

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форми навчання  
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту

Зав. кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_ І. Л. Лебединський

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Кваліфікаційна робота бакалавра**  
тема «Розробка конфігурації районної мережі та заходів  
енергозбереження в ній»

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав студент гр. ЕТдн -51гл \_\_\_\_\_ Шахов І.О.

Керівник

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Волохін В.В.

Суми 2020 р.

Сумський державний університет  
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форми навчання  
Кафедра електроенергетики  
Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Затверджую

Зав. каф. електроенергетики

\_\_\_\_\_ І. Л. Лебединський

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

### **Завдання**

#### **на кваліфікаційну роботу бакалавра**

Шахова Ігоря Олександровича

1. Тема роботи: Розробка конфігурації районної мережі та заходів енергозбереження в ній.
2. Затверджено наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_.
3. Термін здачі студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_ 2020 р.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити):
  - Розрахунок електричної мережі;
  - Розрахунок електричної частини підстанції;
  - Релейний захист підстанції;
  - Індивідуальне завдання;
  - Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): -
  - Розрахункова схема заміщення мережі;
  - Схема електричного обладнання підстанції.

## Календарний план

№п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розрахунок електричної мережі	24.04.20. - 30.04.20.
2	Розрахунок підстанції	01.05.20. - 05.05.20.
3	Розрахунок релейного захисту підстанції	06.05.20. - 12.05.20.
4	Індивідуальне завдання	13.05.20. - 22.05.20.
5	Оформлення пояснювальної записки до роботи	23.05.20. - 01.06.20.

Студент-дипломник \_\_\_\_\_

Керівник роботи \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

с. 55, рис. 16, таблиць 27, джерел 13.

**Бібліографічний опис:** Шахов І.О. Розробка конфігурації районної мережі та заходів енергозбереження в ній [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / І.О. Шахов; наук. керівник В.В. Волохін. – Суми: СумДУ, 2020. – 55 с.

**Ключові слова:** електричні мережі, розподільний пункт, електропостачання, збірні шини, струми короткого замикання;

электрические сети, распределительный пункт, электроснабжение, сборные шины, токи короткого замыкания;

electrical networks, distribution point, power supply, prefabricated tires, short-circuit currents.

**Короткий огляд** – Розраховано параметри електричної мережі та електричних підстанцій, на основі яких було обрано проводи та напругу ліній електропередач, захисні пристрої та апарати, силові та вимірювальні трансформатори. Розраховано грозозахист та заземлення ВРП. Розглянуті питання першої допомоги після ураження електричним струмом.

## Перелік скорочень

ВН - сторона високої напруги;

КЗ - коротке замикання;

ЛЕП - лінія електропередавання;

МСЗ - максимальний струмовий захист;

НН - сторона низької напруги;

ПУЕ - правила улаштування електроустановок;

РП - розподільний пункт;

РПН - пристрій регулювання напруги під навантаженням;

СН - сторона середньої напруги;

ТП - трансформаторна підстанція.

## Зміст

Вступ.....	4
1. Розрахунок електричної мережі.....	5
1.1 Визначення параметрів ліній і трансформаторів .....	5
1.2 Розрахунок потужностей трансформаторів .....	8
1.3 Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням трансформаторів .....	11
1.4 Розрахунок потужностей на ділянках мережі з зрахуванням втрат потужності в трансформаторах .....	14
1.5 Визначення напруги у вузлах навантаження .....	16
2. Розрахунок обладнання підстанції.....	19
2.1 Перевірка потужності силових трансформаторів.....	19
2.2 Розрахунок струмів короткого замикання.....	21
2.3 Вибір високовольтних електричних апаратів .....	23
2.4 Вибір ошиновки розподільних пристроїв).....	26
2.5 Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги.....	29
2.6 Вибір трансформаторів власних потреб.....	35
3. Релейний захист підстанції.....	37
3.1 Розрахунок струму КЗ для захисту трансформатора.....	37
3.2 Розрахунок поздовжнього диференційного струмового захисту.....	38
3.3 Розрахунок максимального струмового захисту.....	41
4. Розрахунок грозозахисту і заземлення .....	42
4.1 Розрахунок грозозахисту ВРП.....	42
4.2 Розрахунок заземлення ВРП.....	45
5. Охорона праці. Ураження електричним струмом. Невідкладна допомога.....	49
5.1 Види впливу електричного струму на організм.....	49
5.2 Симптоми ураження електричним струмом та наслідки.....	49
5.3 Надання першої допомоги при ударі струмом та реанімація.....	51
Висновки.....	54
Список використаних джерел.....	55

					<b>БР 5.6.141.907 ПЗ</b>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Шахов.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Волохін</i>			3	55	
<i>Реценз.</i>					<b>СумДУ, ЕТдн-51гп</b>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединськи ІЛ</i>					

## Вступ

Проектування електричних мереж є важливим елементом розвитку промислового комплексу країни. Як правило, електричні мережі та їх проектування є частиною комплексного розвитку регіонів, галузей промисловості і країни в цілому.

