

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту  
Зав. Кафедрою електроенергетики  
\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

тема «Реконструкція електричної частини високовольтної підстанції»

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТ-71

Лісніченко М.І.

Керівник

к.т.н, доцент

Волохін В.В.

Консультант з іноземної мови:

к.пед.н, ст. викладач

Усенко Н.М.

Суми, 2021

# Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроенергетики

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. катедрою електроенергетики

\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## Завдання

### на кваліфікаційну роботу бакалавра

Лісніченка Максима Ігоровича

1. Тема роботи «Реконструкція електричної частини високовольтної підстанції»

Затверджено наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

2. Термін здачі студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: найменування та план розміщення обладнання підстанції, графіки добового навантаження, схема підстанції

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)

-аналіз стану обладнання підстанції

- перевірка силових трансформаторів на предмет перевантаження

- розрахунок доцільної висоти блискавкозахисту та зони грозозахисту підстанції

- звірка доцільності використання діючих вимикачів та їх заміна

-заміна високовольтного розрядника

-індивідуальне завдання

5. Перелік графічного матеріалу

- схема підстанції до реконструкції

- схема підстанції після реконструкції

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з	Найменування етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Розрахунок силових трансформаторів	25.04-30.04 2021	
2	Розрахунок грозозахисту	01.05-07.05 2021	
3	Розрахунок вимикачів	08.05-18.05 2021	
4	Індивідуальне завдання	25.05-30.05 2021	

Студент-дипломник

\_\_\_\_\_

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

## Реферат

60 сторінка, 13 рисунків, 21 таблиць, 23 джерела

Бібліографічний опис: Лісніченко М.І. Реконструкція електричної частини високовольтної підстанції 110/6 кВ: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / М.І. Лісніченко; наук. керівник В.В. Волохін – Суми: СумДУ, 2021. – 56 с.

Ключові слова: високовольтна підстанція, силовий трансформатор, схема нормального режиму роботи, блискавкозахист, вимикач;

высоковольтная подстанция, силовой трансформатор, схема нормального режима работы, молниезащита, выключатель;

high voltage substation, power transformer, normal operation scheme, lightning protection, switcher.

Короткий огляд – В роботі досліджено обладнання високовольтної підстанції при нормальному режимі роботи. Проведено перевірку силових трансформаторів на предмет перевантаження. Перевірено грозозахист електричної підстанції та працюючі на підстанції масляні вимикачі. Також в кваліфікаційній роботі висвітлені питання охорони праці, техніки безпеки під час реконструкції електричної частини високовольтної підстанції. Розрахунки проводились за допомоги програмного забезпечення Microsoft Office Excel, а також РТС MathCAD 15. Креслення виконано за допомогою AutoCAD 15.

## Перелік умовних скорочень

ВРУ – відкрита розподільча установка

ЗРУ – закрита розподільча установка

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок

ПС – підстанція

ВН – сторона високої напруги

НН – сторона низької напруги

ТС – трансформатор струму

ТН – трансформатор напруги

ДСТУ – державний стандарт України

ЛЕП – лінія електропередавання

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 Аналіз режиму роботи підстанції	8
1.1 Загальні відомості	8
1.2 Трансформатори потужності і напруги	8
1.3 Заземлення та грозозахист	9
1.4 Комутаційна апаратура	9
2 Технічні заходи щодо реконструкції	13
2.1 Перевірка силових трансформаторів	13
2.2 Розрахунок блискавкозахисту	21
2.3 Розрахунок заземлюючого пристрою	28
2.4 Розрахунок струмів короткого замикання	31
3 Вибір комутаційного та захисного обладнання	31
3.1 Вибір комутаційних апаратів ЗРУ – 6 кВ	31
3.2 Вибір вимикачів на стороні ЗРУ-6 кВ	34
3.3 Вибір обмежувача перенапруги на стороні 110 кВ	39
3.4 Вибір релейного захисту	41
4 Охорона праці	49
4.1 Охорона праці та заходи з безпечної експлуатації обладнання	49
4.2 Причини ураження струмом та основні заходи захисту	50
Висновки	56
Додаток А	58
Список літератури	59

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Лісніченко М.І.</i>			<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Волохін В.В.</i>			4	60	
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський І.Л.</i>			<b>СумДУ</b>		
					<b>Реконструкція електричної частини високовольтної підстанції</b>		

## ВСТУП

В наш час сфера електроенергетики перебуває в періоді великих змін, відкриттів, та оновлень. Все більше будується нових електростанцій, винаходяться нові джерела електричної енергії, а наші міста розростаються з кожним днем. Будівництво також не спиняється – з’являються нові високоповерхівки, мікрорайони й навіть міста на картах.

Така ж ситуація стосується й нашого міста. Невпинно зростає населення Сум, з’являються нові житлові споруди та навіть цілі мікрорайони. Так і виходить, що навантаження на підстанції невинно зростає, і через це вони вже потребують модернізації, а, в деяких випадках, навіть реконструкції.

І тому важливою задачею електроенергетики є вчасні перевірки обладнання електричних підстанцій для своєчасної заміни, і паралельне розроблення нового устаткування з покращеними характеристиками і параметрами.

В останнє десятиліття у сфері електроенергетики невинно продукуються нові види електротехнічного устаткування: на заміну масляних вимикачів приходять вакуумні або ж елегазові, замість розрядників починають встановлюватись мікропроцесорні обмежувачі перенапруги тощо.

Саме через це тематика моєї дипломної роботи є актуальною в наш час.

					БР 3.6.141.388 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Аналіз режиму роботи підстанції

## 1.1 Загальні відомості

Для дипломного проекту було обрано підстанцію 110-6 кВ, що знаходиться в Сумській області. Дана підстанція знаходиться в експлуатації з 1975-го року. Від цієї підстанції заживлені побутові споживачі Курського мікрорайону та великі промислові підприємства. Вона споруджена у сільській місцевості та має відкриту розподільчу установку на 110-кВ, а також закриту розподільчу установку на 6-кВ. Почнемо з перерахування обладнання на стороні відкритої розподільчої установки (ВРУ). Приєднання даної підстанції до енергосистеми також є важливим елементом, коли ми говоримо про конструкцію підстанції. На даний момент живлення підстанції виконано двоковою повітряною лінією ПЛ 110 кВ проводом АС-150 довжиною 4.2 км. Щодо обладнання на території підстанції, то – існуючі комірки 6 кВ розташовані в закритій розподільчій установці (ЗРУ - 6кВ). Споживачі власних потреб підстанції живляться від щита змінного струму 0.23 кВ, що підключений до трансформаторів власних потреб ТСН-160/6 кВ. Силові та контрольні кабелі по території підстанції прокладені в кабельних лотках. Освітлення території виконується прожекторами, що встановлені на будівлі ЗРП-6 кВ.

## 1.2 Трансформатори потужності та напруги

Дана підстанція має у своєму розпорядженні два найбільших силових трансформатори в Сумській області ТРДН-40000/110 з пристроями РПН. Перший трансформатор 1974 року виготовлення, а другий трансформатор 1975-го. На Схемі нормального режиму підстанції дані трансформатори позначені 1Т та 2Т відповідно.

Першим елементом ЗРП є ввідний вимикач 6 кВ, позначений на схемі 1В. Одразу ж поруч встановлений вимірювальний масляний антирезонансний трансформатор напруги НАМИ-10-95, зі своїм запобіжником ПКТ-6. Сам

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



трансформатор призначений для встановлення в електричних мережах трифазного змінного струму частоти 50 Гц. Даний трансформатор позначений на схемі ТН-1.

Також, одразу необхідно відмітити, що схеми електричних з'єднань існуючих розподільчих пристроїв такі:

На напрузі 110 кВ – «два блоки лінія-трансформатор з ВД і КЗ і неавтоматичною перемичкою з боку ліній»

На напрузі 6 кВ – «дві секціоновані вимикачем системи шин»

### 1.3 Заземлення та грозозахист підстанції

Блискавкозахист підстанції виконано блискавковідводами, встановленими на порталах. Їх висоти зведені у таблицю 1.1:

Таблиця 1.1 – висоти блискавковідводів підстанції

Блискавковідвід	Висота блискавковідводу, м
h <sub>1</sub>	15.88
h <sub>2</sub>	15.41
h <sub>3</sub>	9.28
h <sub>4</sub>	9.19

Елементи заземлення трансформаторів представлені двома апаратами, одним з яких є заземлювач нейтралі силових трансформаторів ЗОН-110М. На Схемі 1 заземлювачі ознаменовані аббревіатурою ЗОН-1Т та ЗОН-2Т. Другим елементом являється РВС-35+15, про аналог якого було описано вище. На Схемі підстанції даний розрядник показаний, як РВС-35+15-1Т та РВС-35+15-2Т.

### 1.4 Комутаційна апаратура

На підстанції встановлені роз'єднувачі типу: РНДЗ-2-110/1000 РНДЗ-1-110/1000, на схемі нормального режиму підстанції(Далі «Схема 1») роз'єднувачі позначені 2Р та 4Р відповідно. Дані роз'єднувачі зовнішнього

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлення призначені для вмикання та вимикання під напругою за допомогою головних ножів.

Наступним елементом Схеми 1 є вентиляний розрядник РВС-110, на Схемі 1 позначений як РВС-110-1. Його призначенням є захист від атмосферних перенапруг ізоляції електроустаткування змінного струму частотою 50 або 60 Гц.

Також, однак вже зі сторони трансформатора 2Т, представлений обмежувач перенапруги ОПН-110, призначений для захисту електрообладнання розподільчих пристроїв від атмосферних та комутаційних перенапруг в електромережах 110 кВ змінного струму частоти 50 Гц з ізолюваною або компенсованою нейтраллю. Даний елемент позначений на схемі ОПН-110-2.

Від роз'єднувачів відходять відокремлювачі на 630 А, 110 кВ ОДЗ-110-630, позначений на схемі як ОД-1Т та ОД-2Т. В свою чергу дані відокремлювачі призначені від'єднання ділянки мережі від основного живлення в безструмову паузу. І як раз для цього, на обраній підстанції, присутні короткозамикачі для підстанції 110 кВ КЗ-110М. Які, в свою чергу, призначені для створення штучного короткого замикання.

Рухаючись далі за схемою зазначено розрядники РВП-6, як зрозуміло з назви, на 6 кВ. На схемі підстанції дані розрядники позначені РВП-6-1Т, РВП-2Т.

Одразу ж за ними високовольтні запобіжники ПК-6/30, призначений для захисту трансформаторів власних потреб.

Тепер можемо перерахувати обладнання зі сторони закритого розподільчого пристрою.

На стороні 6 кВ встановлені вимикачі типу ВМП: ВМП-10К/600, ВМПЕ-10К/600, ВМП-10Е, ВМП-10К/2500, ВМП-10Е/2500, ВМПЕ-10-1600. Дані вимикачі відносяться до типу маломасляних і призначені для роботи в закритих установках змінного струму високої напруги частотою 50 Гц. Представляють собою триполюсний комутаційний апарат. Керування вимикачами може здійснюватися електромагнітними приводами постійного струму, або пружинними приводами.

