text{ (кВ)}$$

Час спрацювання ЗМН - 2 приймається:

$$t_{с.з.мн2} = 5 \text{ с.}$$

Таблиця 5.4 Результати розрахунків двигунів, які розглядаються

Захист		СДБМ-630	А4-400Х-6У3
Номинальний струм	$I_{ном}, \text{ А}$	65,04	97,56
Коефіцієнт пуску	$K_{пуск.дв}$	5,58	5,58
Повна потужність	$S, \text{ кВА}$	765	515
Від міжфазних КЗ	$I_{с.в.}, \text{ А}$	907,308	1360,962
	$I_{мсз}, \text{ А}$	544,385	544,38
Від замикання обмотки статора на землю	$I_{с.з.}, \text{ А}$	36,996	26,49
Від затягнутого пуску і блокування ротора	$I_{с.з.}, \text{ А}$	351,44	477,53
Тепловий	$T_1, \text{ с}$	596,4	596,4
	$T_2, \text{ с}$	2385,6	2385,6
	$E_{s1}, \%$	62	64
	$E_{s2}, \%$	81	82
	$E_{s3}, \%$	121	123
Мінімальної напруги	$U_{с.з.мн1}$	4,29	4,29
	$U_{с.з.мн2}$	2,97	2,97
	$t_{с.з.мн1}$	0,5	0,5
	$t_{с.з.мн2}$	5	5

Продовження таблиці 5.4

Захист від асинхронного режиму	$I_{с.з.}, A$	82,16	-
--------------------------------	---------------	-------	---

5.4 Реалізація захистів на терміналах Sepam

Найкращим варіантом цифрового захисту комірок для даної підстанції є пристрій Sepam 40 від компанії Schneider Electric. Далі наведені типи захистів, які є необхідними для двигунів та трансформаторів, встановлених на підстанції.

5.4.1 Для трансформатору ТМ-400 6/0,4:

1. Струмова відсічка від міжфазних К.З. реалізується на основі першої ступені вбудованого МСЗ пристрою Sepam (код ANSI 50/51).
2. Максимальний струмовий захист реалізується на основі другого ступеня максимального струмового захисту пристрою Sepam (код ANSI 50/51).
3. Захист від перевантаження (код ANSI 32P).

5.4.2 Для двигунів:

1. Струмова відсічка від міжфазних К.З. реалізується на основі першої ступені вбудованого МСЗ пристрою Sepam (код ANSI 50/51).
2. Максимальний струмовий захист реалізується на основі другого ступеня максимального струмового захисту пристрою Sepam (код ANSI 50/51).
3. Захист від однофазних замикань на землю (код ANSI 50G/51G).
4. Захист від зтягнутого пуску та блокування ротора (код ANSI 48/51LR).
5. Тепловий захист (код ANSI 49RMS).
6. Захист мінімальної напруги (код ANSI 27).
7. Захист від асинхронного режиму для СДБМ-630 (код ANSI 66)

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

1. У даному розділі було обрано основні захисти для приєднань 6 кВ. А саме: для трансформатору ТМ-400 6/0,4, для двигунів типу СДБМ-630 та А4-400Х-6У3.
2. Було проведено розрахунки захистів. Результати розрахунків відображені в таблицях 5.1 та 5.4.
3. Також, всі захисти були реалізовані на терміналах Seram 40 від Schneider Electric.

					141.5115.004.ДБ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Обладнання підстанції морально та фізично застаріло і потребує заміни.
2. При реконструкції підстанції доцільне встановлення закритих розподільчих пристроїв замість існуючих із застосуванням модульного принципу.
3. Прийнята одnoseкційна схема підключення приєднань 6 кВ.
4. Застосування модульного принципу та сучасних комплектних розподільчих пристроїв 35 кВ та 6 кВ, дозволяє розміщення живлення кожної секції в контейнері.
5. Розрахунки струмів к.з. при розрахунковій схемі живлення дають змогу вибрати обладнання підстанції.
6. У даному розділі обиралися обладнання для сторони 35 кВ Відбір обладнання відбувається по критеріям, основними з яких є: надійність, повітряна ізоляція та габарити, елегазова ізоляція вимикачів
7. Серед розглянутого обладнання, по всім пунктам підійшли КРП компанії Schneider Electric, типу «Fluair f400».
8. Розроблена схема ЗРП 35 кВ виконується на двох комірках «Fluair f400».
9. Вибір обладнання 6 кВ для даної підстанції проводився серед п'яти компаній-виробників, а саме: ABB, ЗЗВА, РЗВА, Schneider Electric та Siemens.
- 10.3 усього представленого обладнання, було обрано КРП типу MCset AD1 компанії Schneider Electric, яке повністю підійшло по всіх електротехнічних вимогах та по габаритним розмірам
- 11.Пропонується застосовувати один контейнерний модуль для однієї секції 6 кВ
- 12.Для організації АВР при сумісному застосуванні 2-х секцій (2-х контейнерів) на кожній секції встановлені секційні вимикачі.
- 13.Було виконано опис самого контейнера, в якому буде розміщуватись обране обладнання, та опис розміщення обладнання в цьому контейнері згідно вимог ПДР [26] та ПУЕ [12].