Зростаюча кількість енергоспоживаючих об'єктів веде до зростання потужностей, що передаються електричними мережами. Одним з найголовніших завдань сьогодні є економічне використання існуючого електричного устаткування і розробка нового з поліпшеними параметрами.

Даним проектом передбачено розрахунок режимів роботи електричної мережі. Для конфігурацій електричної мережі потрібно:

- визначити струми та напруги на ділянках без урахування втрат;
- провести вибір проводів для ліній які сполучають трансформаторні підстанції;
- вибрати силові трансформатори;
- розрахувати перетоки потужностей, втрати потужності та втрати напруги на елементах мережі.
- для електричних підстанцій розрахувати струми коротких замикань та на основі них вибрати високовольтні апарати розподільних пристроїв, струмопровідні частини та шини, електровимірювальні трансформатори струму і напруги, трансформатори власних потреб;
- для підстанцій розрахувати та провести вибір релейного захисту.

					<b>БР 5.6.141.907 ПЗ</b>	Арк
						4
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

# 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Завданням даної роботи передбачено розрахунок режимів роботи електричної мережі, схема якої зображена на рис.1.1. В табл. 1.1 наведено вихідні дані для розрахунку.

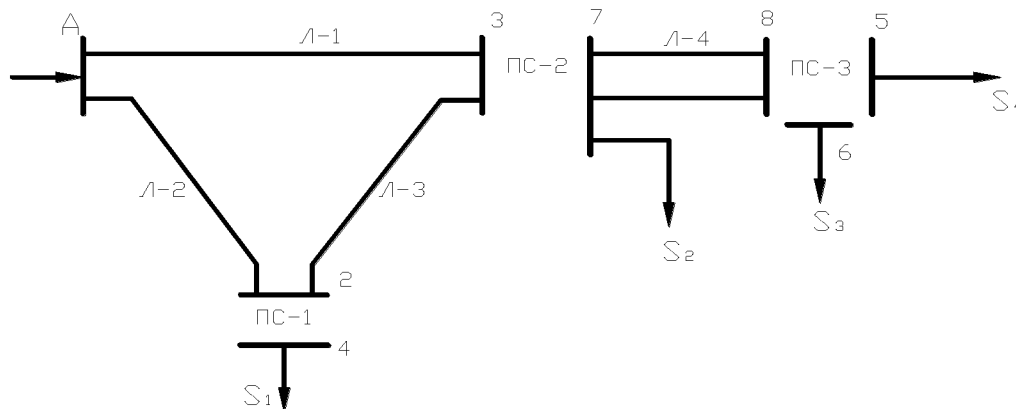


Рисунок 1.1 – Вихідна однолінійна електрична схема з'єднань заданої електричної мережі

Таблиця 1.1 – Вихідні дані електричної мережі

Довжина ПЛ, км				Потужності завантажень вузлів, МВА			
Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	S-1	S-2	S-3	S-4
70	40	50	40	$\frac{90+j85}{III}$	$\frac{50+j30}{II}$	$\frac{10+j10}{I}$	$\frac{20+j10}{II}$

## 1.1 Визначення параметрів ліній і трансформаторів

Для початку розрахуємо замкнену ділянку мережі. Приймемо навантаження вузла 3 рівним сумі навантажень 2, 3 і 4, навантаження вузла 2 рівним навантаженню 1. Зобразимо замкнуту мережу, що складається з ліній Л-1, Л-3, Л-4 (рис. 1.2) та визначимо розрахункові навантаження вузлів 2 і 3.

$$\underline{S}_{2P} = \underline{S}_1 = 90 + j85 \text{ МВА};$$

$$\underline{S}_{3P} = \underline{S}_2 + \underline{S}_3 + \underline{S}_4 = 80 + j50 \text{ МВА};$$