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

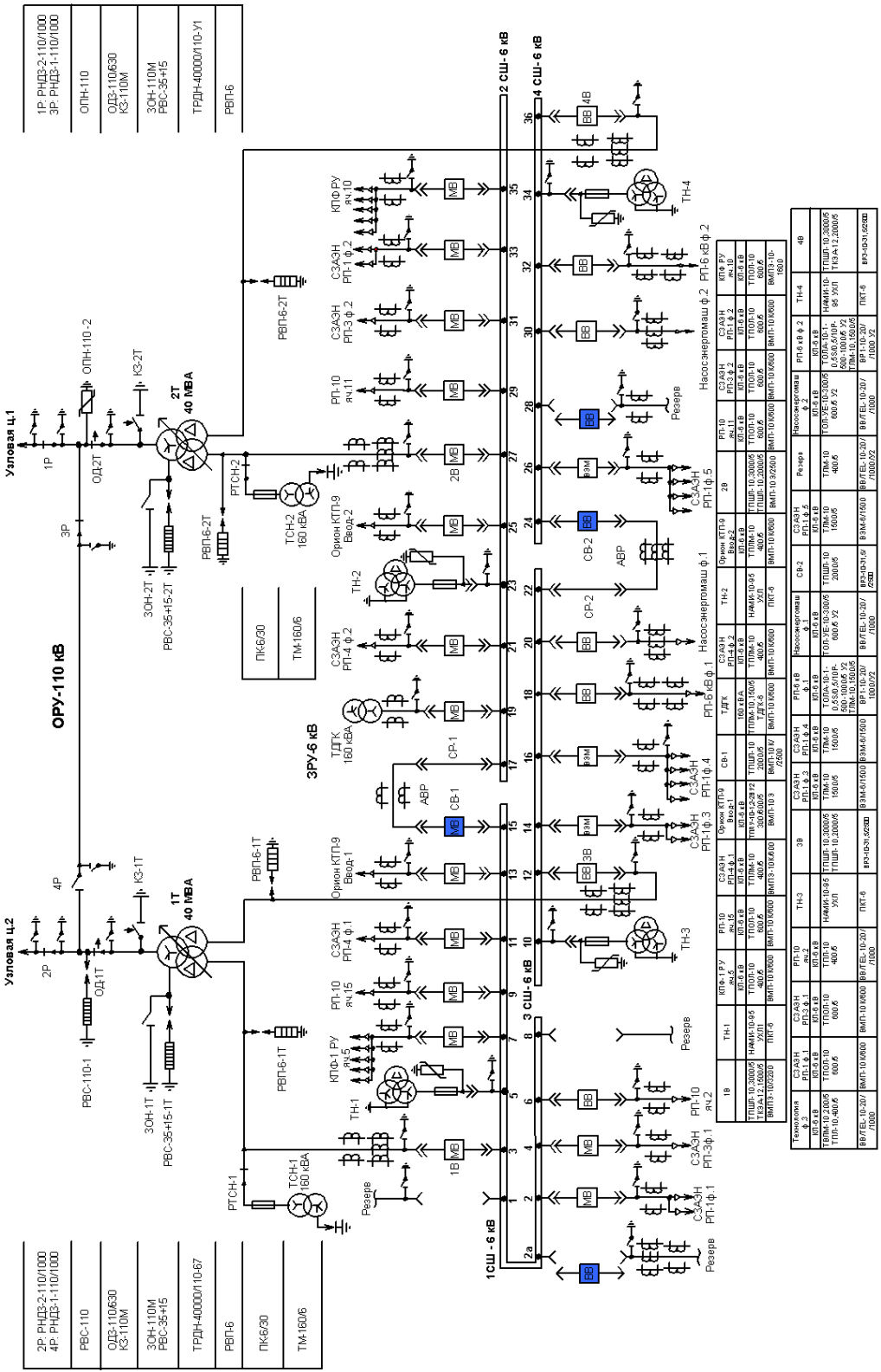
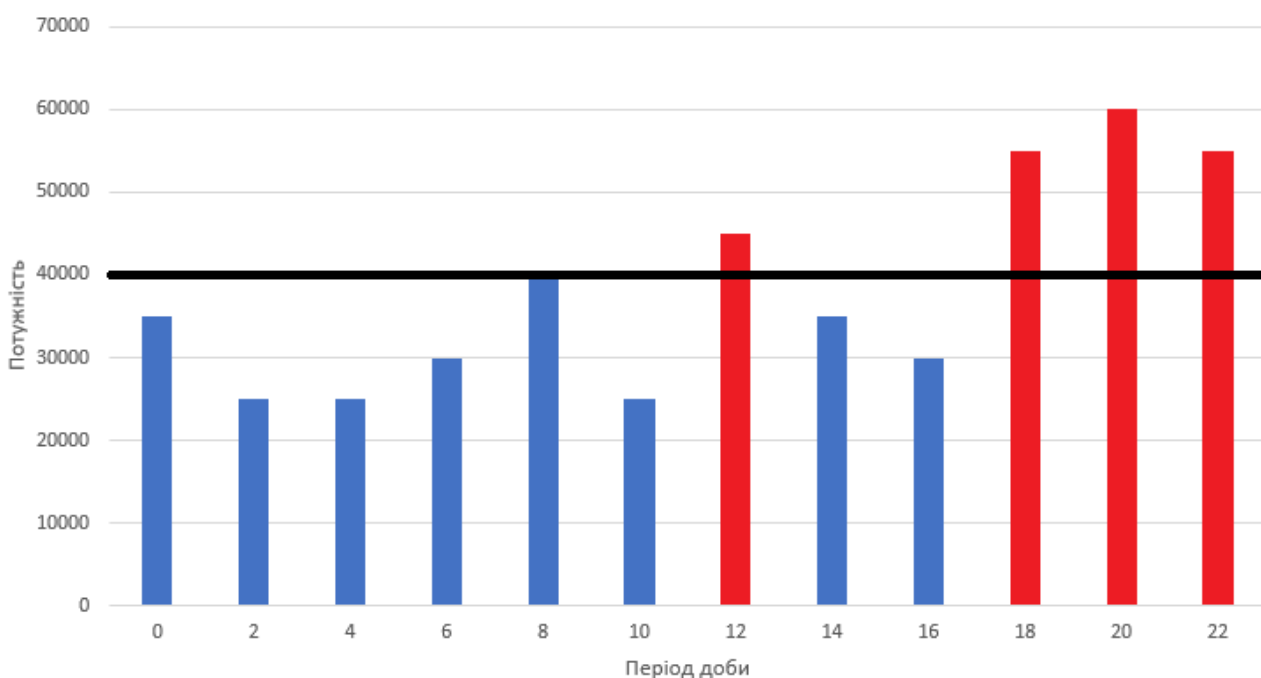


Схема 1 – «Схема нормального режиму роботи підстанції 110/6 кВ»

## 2 Технічні заходи щодо реконструкції

### 2.1 Перевірка трансформаторів ТРДН-40000/110

Найважливішою частиною будь-якої підстанції є силові трансформатори, через які й проходить електрична енергія. Однак, як і будь-що в нашому світі, міста не стоять на місці – мікрорайони розростаються в повноцінні райони, будуються нові промислові об'єкти і так далі. Через це необхідно періодично перевіряти завантаженість трансформаторів, щоб бути впевненими в їх справній безперебійній роботі. Одразу необхідно вказати, що для перевірки за ДСТУ 3463-96 я обираю температуру 10 °С, спираючись на дані [25], згідно яких середня температура міста Суми складає, приблизно, 8.2 °С. За ДСТУ 3463-96 найближчим до цього значенням є 10 °С.



Рисунк 2.1 – добовий графік навантаження трансформатору 1Т

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 2.1 - Вихідні дані для проектування

$S_{НОМ.НАВ.},$ МВА	$\cos \varphi_{НАВ}$	$t, ^\circ\text{C}$
40	0,88	+ 10

Де  $S_1, S_2, S_n$  – власне навантаження першого; другого; n-го ступеня графіка навантаження, розміщеного нижче лінії номінальної потужності трансформатора (або на ній);

$t_1, t_2, t_n$  – тривалість ступеня, година.

Таблиця 2.2 – Добове навантаження споживачів

Навантаження в % від номінальної потужності											
0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
75	62.5	62.5	75	100	62.5	112.5	87.5	75	137.5	150	137.5

Як Ми бачимо, на графіку є точки перевантаження о 12-й 18-й 20-й та 22-й годинах.

Спершу визначимо повну потужність навантаження:

$$S_{НОМ.НАВ.} = \frac{P_{НОМ.НАВ.}}{\cos \varphi_{НАВ.}} = \frac{40}{0.88} = 45.455 \text{ (МВА)}$$

Потужність трансформатора повинна бути :

$$S_{НОМ.ТР.} \geq \frac{S_{НОМ.НАВ.}}{1.4} = \frac{45.455}{1.4} = 32.468 \text{ (МВА)}$$

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							13

Таблиця 2.3 – Навантаження від номінальної потужності

Год.	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
%	75	62.5	62.5	75	100	62.5	112.5	87.5	75	137.5	150	137.5
$S_{1-12}$ , МВА	34.1	28.4	28.4	34.1	45.5	28.4	50.5	39.8	34.1	62.5	68.25	62.5

$$K_1 = \frac{\sqrt{\frac{S_1^2 \times t_1 + S_2^2 \times t_2 + S_3^2 \times t_3 + S_4^2 \times t_4 + S_5^2 \times t_5 + S_6^2 \times t_6 + S_8^2 \times t_8 + S_9^2 \times t_9}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_6 + t_8 + t_9 + t_{10}}}}{S_{НОМ.ТР.}} =$$

$$= \frac{1}{40} \times \sqrt{\frac{39.8^2 \times 2 + 34.1^2 \times 6 + 45.5^2 \times 2 + 24.1^2 \times 4}{2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2}} = 0.759$$

Аналогічно визначається другий ступінь еквівалентного графіка, але при цьому беруться ступені, розміщені вище лінії номінальної потужності трансформатора:

$$K_2 = \frac{\sqrt{\frac{S_{10}^2 \times t_{10} + S_{11}^2 \times t_{11} + S_{12}^2 \times t_{12}}{t_7 + t_{10} + t_{11} + t_{12}}}}{S_{НОМ.ТР.}} = \frac{1}{40} \times \sqrt{\frac{62.5^2 \times 4 + 68.25^2 \times 2 + 50.5^2 \times 2}{2 + 2 + 2 + 2}} = 1.532$$

Максимальне перевантаження трансформатора складає:

$$K_{МАХ} = \frac{S_{МАХ}}{S_{НОМ.}} = \frac{68.25}{40} = 1.71$$

$$K_2' = 0.9 \cdot K_{МАХ} = 0.9 \cdot 1.71 = 1.535625$$

Так як значення  $K_2' \geq K_2$ , то остаточно беремо  $K_2 = K_2' = 1.54$ .

Визначимо значення  $K_2$  ДСТУ 3463-96 при нормальному режимі роботи ( $\theta = +10$  °С, тип охолодження Д,  $t_{перев.} = 8$  год).

Використавши метод лінійної інтерполяції ми отримали:

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4: Отримання  $K_{2ГОСТ}$  методом лінійної інтерполяції

0.7	1.23
0.759	1.2241
0.8	1.22

$$K_{2ГОСТ} = 1.22$$

Ми бачимо, що  $K_{2ГОСТ}$  менше, ніж  $K_2$ , тому можемо зробити висновок, що трансформатора 1Т не достатньо для даної електричної підстанції. В свою чергу я можу запропонувати для підстанції трансформатор ТРДЦН-63000/110.

Порівняльна характеристика діючого та запропонованого трансформатора приведена нижче:

Таблиця 2.5 – порівняльна характеристика трансформаторів

Назва параметру	ТРДН-40000/110	ТРДЦН-63000/110
$S_{НОМ}$ , МВ · А	40	63
Границі регулювання	$\pm 2 \times 2.5\%$	$\pm 9 \times 1.78\%$
$U_{НОМ}$ ВН, кВ	121	115
$U_{НОМ}$ , НН кВ	6.3	6.3 або 10.5
$U_K$ , %	10.5	10.5
$P_K$ , кВт	160	260
$\Delta P_X$ , кВт	50	59
$I_X$ , %	0.65	0.6
$r_T$ , Ом	1.46	0.87
$X_T$ , Ом	38.4	22
$\Delta Q_X$ , квар	260	410

Провівши розрахунки навантаження діючого трансформатору напруги, а також порівнявши характеристики трансформаторів, остаточно прийшли до

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

висновку, що запропонований трансформатор підходить для даної підстанції й відповідає заданим вимогам.

Перевіряючи перший трансформатор 1Т, ми впевнились в тому, що кожен елемент підстанції необхідно періодично перевіряти на відповідність до сучасних умов. Тож другий трансформатор також потребує перевірки і, якщо це буде необхідно, заміни. На графіку, приведеному нижче, показано навантаження другого трансформатора:

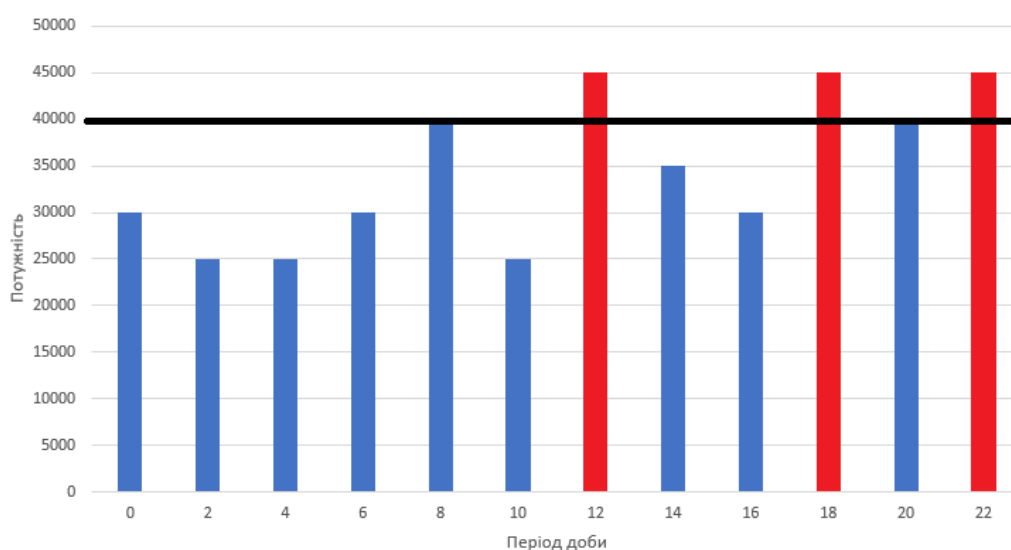


Рисунок 2.2 – добовий графік навантаження трансформатору 2Т

Таблиця 2.6 – Вихідні дані для проектування

$S_{ном.наб.},$ МВА	$\cos \varphi_{наб}$	$t, ^\circ\text{C}$
40	0,88	+ 10

Таблиця 2.7 – Добове навантаження споживачів

Навантаження в % від номінальної потужності											
0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
75	62.5	62.5	75	100	62.5	112.5	87.5	75	112.5	100	112.5



Як Ми бачимо, на графіку є точки перевантаження о 10-й 12-й 20-й та 22-й годинах.