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		68

14. Було вибрано та розраховано релейні захисти для трансформатора, згідно з вимогами.
15. Для підключення вимірювальних приладів обліку та споживання електроенергії в комірці застосовано трансформатор напруги.
16. У даному розділі було обрано основні захисти для приєднань 6 кВ. А саме: для трансформатору ТМ-400 6/0,4, для двигунів типу СДБМ-630 та А4-400Х-6У3.
17. Було проведено розрахунки захистів. Результати розрахунків відображені в таблицях 5.1 та 5.4.
18. Всі захисти реалізовані на терміналах Sepam 40 від Schneider Electric.

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		69

ЛІТЕРАТУРА

1. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. / Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. – 4-е изд. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с. – ISBN 5-283-01086-4

2. Перехідні процеси в електроенергетиці : методичні вказівки / укл. Костерев М. В., Бардик Є. І., Безбереж'єв Ю. В. ; ФЕА. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011. – 56 с.

3. Халилов Ф. Х. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений / Халилов Ф. Х., Евдокунин Г. А., Таджикибаев А. И. – СПб, 2002. – 260 с.

4. Электротехнический справочник: в 4 т. / под ред. Герасимова В.Г. – Москва : Энергоатомиздат, 2004 – .Т. 3: Производство, передача и распределение электрической энергии, – 2004. – 965 с. – ISBN 5-7046-0987-2.

5. Элегазовые выключатели для наружной установки:[каталог] . 8 с.

6. Вольдек А. И. Электрические машины. – Санкт-Петербург

7. Справочник по ремонту и техническому обслуживанию электрических сетей / под ред., К.М. Антипова, И.Е. Бандуипова,- М.: Энергоатомиздат, 1987.– 558 с. Околович М.Н. Проектирование электрических станций –М.: Энергоатомиздат, 1992

8. UniGear ZS1. Medium voltage, arc-proof, air insulated switchgear up to 24 kV insulated voltage : [каталог]. – Sweden : ABB AB., 2013. - 92 с.

9. Устройства комплектные распределительные серии КУ 10С (М) : [каталог]. – Україна, РЗВА, 2014. – 65с.

10. Устройства комплектные распределительные. Серии КУ 6С: [каталог]. – Ровно :, 2013. – 124 с.

11. Распределение электроэнергии. MCset 1-2-3. Ячейки КРУ 6, 10 кВ : [каталог]. – France : Schneider Electric., 2002. – 60 с.

12. Правила улаштування електроустановок : 2010. – Офіц. вид. – К. :

Форт : Мінпаливенерго України. 2010. – 692 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України.).

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		69

13. Распределение электроэнергии. Fluaig 400. Ячейки КРУ 36; 40,5 кВ: [каталог]. – France : Schneider Electric., 2004. – 28 с
14. Устройства комплектные распределительные. Серии КУ 35 : [каталог]. – Ровно : Высоковольтный союз., 2014. – 75 с.
15. ZS3.2. Medium voltage gas insulated switchgear : [каталог]. – Sweden : ABB AB., 2016. - 20 с.
16. Ермишкин А.И. Методика выбора уставок защит Seram присоединений РП (РТП) 6-10 кВ с ячейками MCset. – Санкт-Петербург, 2007. – 75 с
17. Гондуров С. А. Релейний захист електродвигунів напругою 6-10 кВ терміналами / Гондуров С. А., Соловьев А. Л. – Санкт-Петербург, 2013. – 59 с.
18. Вольдек А. И. Электрические машины. – Санкт-Петербург : Энергия, 1974. – 840 с.
19. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Шнеерсон Э.М. – Москва : Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
20. Соловьев А.Л. Методика расчета уставок защит Seram. – Санкт-Петербург, 2006. – 65 с.
21. 3AP1 DT – Баковый высоковольтный выключатель на напряжения от 72.5 до 245 кВ : [каталог]. – Berlin : Siemens AG., 2010. – 12 с.
22. В.Г. Гловацкий. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей/ И.В. Пономарев. – Киев, 2003. – 535 с.
23. Защита электрических сетей. Seram 1000+. Серия 20. Серия 40 : [каталог]. – France : Schneider Electric., 2002. – 42 с
24. Чернобров Н.В. Релейная защита / Чернобров Н.В., Семенов В. А. – Москва : Энергия, 1974. – 679 с. – ISBN 5-283-010031-7
25. Шурин В.А. Защита от замыканий на землю в электрических сетях 6-10кВ / Шурин В.А., Гусенков А.В. – Москва : Энергопрогрес, 2001. – 54 с. – ISSN 0013-7278
26. Правила дорожнього руху. Україна 2017 – Р.22
27. Устройства комплектные распределительные. Серии КМ-1Ф и КМ-1ФМ: [техническая информация]- 3ЗВА.

					141.5115.004.ДБ	Лист
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		70