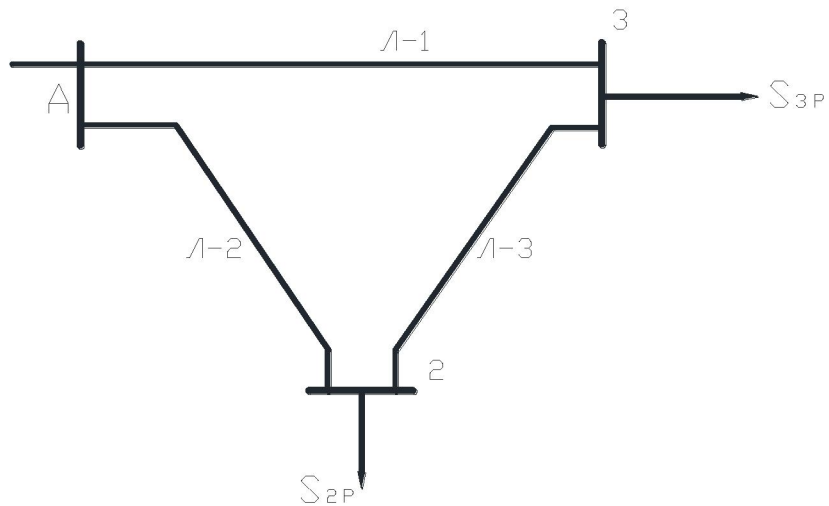


Рисунок 1.2 – Замкнена мережа

Розімкнемо замкнену мережу, приведену на рис.1.2, по джерелу живлення А (рис.1.3) і позначимо потужності на ділянках мережі.

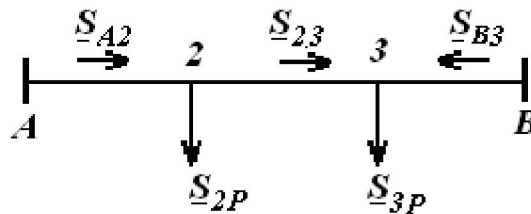


Рисунок 1.3 – Розімкнена мережа

Визначаємо потужності на ділянках розімкненої мережі

$$\underline{S}_{A2} = \frac{\underline{S}_{2P}(l_{23} + l_{3B}) + \underline{S}_{3P}(l_{3B})}{(l_{23} + l_{3B} + l_{A2})} = 102,5 + j85,6 \text{ MVA}$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_{A2} - \underline{S}_{2P} = 12,5 + j0,625 \text{ MVA}$$

$$\underline{S}_{B3} = \frac{\underline{S}_{2P}(l_{A2}) + \underline{S}_{3P}(l_{23} + l_{A2})}{(l_{23} + l_{3B} + l_{A2})} = 67,5 + j49,37 \text{ MVA}$$

Складемо рівняння балансу потужності

$$\underline{S}_{3P} + \underline{S}_{2P} = \underline{S}_{A2} + \underline{S}_{B3}$$

$$170 + j135 = 170 + j135$$

Баланс потужності зійшовся. Потужність ділянки 2-3 вийшла додатною, тому точка 3 є точкою потокорозділу.

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
						6
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

Визначимо напругу на ділянках мережі (рисунок 1.3) за формулою Ілларіонова.

$$U_{л} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_{л}}}}$$

Таблиця 1.2 – Напруга на ділянках мережі

Номер ділянки	Л- 1	Л- 2	Л- 3
Довжина ділянки, км	70	40	50
Напруга ділянки, кВ	150	164	69,7

Приймаємо напругу електричної мережі рівному 220 кВ.

Визначаємо струми проводів ліній

$$I = \frac{S_{\dot{E}}}{\sqrt{3}U_{\dot{E}}}$$

Таблиця 1.3 – Струми на ділянках мережі

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3
Струм, кА	0,220	0,351	0,033

Приймаємо для ліній провід марки АС- 240/32. Для лінії Л-4 вибираємо такий же провід відповідно до ПУЕ.