Спершу визначимо повну потужність навантаження:

$$S_{НОМ.НАВ.} = \frac{P_{НОМ.НАВ.}}{\cos \varphi_{НАВ.}} = \frac{40}{0.88} = 45.455 \text{ (МВА)}$$

Потужність трансформатора повинна бути :

$$S_{НОМ.ТР.} \geq \frac{S_{НОМ.НАВ.}}{1.4} = \frac{45.455}{1.4} = 32.468 \text{ (МВА)}$$

Таблиця 2.8 – Навантаження від номінальної потужності

Год.	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
%	75	62.5	62.5	75	100	62.5	112.5	87.5	75	112.5	100	112.5
S <sub>1-12</sub> , МВА	34.1	28.4	28.4	34.1	45.5	28.4	51.2	39.8	34.1	51.2	45.5	51.2

Для перевірки правильності вибору трансформатора реальний графік навантаження перетворимо у двоступінчастий. Початкове навантаження еквівалентного графіка визначимо за формулою:

$$K_1 = \frac{1}{S_{НОМ.ТР.}} \times \sqrt{\frac{S_1^2 \times t_1 + S_2^2 \times t_2 + \dots + S_n^2 \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

Де S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>n</sub> – власне навантаження першого; другого; n-го ступеня графіка навантаження, розміщеного нижче лінії номінальної потужності трансформатора (або на ній);

t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, t<sub>n</sub> – тривалість ступеня, година.

$$K_1 = \frac{\sqrt{\frac{S_1^2 \times t_1 + S_2^2 \times t_2 + S_3^2 \times t_3 + S_4^2 \times t_4 + S_5^2 \times t_5 + S_6^2 \times t_6 + S_8^2 \times t_8 + S_9^2 \times t_9 + S_{10}^2 \times t_{10}}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_8 + t_9 + t_{10}}}}{S_{НОМ.ТР.}} =$$

$$= \frac{1}{40} \times \sqrt{\frac{34.1^2 \times 4 + 34.1^2 \times 6 + 45.5^2 \times 2}{2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2}} = 0.899$$

Аналогічно визначається другий ступінь еквівалентного графіка, але при цьому беруться ступені, розміщені вище лінії номінальної потужності трансформатора:

$$K_2 = \frac{\sqrt{\frac{S_7^2 \times t_7 + S_{11}^2 \times t_{11} + S_{12}^2 \times t_{12}}{t_7 + t_{11} + t_{12}}}}{S_{НОМ.ТР.}} = \frac{1}{40} \sqrt{\frac{51.2^2 \times 6}{2 + 2 + 2}} = 1.28$$

Максимальне перевантаження трансформатора складає:

$$K_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{S_{НОМ.}} = \frac{51.2}{40} = 1.28$$

$$K_2' = 0.9 \cdot K_{MAX} = 0.9 \cdot 1.28 = 1.152$$

Так як значення  $K_2' \leq K_2$ , то остаточно беремо  $K_2 = K_2' = 1.28$ .

Визначимо значення  $K_2$  за ДСТУ 3463-96 при нормальному режимі роботи ( $\theta = +10^\circ\text{C}$ , тип охолодження Д,  $t_{перев.} = 6$  год).

Використавши метод лінійної інтерполяції ми отримали

Таблиця 2.9: Розрахунок  $K_{2ГОСТ}$  методом лінійної інтерполяції

0.8	1.27
0.899	<b>1.24</b>
0.9	1.24

$$K_{2ГОСТ} = 1.24$$

Ми бачимо, що при перевірці другого трансформатора  $K_{2ГОСТ}$  виявився також менший за  $K_2$ , тому можемо зробити аналогічний висновок – трансформатор 2Т потребує заміни на більш потужний. В свою чергу ми можемо використати трансформатор – ТРДЦН-63000/110, або аналогічний до нього ТРДЦНК-63000/110.

Я обираю трансформатор ТРДЦН-63000/110, характеристики якого, у порівнянні з діючим будуть наведені у таблиці нижче:

Таблиця 2.10 – порівняльна характеристика трансформаторів

Назва параметру	ТРДН-40000/110	ТРДЦН-63000/110
$S_{НОМ}$ , МВ · А	40	63
Границі регулювання	$\pm 2 \times 2.5\%$	$\pm 9 \times 1.78\%$
$U_{НОМ}$ ВН, кВ	121	115
$U_{НОМ}$ , НН кВ	6.3	6.3 або 10.5
$U_K$ , %	10.5	10.5
$P_K$ , кВт	160	260
$\Delta P_X$ , кВт	50	59
$I_X$ , %	0.65	0.6
$r_T$ , Ом	1.46	0.87
$X_T$ , Ом	38.4	22
$\Delta Q_X$ , квар	260	410

Провівши розрахунки навантаження діючого силового трансформатору 2Т, а також порівнявши характеристики трансформаторів, остаточно прийшли до аналогічного висновку – запропонований трансформатор не підходить для даної підстанції й відповідає заданим вимогам.

Як висновок, можна сказати, що запропоновані силові трансформатори будуть цілком задовольняти заданим умовам.

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2 Розрахунок блискавкозахисту

Однією з умов безпечної роботи працівників будь-якої підстанції є забезпечення надійного блискавкозахисту на всій території ПС. Для того, щоб виконати перевірку вже встановленого блискавкозахисту, та, у разі необхідності, його заміни нам необхідно зробити деякі розрахунки, а саме:

1. Розрахувати висоту блискавковідводів ВРП-110 кВ, та порівняти з вже встановленими на території підстанції.
2. Розрахувати зону захисту вищевказаних блискавковідводів, встановлених на порталах.
3. Накреслити горизонтальний перетин зони захисту блискавковідводів на висоті  $h_x$

Також, одразу необхідно окремо підкреслити, що надійність зони захисту від уражень блискавки  $P_3=0.999$ . Існуючий блискавкозахист буде перевірено згідно ДСТУ Б В.2.5-38:2008.

Всі необхідні параметри існуючого блискавкозахисту підстанції, що реконструюється, будуть приведені в даному пункті. Надійність захисту підстанції  $P_3$  складає 0.99, горизонтальний перетин  $h_x = 6$  м.

Таблиця 2.11 – Висоти блискавковідводів

Блискавковідвід	Висота блискавковідводу, м
$h_1$	15.88
$h_2$	15.41
$h_3$	9.28
$h_4$	9.19

Стандартною зоною захисту стрижньового блискавковідводу висотою  $h$  є круговий конус висотою  $h_0 < h$ , вершина якого співпадає з вертикальною віссю блискавковідводу. Габарити зони визначаються двома параметрами: висотою конуса  $h_0$  і радіусом конуса на рівні землі  $r_0$ .

В подальших розрахунках Я буду використовувати формули придатні для блискавковідводів висотою до 150 м. При більш високих блискавковідводах слід користуватися спеціальною методикою розрахунку.

Блискавковідвід вважається подвійним, коли відстань між стрижньовими блискавкоприймачами  $L$  не перевищує граничної величини  $L_{MAX}$ . В іншому випадку обидва блискавковідводи будуть розглядатись як одиничні.

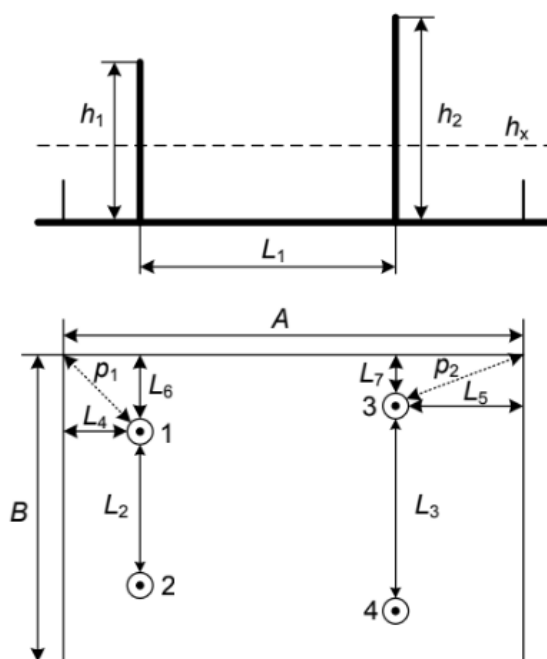


Рисунок 2.3 – Схема розміщення стрижневих блискавковідводів ВРП-110кВ

Таблиця 2.12 – Розрахункові параметри

A, м	B, м	L <sub>1</sub> , м	L <sub>2</sub> , м	L <sub>3</sub> , м	L <sub>4</sub> , м	L <sub>5</sub> , м	h <sub>x</sub> , м
52	40	35	14	26	8	9	6

1) Визначимо відстані  $L_6$  та  $L_7$ :

$$L_6 = \frac{B - L_2}{2} = \frac{40 - 14}{2} = 13 \text{ (м)}$$

$$L_7 = \frac{B - L_3}{2} = \frac{40 - 26}{2} = 7 \text{ (м)}$$

2) Визначимо відстані  $p_1$  та  $p_2$ :

$$p_1 = \sqrt{(L_6^2 + L_4^2)} = \sqrt{(13^2 + 8^2)} = 15.264 \text{ (м)}$$

$$p_1 = \sqrt{(L_7^2 + L_5^2)} = \sqrt{(7^2 + 9^2)} = 11.402 \text{ (м)}$$

3) При  $h \leq 30$  за  $P_3 = 0.999$

$$\begin{cases} h_{on} = 0.7 h_n \\ r_{x1} = \frac{r_{01} \times (h_{01} - h_x)}{h_{01}} \\ r_{01} = 0.6 \times h_1 \end{cases} \text{ за умови, що } r_{x1} = p_1$$

$$p_1 = \frac{0.6 \times h_1 \times (0.7 \times h_1 - h_x)}{0.7 \times h_1} \Rightarrow h_1 = 16.869 \text{ м}$$

Остаточно приймаємо висоту блискавковідводів 1 та 2 рівними  $h_1 = h_2 = 16.869$  м, що задовольняє умові  $h \leq 30$ . Однак, вже на цьому етапі розрахунків видно, що встановлені на заданій підстанції блискавковідводи  $h_1$  та  $h_2$ , висотами 15.88 м та 15.41 м відповідно, не задовольняють вимогам. Отже, одразу потрібно відмітити, що вони будуть замінені на більш високі аналоги.

4) Розрахуємо висоти блискавковідводів 3 та 4:

$$\begin{cases} h_{on} = 0.7 h_3 \\ r_{x3} = \frac{r_{03} \times (h_{03} - h_x)}{h_{03}} \\ r_{03} = 0.6 \times h_3 \end{cases} \text{ За умови, що } r_{x3} = p_2$$

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_2 = \frac{0.6 \times h_3 \times (0.7 \times h_3 - h_x)}{0.7 \times h_3} \Rightarrow h_3 = 10.431 \text{ м}$$

5) Отримане значення висоти  $h_3 = 10.431 \text{ м}$  задовільняє умові  $h \leq 30$ , тому остаточно приймаємо висоту блискавковідводів  $h_3 = h_4 = 10.431 \text{ м}$ . Аналогічно до пункту 4) блискавковідводи 3 та 4 не підходять, тому вони також будуть замінені.

Таблиця 2.13 – Порівняння висот дійсних, та розрахованих блискавковідводів

Номер блискавковідводу	Дійна висота, м	Розрахована висота, м
1	15.88	16.689
2	15.41	16.689
3	9.28	10.431
4	9.19	10.431

б) Розраховуємо зони захисту блискавковідводів 1 та 2:

$$L_{12} = L_2 = 14 \text{ (м)}$$

$$r_{01} = r_{02} = 0.6 \times h_1 = 0.6 \times 16.869 = 10.121 \text{ (м)}$$

$$h_{01} = h_{02} = 0.7 \times h_1 = 0.7 \times 16.869 = 11.808 \text{ (м)}$$

$$r_{x1} = r_{x2} = \frac{r_{01} \times (h_{01} - h_x)}{h_{01}} = \frac{10.121 \times (11.808 - 6)}{11.808} = 4.978 \text{ (м)}$$

$$L_{C12} = 2.25 \times h_1 = 2.25 \times 16.869 = 37.955 \text{ (м)}$$

$$L_{max12} = 4.25 \times h_1 = 4.25 \times 16.869 = 71.693 \text{ (м)}$$

$$\begin{cases} h_{C12} = h_{01} = 11.808 \text{ (м)}, \text{ при } L_{12} \leq L_{C12} \\ r_{CX12} = \frac{r_{01} \times (h_{C12} - h_x)}{h_{C12}} = \frac{10.121 \times (11.808 - 6)}{11.808} = 4.978 \text{ (м)} \end{cases}$$

7) Розраховуємо зони захисту блискавковідводів 3 та 4:

$$L_{34} = L_3 = 26 \text{ (м)}$$

$$r_{03} = r_{04} = 0.6 \times h_3 = 0.6 \times 10.431 = 6.259 \text{ (м)}$$

$$h_{03} = h_{04} = 0.7 \times h_3 = 0.7 \times 10.431 = 7.302 \text{ (м)}$$

$$\begin{cases} h_{C34} = h_{03} = 7.302 \text{ (м)}, \text{ при } L_{34} \leq L_{C34} \\ r_{CX34} = \frac{r_{03} \times (h_{C34} - h_x)}{h_{C34}} = \frac{6.259 \times (7.302 - 6)}{7.302} = 1.115 \text{ (м)} \end{cases}$$

8) Перевіримо зони захисту між блискавковідводами 1 та 3 за висоти  $h_1 = 16.869$  м:

$$L_{C13} = 2.25 \times h_1 = 2.25 \times 16.869 = 37.955 \text{ (м)}$$

$$L_{max13} = 4.25 \times h_1 = 4.25 \times 16.869 = 71.693 \text{ (м)}$$

$$h_{C13} = h_{01} = 11.808 \text{ (м)} \Rightarrow L_{13} \leq L_{C13}$$

9) Перевіримо зони захисту між блискавковідводами 1 та 3 за умови, що висота  $h_3 = 10.431$ :

$$L_{C31} = 2.25 \times h_3 = 2.25 \times 10.431 = 23.47 \text{ (м)}$$

$$L_{max31} = 4.25 \times h_3 = 4.25 \times 10.431 = 44.332 \text{ (м)}$$

$$h_{C13} = h_{03} = 7.302 \text{ (м)} \Rightarrow L_{31} \leq L_{C31}$$

$$\begin{cases} h_{Cmin13} = \frac{h_{C13} + h_{C31}}{2} = \frac{7.302 + 23.47}{2} = 15.386 \text{ (м)} \\ r_{C013} = \frac{r_{01} + r_{02}}{2} = \frac{10.121 + 10.121}{2} = 10.121 \text{ (м)} \\ r_{CX13} = \frac{r_{C013} \times (h_{Cmin13} - h_x)}{h_{Cmin13}} = \frac{10.121 \times (15.386 - 6)}{15.386} = 6.174 \text{ (м)} \end{cases}$$