Таблиця 1.4 – Марки і параметри проводів

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4
Марка і перетин провода	АС-240/32	АС-240/32	АС-240/32	АС-240/32
Параметри проводів				
Ro, Ом/км	0,118	0,118	0,118	0,118
Xo, Ом/км	0,435	0,435	0,435	0,435
Bo, См/км, 10 <sup>-6</sup>	2,6	2,6	2,6	2,6

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

БР 5.6.141.907 ПЗ

Арк

7

Знайдемо параметри ліній електричної мережі. Значення активних і реактивних опорів ліній, а також величина зарядної потужності, приведені в таблиці 1.5.

$$R_{Л} = r_0 \cdot l_{Л}; \quad X_{Л} = x_0 \cdot l_{Л}; \quad \frac{jQ_{Л}}{2} = U_{НОМ}^2 \cdot \frac{b_0 \cdot l_{Л}}{2}$$

Таблиці 1.5 – Розрахункові параметри повітряної лінії

Лінія		Л-1	Л-2	Л-3	Л-4
R <sub>Л</sub>	Ом	8,26	4,72	5,9	0,59
X <sub>Л</sub>	Ом	30,45	17,4	21,75	2,175
Q <sub>Л</sub> /2	МВАр	4,4	2,51	3,146	1,258

## 1.2 Розрахунок потужностей трансформаторів

За напругою мережі і навантаженням вибираємо трансформатори.

Для ПС- 1

$$S_T = S_1 = \sqrt{90^2 + 85^2} = 123,8 \text{ МВА}$$

Так як, споживачі даної підстанції мають III категорію, то обираємо один трансформатор ТДЦ - 125000/220.

Коефіцієнт завантаження

$$K_z = \frac{S_1}{S_T} = \frac{\sqrt{90^2 + 85^2}}{125} = 0,98$$

Оскільки коефіцієнт завантаження менше 1,0, то трансформатор ТДЦ-125000/220 задовольняє вимогам, що пред'являються.

Таблиця 1.6 – Каталожні дані трансформатора ТДЦ - 125000/220 [5]

Тип	S <sub>НОМ</sub> , МВА	Межі регул.	Каталожні дані						Розрахункові дані		
			U <sub>НОМ</sub> , кВ		U <sub>к</sub> , %	P <sub>к</sub> , кВт	P <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	X <sub>Т</sub> , Ом	R <sub>Т</sub> , Ом	ΔQ <sub>х</sub> , кВАр
			ВН	НН							
ТДЦ-125000/220	125	±2*2,5	242	10,5; 13,8	1	80	35	5	4	1,5	625

Для ПС-2 вибираємо 2 трансформатори АТДЦТН-63000/220/110, оскільки

$$S_T = \frac{S_2 + S_3 + S_4}{1,4} = \frac{\sqrt{80^2 + 50^2}}{1,4} = 67,38 \text{ МВА}$$

Визначуваний коефіцієнт завантаження трансформатора

$$K_\varphi = \frac{S_2 + S_3 + S_4}{n \cdot S_T} = \frac{\sqrt{80^2 + 50^2}}{2 \cdot 63} = 0,748.$$

Оскільки коефіцієнт завантаження менше 0,75, то трансформатор АТДЦТН-63000/220/110 задовольняє вимогам, що пред'являються.

Таблиця 1.7 – Каталогні дані трансформатора АТДЦТН- 63000/220/110

Тип	S <sub>НОМ</sub> МВА	Межі регул.	Каталожні дані					
			U <sub>НОМ</sub> , кВ			U <sub>к</sub> , %		
			ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н
АТДЦТН- 63000/220/110	63	±6*2	230	121	6,6; 11; 27,5; 38,5	11	35,7	21,9

Продовження таблиці 1.7

Каталожні дані					Розрахункові дані						ΔQ <sub>х</sub> , кВАр
ΔP <sub>к</sub> , кВт			P <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> , Ом			X <sub>т</sub> , Ом			
В-С	В-Н	С-Н			ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
215	-	-	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315

Для ПС-3

$$S_T = \frac{S_3 + S_4}{1,4} = \frac{\sqrt{30^2 + 20^2}}{1,4} = 25,75 \text{ МВА}$$

За напругою і потужністю навантаження вибираємо два трансформатора ТДТН- 25000/110.

Визначаємо коефіцієнт завантаження

$$K_\varphi = \frac{S_3 + S_4}{n \cdot S_T} = \frac{\sqrt{30^2 + 20^2}}{2 \cdot 25} = 0,72$$

					<b>БР 5.6.141.907 ПЗ</b>	Арк
						9
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

Оскільки коефіцієнт завантаження менше 0,75, то трансформатор ТДТН-25000/110 задовольняє вимогам.