10) Визначимо параметри зони захисту між блискавковідводами 1 та 4 за умови, що висота  $h_1 = 16.869$ :

$$L_{14} = \sqrt{(L_1)^2 + \left(L_2 + \frac{L_3 - L_2}{2}\right)^2} = \sqrt{(35)^2 + \left(14 + \frac{26 - 14}{2}\right)^2} = 40.311$$

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



11) Розраховуємо зони захисту між блискавковідводами 1 та 4 за висоти  $h_1 = 16.869$  м:

$$L_{C14} = 2.25 \times h_1 = 2.25 \times 16.869 = 37.955 \text{ (м)}$$

$$L_{max14} = 4.25 \times h_1 = 4.25 \times 16.869 = 71.693 \text{ (м)}$$

$$h_{C14} = h_{01} = 11.808 \text{ (м)} \Rightarrow L_{14} \leq L_{C14}$$

12) Розраховуємо зони захисту між блискавковідводами 1 та 4 за висоти  $h_1 = 10.431$  м:

$$L_{C41} = 2.25 \times h_4 = 2.25 \times 10.431 = 23.47 \text{ (м)}$$

$$L_{max41} = 4.25 \times h_4 = 4.25 \times 10.431 = 44.332 \text{ (м)}$$

$$h_{C41} = h_{04} = 7.302 \text{ (м)} \Rightarrow L_{41} \leq L_{C41}$$

13) Перевіримо зони захисту блискавковідводів 1 та 4 при спільній їх дії:

$$\begin{cases} h_{Cmin14} = \frac{h_{C14} + h_{C41}}{2} = \frac{11.808 + 7.302}{2} = 15.386 \text{ (м)} \\ r_{C014} = \frac{r_{01} + r_{04}}{2} = \frac{10.121 + 6.259}{2} = 8.19 \text{ (м)} \\ r_{CX14} = \frac{r_{C014} \times (h_{Cmin14} - h_x)}{h_{Cmin14}} = \frac{8.19 \times (15.386 - 6)}{15.386} = 4.996 \text{ (м)} \end{cases}$$

В даному розділі було повністю перевірено існуючий блискавкозахист заданої підстанції. Розраховано необхідні висоти блискавковідводів. Як результат було створено план захисту підстанції, що дає змогу сказати, що замінивши існуючі на розраховані стрижневі блискавковідводи вдасться захистити працівників та обладнання підстанції від ударів блискавки.

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

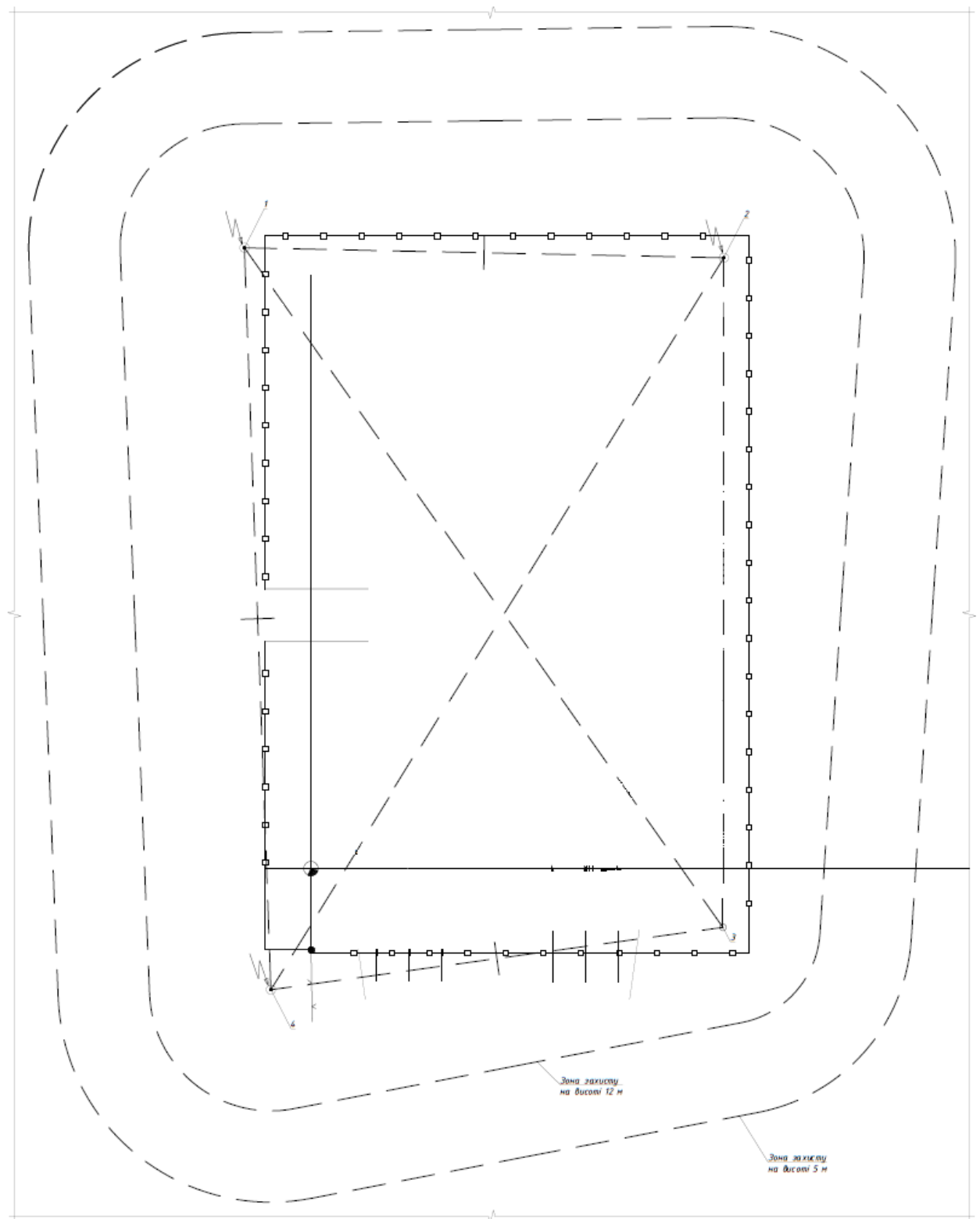


Рисунок 2.4 – План блискавкозахисту підстанції.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 3.6.141.388 ПЗ

Арк.

26

### 2.3 Розрахунок струмів короткого замикання

Коротким замиканням (КЗ) називають будь-яке, непередбачене нормальними умовами, з'єднання двох точок електричного кола. КЗ ніколи не виникає безпричинно, однак, основними передумовами виникнення замикання є:

- Пошкодження ізоляції внаслідок старіння чи забруднення
- Накидання проводів один на одний
- Халатність чи просто помилка у праці персоналу підстанції

Тому дуже важливо, в першу чергу для безпечної роботи електроустаткування, чітко розрахувати струм КЗ.

Тривалість КЗ складає, зазвичай, від часток секунди до декількох секунд. Протягом цього часу виділення тепла настільки велике, що температура провідників і апаратів виходить за встановлені для нормального режиму роботи межі, а здатність апарата або провідника витримувати короточасну теплову дію струму короткого замикання без ушкоджень називають термічною стійкістю.

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору устаткування на стороні 110 кВ і 6 кВ. Підстанція живлення за двома тупиковими лініями: схеми заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 2.

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центра живлення складає  $S_{КЗ.С} = 40000$  МВА.

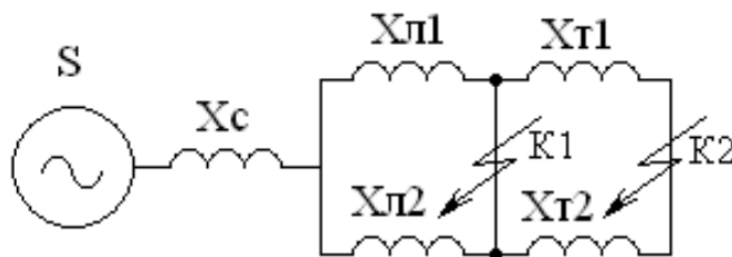


Рисунок 2.5 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

									Арк.
									27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Спершу розрахуємо опори ліній, трансформаторів та системи

Таблиця 2.14 – Параметри проводу АС-150 [8]

Переіз проводу	Переріз алюмінію Мм <sup>2</sup>	Переріз сталі мм <sup>2</sup>	Діаметр провідника мм	Діаметр сталю сердечнику мм	Електричний опір Ом/км
150/24	149	24.2	18.9	6.3	0.198

1) Опір працюючих ліній дорівнює:

$$X_L = \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} = \frac{152 \cdot 78}{78 + 152} = 51.548 \text{ (Ом)}$$

2) Опір трансформаторів дорівнює :

$$X_T = \sqrt{U_K^2 - \left(\frac{100P_{K.HOM}}{S_{T.HOM}}\right) \cdot \frac{U_{HH.HOM}^2}{S_{T.HOM}}} = \sqrt{10.5^2 - \left(\frac{100 \cdot 172}{40000}\right) \cdot \frac{6^2}{40}} = 9.432 \text{ (Ом)}$$

3) Опір системи дорівнює:

$$X_C = \frac{U_B^2}{S_C} = \frac{110^2 \cdot 10^6}{40000 \cdot 10^6} = 0.303 \text{ (Ом)}$$

4) Періодична складова СКЗ у точці K<sub>1</sub>:

$$I_{K1} = \frac{U_B}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_L)} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (0.303 + 51.548)} = 1.2 \text{ (кА)}$$

5) Періодична складова СКЗ у точці K<sub>2</sub>:

$$I_{K2}^B = \frac{U_B}{\sqrt{3}(X_C + X_L + X_T)} \cdot \frac{U_B}{U_H} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(0.303 + 51.548 + 9.432)} \cdot \frac{110 \times 10^3}{6 \times 10^3} = 19 \text{ (кА)}$$

6) Ударний струм

– у точці K<sub>1</sub>:  $=i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot 1.2 = 2.732 \text{ (кА)}$

– у точці K<sub>2</sub>:  $=i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot 19 = 43.259 \text{ (кА)}$

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Вважаємо, амплітуда ЕРС і періодична складова струму КЗ незмінні в часі, тому через час, який дорівнює часу відключення:

$$I_{nt1} = I_{K1} = 2.789 \text{ кА} \quad \text{для точки } K_1.$$

$$I_{nt2} = I_{K2} = 43.259 \text{ кА} \quad \text{для точки } K_2.$$

Аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів вимикача:

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot I_{nt1} \cdot e^{-\frac{t_1}{T_{a1}}} = \sqrt{2} \cdot 2.789 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,025}} = 0.358 \text{ (кА)}$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot I_{nt2} \cdot e^{-\frac{t_2}{T_{a2}}} = \sqrt{2} \cdot 43.259 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,05}} = 8.279 \text{ (кА)}$$

де  $T_a$  – постійна часу затухання аперіодичної складової ;

$$T_{a1} = 0.025 \text{ с}, \quad t_1 = 0.06 \text{ с}, \quad T_{a2} = 0.05 \text{ с}, \quad t_2 = 0.1 \text{ с}$$

Інтергал Джоуля (термічна стійкість):

$$- \text{ для } K_1: B_R = I_{K1}^2(t + T_a) = 8.652^2 \cdot (0.06 + 0.025) = 0.661 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

$$- \text{ для } K_2: B_R = I_{K2}^2(t + T_a) = 33.06^2 \cdot (0.1 + 0.05) = 280.701 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Дані розрахунків заносимо до таблиці 3.1

Таблиця 2.15 – Результати розрахунків струмів КЗ

Точка КЗ	Період. склад. струму КЗ в поч. момент часу, кА	Ударний струм КЗ, кА	Період. склад. струму КЗ в момент спрац. вимикача, кА	Аперіод. склад. струму КЗ, кА	Інтеграл Джоуля, кА <sup>2</sup> с
Шини 110 кВ (K <sub>1</sub> )	1.2	2.732	1.2	0.358	0.661
Шини 6 кВ (K <sub>2</sub> )	19	43.259	19	8.279	280.701

## 2.4 Перевірка заземлюючих пристроїв підстанції

Заземленням називають електричне з'єднання елементів електричних машин, апаратів, пристроїв і так далі з землею для захисту людей від враження електричним струмом або захисту електрообладнання. Основним показником якості заземлення є його опір.

У відповідності від ПУЕ встановлюють припустимий опір заземлюючого пристрою  $R_3$ . Сам заземлюючий пристрій повинен бути виконаний у відповідності до ПУЕ пп. 51 п. 1.7. Опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 0.5 Ом.

Таблиця 2.16 – Початкові дані

$\rho$ , Ом м	100
$R_H$ , Ом	4
$K_{п.г.}$	2.5
$K_{п.в.}$	1.5

$$\rho_{р.г.} = \rho_{пит} \times K_{п.г.} = 100 \times 2.5 = 250 \text{ (Ом)}$$

$$\rho_{р.в.} = \rho_{пит} \times K_{п.в.} = 100 \times 1.5 = 150 \text{ (Ом)}$$

Тепер можемо знайти опір стікання струму одного вертикального електрода. Діаметр даного електрода 20 мм, довжина 3 м. Верхні кінці стрижнів знаходяться в землі на глибині 0.2 метра від поверхні землі. Отже:

$$H = 0.8 \text{ (м)} ; l = 3 \text{ (м)} ; d = 20 \times 10^{-3} \text{ (м)}.$$

$$t = H + \frac{l}{2} = 0.8 + \frac{3}{2} = 2.3 \text{ (м)}$$

$$R_{в.0} = \frac{\rho_{р.в.}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \right) \ln \frac{4t+l}{4t-l} = \frac{150}{6\pi} \left( \ln \frac{2 \times 1}{20 \times 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \times 2.3 + 3}{4 \times 2.3 - 3} \right) =$$

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$= 48(\text{Ом})$$

Далі визначається зразкове число вертикальних заземлювачів:

$$N = \frac{R_{в.0}}{K_{и.в.} \times R_u} = \frac{48}{4 \times 0.8} = 15 \text{ (шт.)}$$

Де  $K_{и.в.}$  – коефіцієнт використання,  $K_{и.в.} = 0.8$

Для вирівнювання потенціалів по всій площі підстанції використовується зрівняльний контур із сталевих смуг перетином  $40 \times 4 \text{ мм}^2$ , що прокладається на глибині  $0.8 \text{ м}$  від поверхні землі.

$$H = 0.8 \text{ (м)} ; t = 0.802 \text{ (м)} ; l = 120 \text{ (м)} ; b = 0.04 \text{ (м)}.$$

$$R_{р.г.е.} = \frac{\rho_{р.г.}}{2\pi l} \ln\left(\frac{2l^2}{bt}\right) = \frac{5.3}{2\pi \times 120} \ln\left(\frac{2 \times 120^2}{0.04 \times 0.802}\right) = 22(\text{Ом})$$

Тепер необхідно уточнити необхідний опір вертикальних електродів:

$$R_{в.е.} = \frac{R_{р.г.е.} \times R_u}{R_{р.г.е.} - R_u} = \frac{22.8 \times 4}{(22.8 - 4)} = 3.85 \text{ (Ом)}$$

Отже, остаточне число вертикальних електродів:

$$N = \frac{R_{в.0}}{K_{и.в.} \times R_{в.е.}} = \frac{48}{0.8 \times 3.85} = 15.616 \approx 16 \text{ (шт.)}$$

Тепер можна зробити остаточні висновки щодо заземлюючого пристрою підстанції. Він складається із вертикальних та горизонтальних заземлювачів. Горизонтальний заземлювач, що являє собою сталеві смуги, прокладається на відстань  $0.8 - 1 \text{ м}$  від фундаменту. Заземлюючі стрижні заглибляться в землю з відстанню між стрижнями  $1 \text{ м}$ .

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 Вибір комутаційного та захисного обладнання

#### 3.1 Вибір вимикача на стороні ЗРУ 6 - кВ

Вимикачем називається комутаційний апарат, призначенням якого є вмикання та вимикання електричних кіл напругою вище 1 кВ в нормальному режимі та вимикання кіл в аварійних режимах.

Вимикачі класифікуються: – за кількістю фаз (одно-, дво- та трифазні);  
– за місцем розташування (зовнішньої та внутрішньої установки);  
– за часом вимикання (до 0,08 с – швидкодіючі; до 0,12 с – прискореної дії; до 0,25 с – не швидкодіючі).

До вимикачів пред'являються такі вимоги:

- 1) надійність в роботі і безпека для оточуючих;
- 2) можливо малий час відключення;
- 3) по можливості малі габарити і маса;
- 4) простота монтажу;
- 5) безшумність роботи;
- 6) порівняно невисока вартість.

На даний момент неможливо збудувати підстанцію без встановлених на ній вимикачів. Однак, як і будь-яка інша технологія, вимикачі постійно модернізуються, створюються покращені аналоги або й зовсім винаходяться вимикачі, засновані на інших, покращених, технологіях.

Повертаючись до заданої підстанції – у закритій розподільчій установці (ЗРУ-6 кВ): на даній підстанції встановлені масляні вимикачі типу ВМП: ВМП-10К/600, ВМПЕ-10К/600, ВМП-10Е, ВМП-10К/2500, ВМП-10Е/2500, ВМПЕ-10-1600. Дані вимикачі відносяться до типу маломасляних і призначені для роботи в закритих установках змінного струму високої напруги частотою 50 Гц.

Дані вимикачі представляють собою триполюсний комутаційний апарат. Керування вимикачами може здійснюватися електромагнітними приводами

					<i>БР 3.6.141.388 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



постійного струму, або пружинними приводами. Зовнішній вигляд представлений на рисунках 3.1 та 3.2

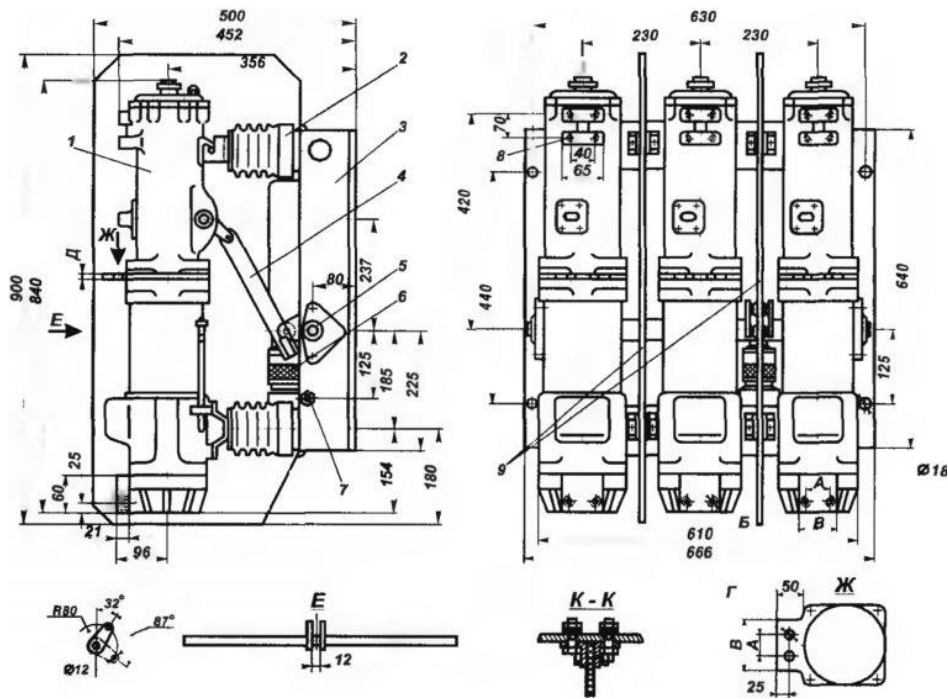


Рисунок 3.1 – Креслення вимикача ВМП-10К



Рисунок 3.2 – зовнішній вигляд вимикача ВМП-10

					БР 3.6.141.388 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Однак, сфера електроенергетики не стоїть на місці і, ще нещодавно, сучасні масляні вимикачі вже так званий рудимент, який необхідно замінювати навіть не на аналогічний, а на більш сучасні вакуумні або елегазові вимикачі.

На даний момент прийнято вважати, що елегазові вимикачі є більш новітньою й новочасною технологією аніж вакуумні. Однак, елегазові вимикачі, в свою чергу й більш складні в експлуатації. Сам елегаз SF<sub>6</sub> при нормальних умовах у 5<sup>[12]</sup> разів важчий за повітря, і саме з цим пов'язані складності експлуатації даного типу вимикачів.

Тож, остаточний вибір, у разі необхідності заміни, припадає на сучасні вакуумні вимикачі.

Однак, на звичайному виборі типу вимикача робота не завершується, необхідно обрати найбільш підходящий для нас комутаційний апарат за декількома критеріями, у цьому нам, як раз, і знадобляться вирахувані у попередньому пункті струми короткого замикання.

Таблиця 3.1 – Розраховані струми короткого замикання

Точка КЗ	Період. склад. струму КЗ в поч. момент часу, кА	Ударний струм КЗ, кА	Період. склад. струму КЗ в момент спрац. вимикача, кА	Аперіод. склад. струму КЗ, кА	Інтеграл Джоуля, кА <sup>2</sup> с
Шини 110 кВ (K <sub>1</sub> )	1.2	2.732	1.2	0.358	0.661
Шини 6 кВ (K <sub>2</sub> )	19	43.259	19	8.279	280.701

Для вибору апаратів і струмоведучих частин необхідно визначити струми нормального і післяаварійного режимів. Визначення струмів виконується для випадку установки на підстанції силового трансформатора. Розрахованого відповідно до графіка навантаження підстанції.

Максимальний струм на високій напрузі:

					БР 3.6.141.388 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{max}^{BB} = \frac{1,4 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 509 \text{ A}$$

Струм у колі ввідних вимикачів на низькій напрузі:

$$I_{max}^{HH} = \frac{1,4 S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot 10} = \frac{1,4 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5092 \text{ A}$$

Струм у колі секційного вимикача:

$$I_{max}^{C.B.} = \frac{0,7 S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot 10} = \frac{0,7 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2546 \text{ A}$$

Струм у колі лінії, що відходить:

$$I_{max}^{LB} = \frac{1,4 S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot n} = \frac{1,4 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 24} = 212 \text{ A}$$

На боці низької напруги рекомендується вибирати вакуумні вимикачі, тому обираємо вимикач ВВТЭ – 10 – 20/1000УХЛ2 на боці 10 кВ.

Таблиця 3.2 – Вибір вимикачів у колі трансформатора на боці 6 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	6 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	509 А	1000 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	18.999 кА	20 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	43.259 кА	52 кА
$I_{n\tau} \leq I_{откНом}$	18.999 кА	20 кА
$I_{ат} \leq I_{a ном}$	8.279 кА	7 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	280.701 кА <sup>2</sup> с	1200 кА <sup>2</sup> с

Обраний вимикач майже задовольняє умови вибору. Однак, значення аперіодичної складової  $I_{ат}$  вище за каталожне значення  $I_{a ном}$ , тому оберемо інший вимикач, щоб він повністю підходив.

## Обираємо вимикач ВВЭ-10-31.5/1000У3

Таблиця 3.3 – Вибір вимикачів у колі трансформатора на боці 6 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	6 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	509 А	1000 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	18.999 кА	31.5 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	43.259 кА	80 кА
$I_{нт} \leq I_{ОткНом}$	18.999 кА	31.5 кА
$I_{ат} \leq I_{а ном}$	8.279 кА	10.5 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	280.701 кА <sup>2</sup> с	1200 кА <sup>2</sup> с

Даний вимикач цілком і повністю підходить під встановлені умови, тому рекомендується поставити його. Зовнішній вигляд вакуумного вимикача ВВТЭ-10-31.5/1000 показано на рисунку нижче:



Рисунок 3.3 Зовнішній вигляд вимикача

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Також, одразу необхідно вказати, що деякі з вимикачів будуть при нормальному режимі роботи вимкнені, а деякі ввімкнені. На схемі нормального режиму роботи підстанції це гарно видно.

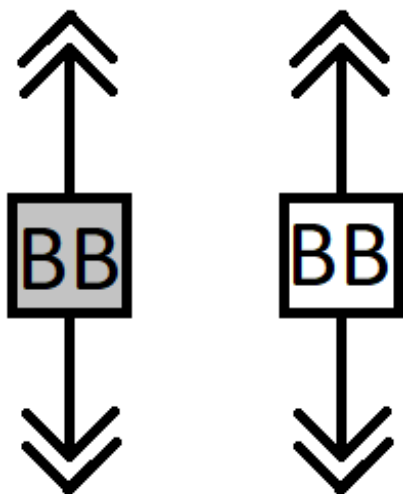


Рисунок 3.4 – Умовні позначення вимикачів (а – вимкнений вимикач, б ввімкнений)

Тепер вимикачі на боці низької напруги підстанції повністю перевірені. Повністю замінені старі масляні вимикачі ВМП-10К на нові вакуумні вимикачі ВВТЭ – 10 – 31.5/1000УЗ. Це пов'язано з тим, що вакуумні вимикачі більше підходять до умов, які склалися після розрахунку параметрів, необхідних для обирання вимикача, а також через те, що вакуумні вимикачі простіші в експлуатації, аніж їх масляні аналоги.

### 3.3 Вибір обмежувача перенапруги на стороні 110 кВ

На даний момент високовольний розрядник РВС-110 встановлено на лінії трансформатора 1Т. РВС-110 призначений для захисту від атмосферних перенапруг ізоляції електрообладнання у системах змінного струму 50 Гц. Даний тип захисту встановлюється на відкритому повітрі в розподільчих пристроях (див. рис. 4.1) класом напруги 110 кВ.

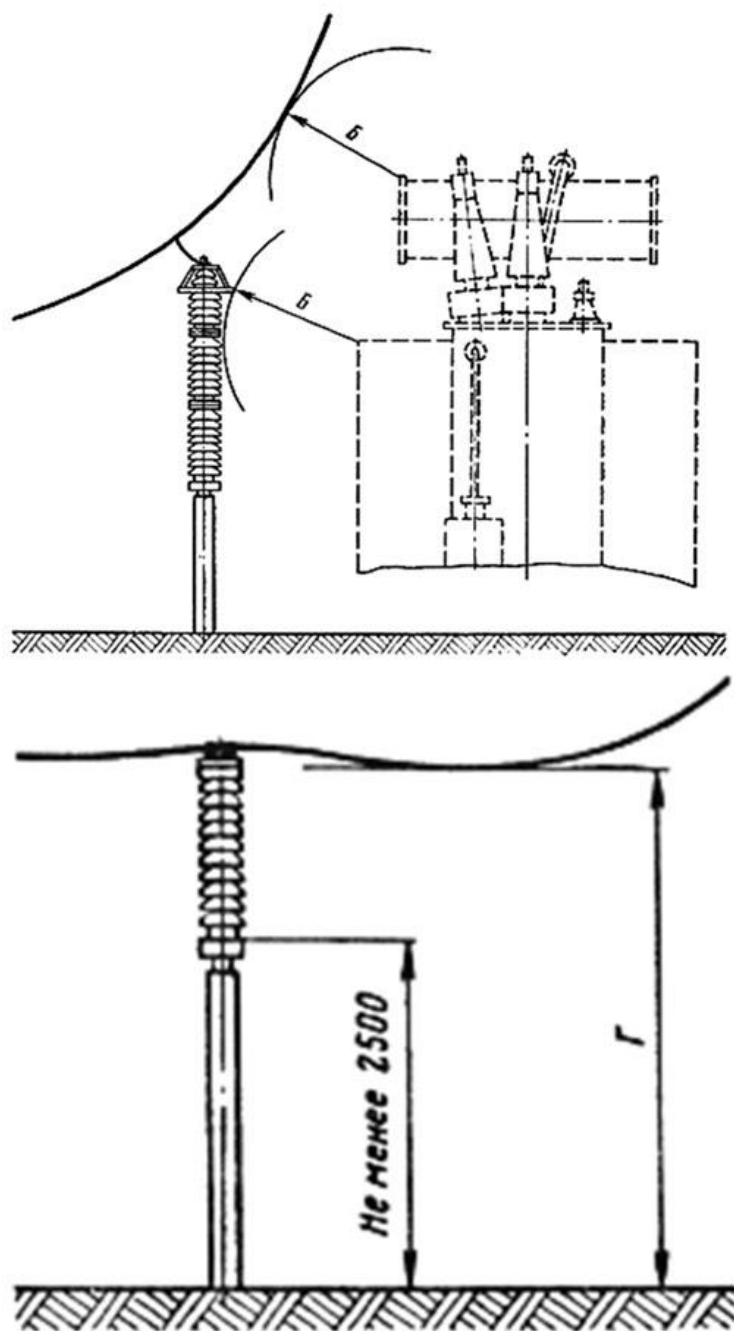


Рисунок 3.5 – Зображення розрядника вентиляного РВС-110

					БР 3.6.141.388 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Однак, такий розрядник має масу обмежень в експлуатації. Наприклад, мінімальна відстань від даного розрядника до іншого електроустаткування має бути не менше 1650 мм. Також, встановлений на фундаменті, РВС-110 має бути огорожений, якщо висота фундаменту розрядника нижча за 2.5 метра. Зараз вважається, що розрядники вже морально застарілі, тому, навіть зневажаючи на стан комутаційного апарату, їх бажано замінювати.

На стороні другого трансформатора ми маємо обмежувач перенапруг нелінійний ОПН-110 кВ. Даний комутаційний апарат призначений також для захисту електроустаткування розподільчих пристроїв від атмосферних та комутаційних перенапруг в мережах 110 кВ змінного струму частоти 50 Гц.

Тому рекомендується замінити високовольтний розрядник РВС-110 на обмежувач перенапруг ОПН-110. Характеристика даного комутаційного апарату зведена до таблиці 3.4. Спершу розрахуємо найбільшу довготривалу допустиму робочу напругу ОПН.

$$U_{НРО} \geq (1.1 \div 1.2) \cdot \frac{U_{НРС}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{НРО} \geq (1.1 \div 1.2) \cdot \frac{126}{\sqrt{3}} = 87.295 \text{ (кВ)}$$

$$100 \geq 1.2 \cdot \frac{126}{\sqrt{3}} \geq 87.295 \text{ (кВ)}$$

Таблиця 3.4 Характеристика ОПН-110

Назва параметру	ОПН-110
Номінальна напруга	110 кВ
Частота струму	48-62 Гц
Найбільша довготривала допустима робоча напруга ОПН	100 кВ

Даний комутаційний апарат (ОПН-П-110/100 УХЛ1) повністю задовольняє даним умовам експлуатації. Тому рекомендується заміна діючого розрядника РВС-110 на ОПН-110.

Аналогічно до вибору ОПН на стороні 110 кВ ми замінено й розрядники на сторонах 35 та 6 кВ.

### 3.4 Релейний захист

На даний момент силові трансформатори коштують надто дорого, щоб залишати їх без належного захисту, саме через це необхідно також підібрати підходящий релейний захист. Трансформатори підстанції однакові, тому для другого трансформатора будуть аналогічні розрахунки.

Тип трансформатору: ТРДЦН – 40000/220.

Характеристики заданого трансформатору наведені в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 – Паспортні дані трансформатора

Тип	S <sub>n</sub> , МВА	Каталожні дані						Розрахункові дані		
		U <sub>ном</sub> , кВ		U <sub>к</sub> , %	Втрати, кВт		I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> ,	X <sub>т</sub> ,	ΔQ <sub>х</sub> ,
		ВН	НН		ΔP <sub>к</sub>	ΔP <sub>х</sub>		Ом	Ом	кВАр
ТРДЦН 63000/110	63	115	6.3	10.5	260	59	0.6	0.87	22	410

Межі регулювання  $\pm 9 \cdot 1.78 = 0.12\%$

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>					Арк.
										40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



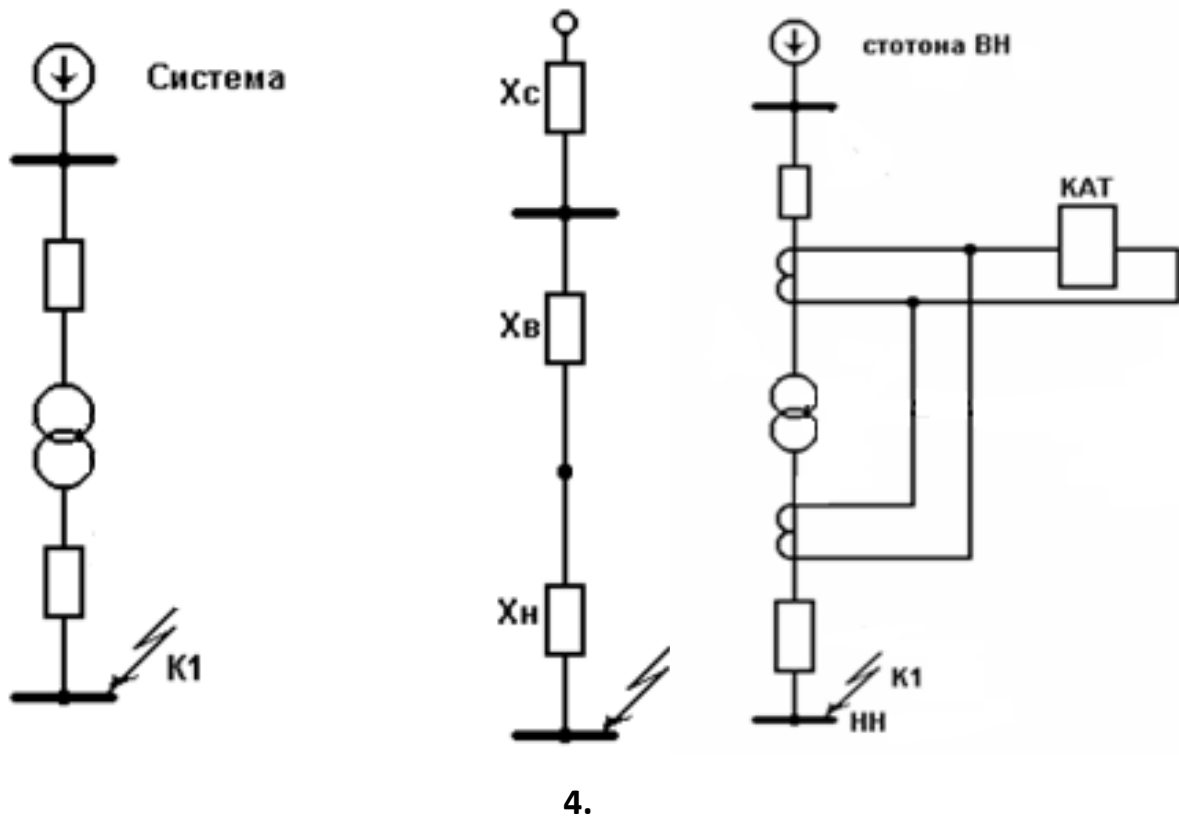


Рис.3.6 Пояснювальна схема захисту трансформатора

Розраховуємо струми КЗ в максимальному і мінімальному режимах системи. Струми КЗ приведені до напруги 110 кВ.

Розрахуємо опори трансформатора на ВН та НН:

$$X_{c.макс} = 10 \text{ Ом}; X_{c.мін} = 22 \text{ Ом.}$$

$$X_T = 22 \text{ Ом}$$

$$X_{ТВ} = 0.125 \cdot X_T = 2.75 \text{ Ом}$$

$$X_{ТН} = 1.75 \cdot X_T = 38.5 \text{ Ом}$$

При розрахунку струмів КЗ трансформаторів з РПН необхідно врахувати зміну опору за рахунок регулювання напруги. Для трансформаторів 110 кВ наближено можна прийняти:

$$X_{Т.мін} = X_{Т.ном} (1 - \Delta U)^2$$

$$X_{Т.макс} = X_{Т.ном} (1 + \Delta U)^2$$

звідси:

$$X_{В.мін} = 2.75(1 - 0,12)^2 = 2.13 \text{ Ом}$$

					БР 3.6.141.388 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$X_{В.макс} = 2.75(1 + 0,12)^2 = 3.45 \text{ Ом}$$

$$X_{Н.мін} = 38.5(1 - 0,12)^2 = 29.814 \text{ Ом}$$

$$X_{Н.макс} = 38.5(1 + 0,12)^2 = 48.294 \text{ Ом}$$

Струм КЗ на шинах низької напруги (точка К1) становить:

$$I_{к.макс}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3}(X_{с.макс} + X_{В.мін} + X_{Н.мін})} = \frac{115 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(10 + 2.13 + 29.814)} = 1583 \text{ А}$$

$$I_{к.мін}^{(2)} = \frac{U_{ср.ном}}{2(X_{с.мін} + X_{В.макс} + X_{Н.макс})} = \frac{115 \cdot 10^3}{2(22 + 5.44 + 76.14)} = 931 \text{ А}$$

Розраховуємо середні значення первинних і вторинних номінальних струмів для всіх плечей диференційного захисту (за номінальною напругою найбільш потужної обмотки трансформатора). Розрахунки зводимо у табл. 3.7.

Таблиця 3.6 – Розрахунок струмів

Величина	Розрахунковий вираз	Чисельне значення для сторони	
		ВН	НН/НН
Первинний номінальний струм ТР, А,	$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$	$\frac{63000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 316.3$	$\frac{140000}{2\sqrt{3} \cdot 6.3} = 2887$
Схема з'єднання обмоток		Y	Δ
Коефіцієнт трансформації	$k_{ТА}$	500/5	5000/5
Коефіцієнт схеми	$k_{сх}$	1	$\sqrt{3}$
Вторинний струм в плечі захисту, А	$I_{2ном} = \frac{I_{ном} \cdot k_{сх}}{k_{ТА}}$	$\frac{316.3 \cdot 1}{500/5} = 3.163$	$\frac{2887 \cdot \sqrt{3}}{5000/5} = 5$

Струм спрацювання захисту визначається по більшому із двох розрахункових виразів:

а) відбудова від кидка струму намагнічування

$$I_{с.з} = k_{від} I_{ном} = 1.3 \cdot 316.3 = 411.2 \text{ А}$$

б) відбудова від струму небалансу

$$I_{с.з} = k_з(k_{одн}\varepsilon + \Delta U)I_{к.макс}^{(3)} = 1.3(1.0 \cdot 0.1 + 0.12) \cdot 1583 = 452.7 \text{ А}$$

Попередня перевірка чутливості проводиться при первинних струмах при двофазному КЗ на стороні НН:

$$k_ч = \frac{I_{к.мін}^{(2)}}{I_{с.з}} = \frac{913}{452.7} = 2.057 > 2$$

Реле типу РНТ забезпечує необхідний нам коефіцієнт чутливості, однак, даний тип реле використовується на трансформаторах до 20 МВА, а в нас встановлено обидва на 63 МВА. Тому, все одно, обирається реле типу ДЗТ-11,

для якого струм спрацювання захисту вибирається за умовами:

а) відбудова від кидка струму намагнічування

$$I_{с.з} = k_{від}I_{ном} = 1.5 \cdot 316.3 = 474.5 \text{ А}$$

б) відбудова від струму небалансу

$$I_{с.з} = k_з(k_{одн}\varepsilon + \Delta U)I_{к.макс}^{(3)} = 1.5(1.0 \cdot 0.1 + 0.12) \cdot 1583 = 522.39 \text{ А}$$

Приймаємо значення  $I_{с.з} = 522.39 \text{ А}$ .

Визначається чутливість захисту при КЗ на стороні НН при мінімальному регулюванні:

$$k_ч = \frac{I_{к.мін}^{(2)}}{I_{с.з}} = \frac{913}{522.39} = 1.783 < 2$$

Це значення  $k_ч$  дещо менше нормованого, однак, вже при номінальному коефіцієнті трансформації трансформатора струм КЗ складе:

$$I_{к.мін}^{(2)} = \frac{115 \cdot 10^3}{2(22 + 4.34 + 60.7)} = 1122 \text{ А}$$

$$k_ч = \frac{I_{к.мін}^{(2)}}{I_{с.з}} = \frac{1122}{522.39} = 2.148$$

І, тепер, необхідний коефіцієнт чутливості забезпечується.

					БР 3.6.141.388 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір уставок реле ДЗТ-11

В якості основної сторони візьмемо сторону НН, яка має більший вторинний номінальний струм.

Струм спрацювання реле для основної сторони визначається за виразом:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{с.з}} k_{\text{сх}} \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{ном}}}}{k_{\text{АТ}}} = \frac{522.39 \cdot \sqrt{3} \frac{115}{6.3}}{5000/5} = 16.516 \text{ А}$$

Розрахункове число витків для робочої обмотки для основної сторони:

$$w_{\text{осн.розрах}} = \frac{F_{\text{ср}}}{I_{\text{ср.осн}}} = \frac{100}{16.516} = 6.055$$

Приймаємо  $w_{\text{роб.осн}} = 6$ , що відповідає фактичному струму спрацювання реле:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{100}{4} = 25 \text{ А}$$

Розрахункові числа витків для інших сторін трансформатора визначаються:

$$w_{\text{В.розрах}} = w_{\text{роб.осн}} \frac{I_{2\text{В.ном}}}{I_{2\text{Н.ном}}} = 6 \frac{5}{3.163} = 9.485$$

Приймаємо  $w_{\text{В.роб}} = 9$  витків.

Уточнений струм спрацювання захисту з урахуванням похибки вирівнювання знаходиться :

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{з}} (k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta U + \Delta w) I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 1.5 (1.0 \cdot 0.1 + 0.12 + 0.051) \cdot 1583 = 644 \text{ А}$$

де

$$\Delta w = \frac{w_{\text{В.розрах}} - w_{\text{В.роб}}}{w_{\text{В.розрах}}} = \frac{9.485 - 9}{9.485} = 0.051$$

Уточнений розрахунковий струм спрацювання реле визначається:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{с.з}} k_{\text{сх}} \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{ном}}}}{k_{\text{АТ}}} = \frac{644 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{115}{6.3}}{5000/5} = 20.631 < 25 \text{ А}$$

Оскільки уточнений розрахунковий струм спрацювання реле менше фактичного, то вибір робочих витків закінчений.

Число витків гальмівної обмотки знаходиться за висловом:

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{Гальм}} = \frac{k_3 I_{\text{Нб.розрах}} W_{\text{роб}}}{I_{\text{к.макс}} \tan \alpha} = 3,04$$

$$W_{\text{Гальм}} = \frac{k_3 I_{\text{Нб.розрах}} W_{\text{роб}}}{I_{\text{к.макс}} \tan \alpha} = 3,04$$

Таким чином, до установки на реле приймаються наступні витки:

$$W_B = 9, \quad W_H = 4, \quad W_{\text{Гальм}} = 3.$$

Чутливість захисту визначається наближено по первинним струмам при розрахунковому КЗ на стороні НН для випадків мінімального і нормального регулювання трансформатора

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}^{(2)}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{931.265}{644} = 1.446 \quad \text{і} \quad k_{\text{ч}} = \frac{1192}{644} = 2.458$$

Оскільки коефіцієнт чутливості захисту при нормальному регулюванні напруги практично відповідає нормованому, а при мінімальному регулюванні досить високий, то захист з реле ДЗТ-11 рекомендується до установки.

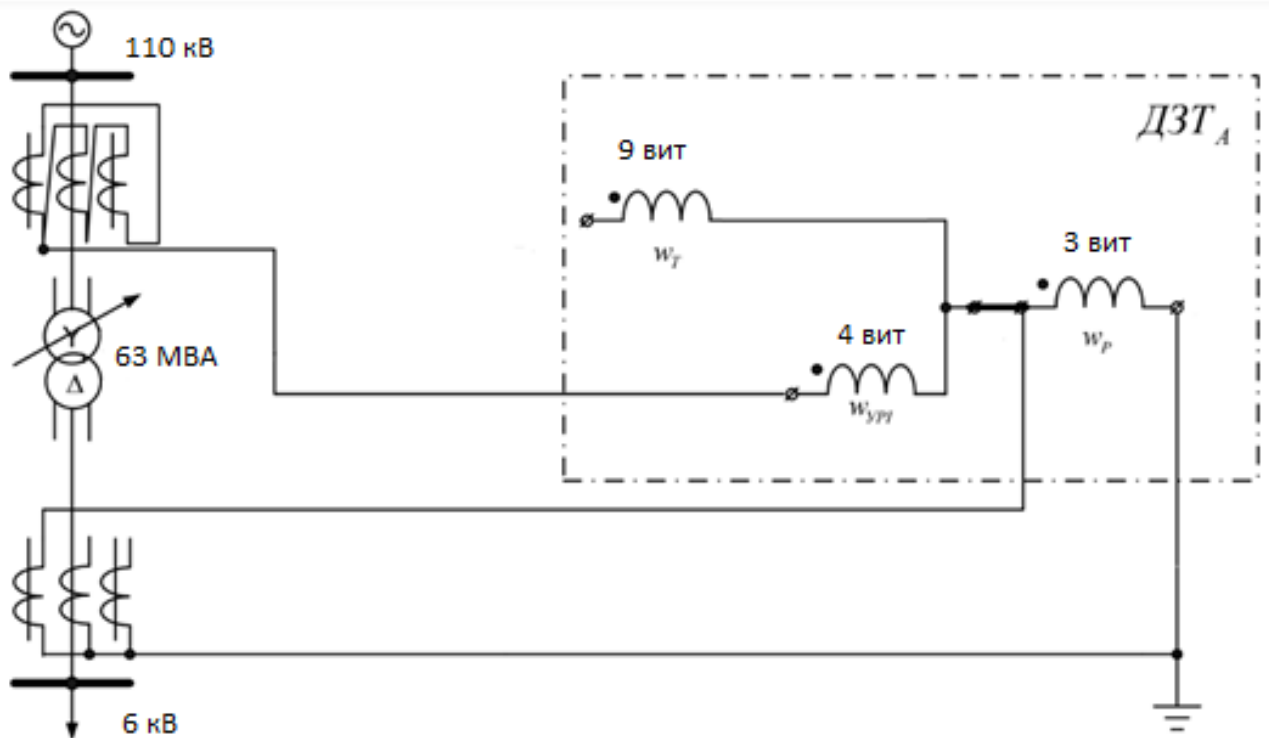


Рисунок 3.7 Схема включення обмоток реле ДЗТ-11

Для двообмоткових трансформаторів, якщо на стороні нижчої напруги (НН) обмотка НН розщеплена, то в колі кожного відгалуження встановлюється окрема МТЗ, як правило, з пуском по напрузі. Захист діє з двома витягами часу:

					БР 3.6.141.388 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

з першою витримкою відключається вимикач відгалуження НН, з другою - всі вимикачі об'єкта.

Спочатку визначається струм спрацьовування МТЗ без пуску по напрузі

$$I_{с.з} = \frac{k_3}{k_B} k_c I_{нав.макс} = \frac{1.2}{0.8} \cdot 2,5 \cdot 316.3 = 1186 \text{ А}$$

Чутливість захисту перевіримо при КЗ на шині НН в мінімальному розрахунковому режимі.

$$k_q = \frac{931.265}{1186} < 1$$

Оскільки чутливість МТЗ без пуску по напрузі виявляється недостатньою, застосуємо блокування по напрузі зі сторони НН трансформатора. У цьому випадку струм спрацьовування захисту дорівнює

$$I_{с.з} = \frac{k_3}{k_{пов}} I_{ном} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 342.6 = 474.45 \text{ А}$$

а чутливість захисту в тих же розрахункових точках складе:

$$k_q = \frac{931.265}{474.45} = 1.963 \approx 2$$

Напряга спрацьовування органу блокування при симетричних КЗ визначимо наближено за вираженням

$$U_{с.з} \leq \frac{U_{с.мін}}{k_B} = \frac{0,7 \cdot 115}{1.2} = 67.1 \text{ кВ}$$

Напряга спрацьовування органу блокування при несиметричних КЗ визначається

$$U_{2с.з} = 0.06 U_{ном} = 0.06 \cdot 115 = 6.9 \text{ кВ}$$

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Чутливість блокуючих органів перевіряється при КЗ на прийомних сторонах трансформатора, куди і підключені блокуючі реле

$$U_{к.зах}^{(3)} = 0, \text{ а } U_{2к.зах} = \frac{U_{\phi}}{2} = \frac{115}{2 \cdot \sqrt{3}} = 33.2 \text{ кВ, тоді:}$$

$$k_{ч} = \frac{U_{с.з}}{U_{к.зах}^{(3)}} > 1.5$$

$$k_{ч} = \frac{U_{2к.зах}}{U_{2с.з}} = 2.02 > 1.5$$

Оскільки при КЗ на прийомних сторонах трансформатора  $k_{ч} > 1,5$  то диференціальні захисти шин на цих сторонах можна не встановлювати.

Струм спрацьовування захисту від симетричного перевантаження, що діє на сигнал, визначається з умови налагодження від номінального струму трансформатора на стороні, де встановлений захист, за висловом:

$$I_{с.з} = \frac{k_3}{k_{пов}} I_{т.ном} = \frac{1.05}{0.8} \cdot 316.3 = 415.144 \text{ А}$$

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 Охорона праці

### 4.1 Охорона праці та заходи з безпечної експлуатації обладнання

Всі технічні рішення конструкційні та обладнання прийняті й розроблені відповідно до діючих норм та правил.

Враховані вимоги:

«Правил улаштування електроустановок» - четверте видання, переробленого і доповненого (Україна, 2011 р.);

ГКД 341.004.001-94 «Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750 кВ»;

СОУ-НЕС 20.178:2008 «схеми принципові електричні розподільчих установок напругою 6-270 кВ електричних підстанцій»;

ДСТУ Б В.2.5-38:2008 «Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд»

ДБН В.2.5-27-2006 «Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд»;

ДСТУ Б А.3.2-13:201 «Будівництво. Електробезпечність. Загальні вимоги».

Для забезпечення захисту від випадкового доторкання до струмоведучих частин на підстанціях передбачається:

- Захисні огорожі, стаціонарні та тимчасові;
- Безпечне розміщення струмоведучих частин;
- Ізоляція робочого місця;
- Захисне відключення;
- Попереджуюча сигналізація, блокування, знаки безпеки.

Для захисту від ураження електричним струмом при доторканні до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції, застосовуються наступні способи:

- захисне заземлення;
- занулення;

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- вирівнювання потенціалу;
- система захисних проводів;
- захисне відключення;
- ізоляція неструмоведучих частин;
- електричний розділ мережі;
- контроль ізоляції;
- засоби індивідуального захисту.

Існуючі на даному об'єкті заходи відповідають діючим нормативам.

#### 4.2 Причини ураження струмом та основні заходи захисту

Основні причини нещасних випадків від дії електричного струму:

- випадковий дотик, наближення на небезпечну відстань до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;
- поява напруги дотику на металевих конструктивних частинах електроустаткування (корпусах, кожухах тощо) у результаті пошкодження ізоляції або з інших причин;
- поява напруги на відключених струмопровідних частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового включення установки;
- виникнення напруги кроку на поверхні землі через замикання проводу на землю.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин, що перебувають під напругою, для випадкового дотику;
- електричний поділ мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням;

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- застосування малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмопровідних частин застосуванням кожухів, огорож, подвійної ізоляції;
- захист від небезпеки при переході з вищої на нижчу напругу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів - переносних приладів і запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Застосування малих напруг. Якщо номінальна напруга електроустановки не перевищує тривало допустимої напруги дотику, знижується небезпека ураження електричним струмом. Найбільший ступінь безпеки досягається при малих напругах 6-12 В при живленні споживачів від акумуляторів, гальванічних елементів, випрямних установок, перетворювачів частоти, знижувальних трансформаторів на напругу 12, 24, 36, 42 В. Використання малих напруг обмежується труднощами створення протяжної мережі, тому вони застосовуються у ручних електрифікованих інструментах, переносних лампах, лампах місцевого освітлення, сигналізації.

Електричний розподіл мережі. Розгалужена мережа великої довжини має значну ємність і малий активний опір ізоляції щодо землі. Струм замикання на землю в такій мережі може бути значним. Якщо єдину сильно розгалужену мережу з великою ємністю і малим опором ізоляції розділити на ряд невеликих мереж такої самої напруги, які матимуть незначну ємність і високий опір ізоляції, небезпека ураження різко знизиться. Звичайно електричний розподіл мереж здійснюється шляхом підключення електроприймачів через розподільний трансформатор окремих електроприймачів, що живляться від основної розгалуженої мережі.

Захист від небезпеки при переході з вищої напруги на нижчу. При пошкодженні ізоляції між обмотками вищої і нижчої напруг трансформатора виникає небезпека переходу напруги і, як наслідок, небезпека ураження

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

людини, виникнення займання і пожеж. Способи захисту залежать від режиму нейтралі. Мережі напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю, сполучені через трансформатор з мережами напругою вище за 1000 В, мають бути захищені пробивним запобіжником, установленим у нейтралі чи фазі з боку нижчої напруги трансформатора. Тоді у випадку пошкодження ізоляції між обмотками вищої і нижчої напруг цей запобіжник пробивається нейтраль або фаза нижчої напруги заземлюється. Напруга нейтралі щодо землі  $U_z = I_z * R_0$ . Заходом захисту є зниження цієї напруги до безпечного заземлення нейтралі з опором  $R_0 < 4 \text{ Ом}$ .

Пробивні запобіжники застосовуються, коли вища напруга є більшою за 1000 В. Якщо вища напруга буде нижчою за 1000 В, пробивний запобіжник не спрацює. Тому вторинні обмотки знижувальних трансформаторів для живлення ручного електроінструмента і ручних ламп малою напругою заземлюють.

Контроль і профілактика пошкоджень ізоляції. Профілактика пошкоджень ізоляції спрямована на забезпечення її надійної роботи. Насамперед необхідно виключити механічні пошкодження, зволоження, хімічний вплив, запилення, перегріву. Але навіть у нормальних умовах ізоляція поступово втрачає свої початкові властивості, "старіє". З часом розвиваються місцеві дефекти. Опір ізоляції починає різко зменшуватися, а струм витoku – непропорційно зростати. У місці дефекту з'являються часткові розряди струму, ізоляція вигорає. Відбувається так званий пробій ізоляції, внаслідок чого виникає коротке замикання, що, у свою чергу, може спричинити пожежу чи ураження людей струмом.

Щоб підтримувати діелектричні властивості ізоляції, необхідно систематично виконувати профілактичні випробування, огляди, видаляти непридатну ізоляцію і замінити її.

Періодично в приміщеннях без підвищеної небезпеки не рідше одного разу на два роки, а в небезпечних приміщеннях - кожні півроку перевіряють відповідність опору ізоляції нормі. При виявленні дефектів ізоляції, а також після монтажу мережі, її ремонту на окремих ділянках, відключення мережі між

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кожним проводом і землею та між проводами різних фаз проводять вимірювання. При цьому в силових колах відключають електричні приймачі, апарати, прилади; в освітлювальних - відгвинчують лампи, а штепсельні розетки, вимикачі та групові щитки залишають приєднаними. Перед початком вимірювань необхідно переконатися в тому, що на досліджуваній ділянці мережі (між двома запобіжниками або за останнім запобіжником) або на устаткуванні ніхто не працює і воно відключене. Кабелі, шини, електричні машини, повітряні лінії, конденсатори "розряджають на землю", тобто торкаються заземленим проводом відключених струмопровідних частин кожної фази, знімаючи залишковий ємнісний заряд. Значення вимірюваного опору ізоляції має бути не нижчим за норму, зазначену в ПУЕ (не менше 0,5 МОм/фазу ділянки мережі напругою до 1000 В).

Для вимірювання використовують прилад - мегаомметр на напруги 500, 1000, 2500 В з межами вимірів 0-100, 0-1000, 0-10000 МОм. Щоб мати уявлення ще й про опір ізоляції всієї мережі, вимірювання потрібно проводити під робочою напругою з підключеними споживачами. Такий контроль можливий тільки в мережах з ізолюваною нейтраллю (у мережі з заземленою нейтраллю постійний струм приладу контролю ізоляції замикається через заземлення нейтралі, і мегаомметр показуватиме нуль).

Застосовується також постійний (безперервний) контроль ізоляції – вимірювання опору ізоляції під робочою напругою протягом усього часу роботи електроустановки без автоматичного відключення. Відлік опору ізоляції здійснюється за шкалою приладу. При зниженні опору ізоляції до гранично допустимого чи нижче, прилад подає звуковий або світловий сигнал або обидва сигнали разом. З вітчизняних приладів контролю ізоляції найбільшого поширення одержали ПКІ, РУВ, УАКІ, М-143, МКН-380, Ф-419. Найпростішим засобом контролю ізоляції є вольтметр. В установках напругою до 1000 В вольтметри підключають безпосередньо до фаз, а в установках з напругою понад 1000 В - через вимірювальний трансформатор.

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На підприємствах широко застосовується випробування ізоляції підвищеною напругою. Цей метод є найбільш ефективним для виявлення місцевих дефектів ізоляції і визначення її міцності, тобто здатності довгостроково витримувати робочу напругу. Електричні машини й апарати випробовують струмом промислової частоти, як правило, протягом 1 хв. Подальша дія струму може вплинути на якість ізоляції. Значення випробної напруги нормується залежно від номінальної напруги електроустановки і виду ізоляції.

Захист від випадкового дотику до струмопровідних частин. Щоб виключити можливість дотику або небезпечного наближення до відкритих струмопровідних частин, слід забезпечити недоступність за допомогою захисних засобів, огорож, блокувань чи розташування струмопровідних частин на недоступній висоті в недоступному місці. Огорожі бувають як суцільні, так і сітчасті (сітка 25x25 мм). Суцільні огорожі у вигляді кожухів і кришок використовують для електроустановок напругою до 1000 В. Сітчасті огорожі застосовують в установках напругою до 1000 В і вище.

Для захисту від дотику до частин, що перебувають під напругою, застосовується подвійна ізоляція — електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової. Робоча ізоляція — ізоляція струмопровідних частин електроустановки. Додаткова ізоляція виконується виготовленням корпусу з ізолюючого матеріалу (електропобутові прилади)

Захисне заземлення, занулення і захисне відключення. Однофазові замикання струму, які можуть виникнути в електричних машинах, апаратах, приладах, на ЛБП, небезпечні тим, що на корпусах та опорах з'являються напруги, достатні для ураження людини і виникнення пожежі. Струм замикання створює небезпечні напруги не тільки на самому устаткуванні, а й поблизу нього, розповсюджуючись через основи і фундаменти.

Захист від ураження електричним струмом і загорянь можна здійснити захисним відключенням (відключають пошкоджені ділянки мережі швидкодіючим захистом), або захисним заземленням (знижують напруги

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

дотику і кроку), або зануленням (відключають устаткування і знижують напруги дотику і кроку на період, доки не спрацює апарат, що відключає).

Захисне заземлення. Головне призначення захисного заземлення – знизити потенціал на корпусі електроустаткування до безпечного значення.

Захисним заземленням називається навмисне електричне з'єднання з землею металевих неструмопровідних частин, що можуть виявитися під напругою. Корпуси електричних машин, трансформаторів, світильників, апаратів та інші металеві неструмопровідні частини можуть виявитися під напругою при замиканні їх струмопровідних частин на корпус. Якщо корпус при цьому не має контакту з землею, дотик до нього є так само небезпечним, як і дотик до фази.

					<i>БР 3.6.141.388 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

## Висновки

В даній кваліфікаційній роботі було розглянуто електричну частину високовольтної підстанції, та запропоновано шлях її реконструкції. Вдалось розрахувати, перевірити, порівняти та замінити декілька основних об'єктів заданої підстанції, таких як: силові трансформатори, вимикачі на стороні закритого розподільчого пристрою, блискавкозахист і т.д.

Спочатку був проведений повний аналіз роботи заданої підстанції. Переглянуті її основні елементи: силові трансформатори, трансформатори напруги, вимикачі, роз'єднувачі, головні ножі, високовольтні розрядники, обмежувачі перенапруг нелінійні, вакуумні та масляні вимикачі і так далі. Була побудована схема нормального режиму роботи підстанції «Схема 1».

В першу чергу була проведена повна перевірка силових трансформаторів ТРДН-40000/110 на предмет перевантаження. За результатами розрахункової частини, в тому числі після використання методу лінійної інтерполяції, було прийнято рішення, що трансформатори не здатні справлятися зі заданими навантаженнями. Тож, як результат, – необхідна повна заміна обох трансформаторів. Були запропоновані більш потужні трансформатори ТРДЦН-63000/110. Одразу після цього був проведений розрахунок необхідних висот блискавковідводів задля повного забезпечення надійного грозозахисту. Необхідні висоти стрижнів були розраховані. Після їх визначення було вираховано зони захисту від ударів блискавки, і, як результат, побудована схема грозозахисту високовольтної підстанції. Наступний підрозділ має назву «Розрахунок струмів короткого замикання» заданої підстанції. В даному розділі були розраховані струми КЗ а також їх складові, такі як періодична або аперіодична складова. Всі складові розрахованих струмів були зведені до таблиці 2.16 Розраховані в даному розділі параметри стали основою для розділу 3 бакалаврської роботи. Також було проведено розрахунок для визначення підходящого заземлюючого пристрою. Було обрано сталеві стрижні,

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

горизонтальні й вертикальні, заглиблені в ґрунт на 0.8 метра задля забезпечення необхідної надійності заземлення.

Розділ номер 3 «Перевірка вимикачів підстанції» використовував дані таблиці 2.16 як початкові, однак, в даному розділі були також проведені необхідні розрахунки для вибору необхідних вимикачів, такі як струм у колі вимикачів на стороні низької напруги, максимальний струм на стороні високої напруги та інші. Для вибору необхідного вимикача був використаний підручник «Електрична частина станцій та підстанцій», автором якого є Б.Н. Неклепаєв [16]. Завдяки широкому каталогу вимикачів даного підручника вдалось знайти необхідний вимикач за найближчими більшими струмами. Також було обрано необхідний релейний захист на лінії трансформаторів 1Т та 2Т у вигляді реле типу ДЗТ-11. Розраховано всі необхідні для цього параметри, такі, як коефіцієнт чутливості або струм спрацювання захисту.

Останній розділ дипломної роботи має назву «Охорона праці», де чітко вказано всю нормативну документацію, спираючись на яку проводилася б реконструкція електричної частини високовольтної підстанції. Перераховані всі заходи захисту від випадкового доторкання до струмоведучих частин на підстанції. Зазначені способи захисту від ураження електричним струмом при доторканні до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції.

					БР 3.6.141.388 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с
2. Інформація нормативного документу мінпаливенерго України СОУ 31.2-21677681-19:2009 «Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок» 2010р, 50 с.
3. Методичні вказівки «Електрообладнання електричних станцій і підстанцій» автор В.Д. Куликов.
4. Електричні системи та мережі : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 214 с. Інформація з документу ДСТУ Б В.2.5.-38:2008 «Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд»
5. Конспект лекцій з предмету «Електрична частина станцій та підстанцій» автора В.М. Гаряжа.
6. Методичні вказівки та завдання до розрахунково-графічної роботи з курсу «Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем» / укладачі М.В. Петровський, С.С. Жемаєв. – Суми: Сумський державний університет, 2019. – 58 с
7. Релейний захист електроенергетичних систем: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 500 с.
8. Методичні вказівки до проведення практичних занять з курсу “Електричні станції і підстанції” зі спеціальності 6.000008 “Енергоменеджмент” профілізації “Електроенергетичні системи” / Укладачі: Д.В.Муриков, І.Л.Лебединський, П.О.Василега. – Суми: Вид-во СумДУ, 2005.- 93 с.
9. методичні вказівки до виконання курсового проекту «Електрична частина станцій та підстанцій» для студентів спеціальності 6.05070103

					БР 3.6.141.388 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

«Електротехнічні системи електроспоживання» усіх форм навчання / Укладач: С.М. Лебеда. – Суми: Вид-во СумДУ, 2018. – 34 с.

10. Електричні системи та мережі : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 214 с.

11. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи на тему „Визначення поточкорозподілення і напруги в електричних районних мережах“ з дисципліни „Електричні системи і мережі“: У 2 ч. / укладачі: І. Л. Лебединський, В. В. Волохін, В. І. Романовський. – Суми: Сумський державний університет, 2012. – Ч. 1. – 34 с.

12. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина І. Машини постійного струму. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 86 с.

13. Методичні вказівки до виконання курсової роботи «Розрахунок силових трансформаторів» з дисципліни «Електричні машини» для студентів спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання / Укладачі: І.Л. Лебединський, П.О.Василега, В.В.Волохін, А.А. Костян. – Суми: Вид-во СумДУ, 2019.- с.

14. Рожкова Л.Д., Козулін В.С. «Електрообладнання станцій та підстанцій: Підручник» - М. Енергія. 2007

15. Неклепаєв Б.Н., Крючков І.П. «Електрична частина станцій та підстанцій», Довідкові матеріали для курсового і дипломного проектування: Навч. посібник для ВУЗів – М.: Енергоатомиздат, 1989 – 608 с.

16. Стаття сайту «Vol'ten Group» «НАМИ-10-95 трансформатор напруги». URL:

<https://volttten.com/nami-10-95-transformator-napryazheniya-izmeritelnyj-maslyanyj-antirezonsnyj/>

17. Стаття сайту «leg.com.ua» «КЗ-110 – Короткозамикач. URL:

<https://leg.co.ua/info/razediniteli/kz-110-korotkozamykatel.html>

18. Стаття сайту «leg.com.ua» «Технічні дані від'єднувачів. URL:

					<b>БР 3.6.141.388 ПЗ</b>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://leg.co.ua/info/razediniteli/tehnicheskie-dannye-otdeliteley.html>

19. Стаття сайту «Промсервіс» «Обмежувач перенапруг ОПН-110». URL:

<http://promservis.cn.ua/ogranichiteli-perenapryazheniy-opn-110.html>

20. Стаття сайту «Разряд» «Розрядники РВС-110, РВС-150, РВС-220 кВ».

URL:

<http://www.razrad.ru/cat/razryadniki-rvs110-rvs150-rvs220/>

21. Стаття сайту «ЕнергоМаш» «Роз'єднувачі РНД-35 і РНДЗ-35 на 35 кВ».

URL:

<http://www.em.dn.ua/vv/razed/rndz-35.htm>

22. Стаття сайту «Укрелектрик» «Характеристики розрядника РВП-6». URL:

[http://ukrelektrik.com/publ/oborudovanie/razrjadniki\\_i\\_opn/karakteristiki\\_razrjadnika\\_rvp\\_6/12-1-0-560](http://ukrelektrik.com/publ/oborudovanie/razrjadniki_i_opn/karakteristiki_razrjadnika_rvp_6/12-1-0-560)

23. Інформація з документу «ДСТУ-3463-96». URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200012414>

24. Інформація сайту CLIMAT.DATA.ORG. URL:

<https://ru.climate-data.org/европа/украина/сумская-область/сумы-3294/>

25. Конспект лекцій з предмету «Електрична частина станцій та підстанцій» автора С.М. Лебедка

26. Стаття з сайту leg.co.ua «Вимикачі ВМП-10К». URL:

<https://leg.co.ua/info/vyklyuchатели/vyklyuchатели-vmp-10k.html>

27. Стаття з сайту «Школа для електрика» «Елегаз та його властивості». URL:

<https://leg.co.ua/info/vyklyuchатели/vyklyuchатели-vmp-10k.html>

28. Каталог даних «Силові вимикачі на 6-10 кВ» сайту «Енергетика. Обладнання і документація». URL:

<https://forca.ru/knigi/arhivy/montazh-elektricheskikh-ustanovok-33.html>

29. Навчальний посібник «Вибір комутаційних апаратів і струмоведучих частин розподільчих пристроїв електричних станцій і підстанцій» автор Ю.А. Леньков

30. «Електрична частина станцій та підстанцій: навчальний посібник для ВУЗів» / Під ред. А.А. Васильєва. – М. Енергоатомиздат. 1990.

					БР 3.6.141.388 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		