Таблиця 1.8 – Каталожні дані трансформатора ТДТН- 25000/220

Тип	S <sub>НОМ</sub> МВА	Межі регул.	Каталожні дані					
			U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ			U <sub>к</sub> , %		
			ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н
ТДТН-25000/110	25	±9*1,78	115	11; 38,5	6,6;11	10,5	17,5	6,5

Продовження таблиці 1.8

Каталожні дані					Розрахункові дані						ΔQ <sub>х</sub> , кВАр
ΔP <sub>к</sub> , кВт			P <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> , Ом			X <sub>т</sub> , Ом			
В-С	В-Н	С-Н			ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
140	-	-	31	0,7	1,5	1,5	1,5	56,9	0	35,7	175

Складаємо однолінійну схему електричної мережі з урахуванням трансформаторів підстанцій

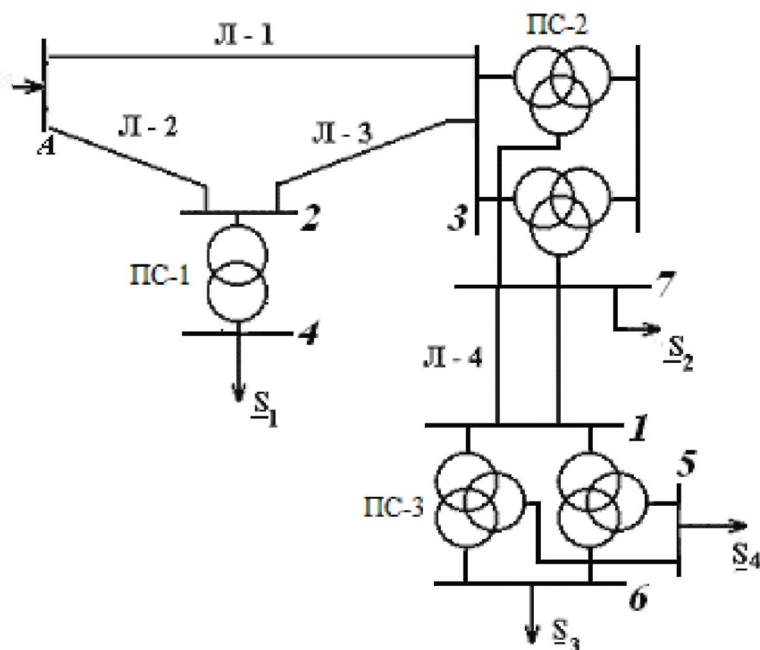


Рисунок 1.4 – Однолінійна схема електричної мережі з урахуванням трансформаторів підстанцій

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата
-----	-----	-------------	--------	------

БР 5.6.141.907 ПЗ

Арк

10

### 1.3 Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням трансформаторів

Визначаємо розрахункову потужність на високій стороні ПС-1 з урахуванням втрат в обмотках трансформатора при максимальному навантаженні. Зображуємо схему заміщення двообмоткового трансформатора.

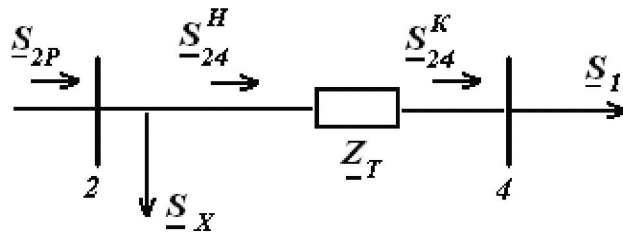


Рисунок 1.5 – Схема заміщення підстанції ПС-1

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{24}^K$ :

$$\underline{S}_{24}^K = \underline{S}_1 = 90 + j85 \text{ MVA}$$

Визначаємо потужності  $\underline{S}_{24}^H$  і  $\underline{S}_{2P}$

$$\underline{S}_{24}^H = \underline{S}_{24}^K + \frac{(P_{24}^K)^2 + (Q_{24}^K)^2}{U_H^2} \cdot \underline{Z}_{T1} = 90,44 + j101,3 \text{ MVA}$$

$$\underline{S}_{24} = \underline{S}_{24}^H + \underline{S}_X = 90,58 + j101,96 \text{ MVA}$$

$$\underline{S}_{2P} = \underline{S}_{24}^H + \underline{S}_X = 90,58 + j101,96 \text{ MVA}$$

Визначаємо розрахункову потужність у вузлі 1 ПС- 3 з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів при максимальному навантаженні. Зображуємо схему заміщення двох триобмоткових трансформаторів, включених паралельно і розраховуємо потужність у вузлі 1 (рис.1.7).

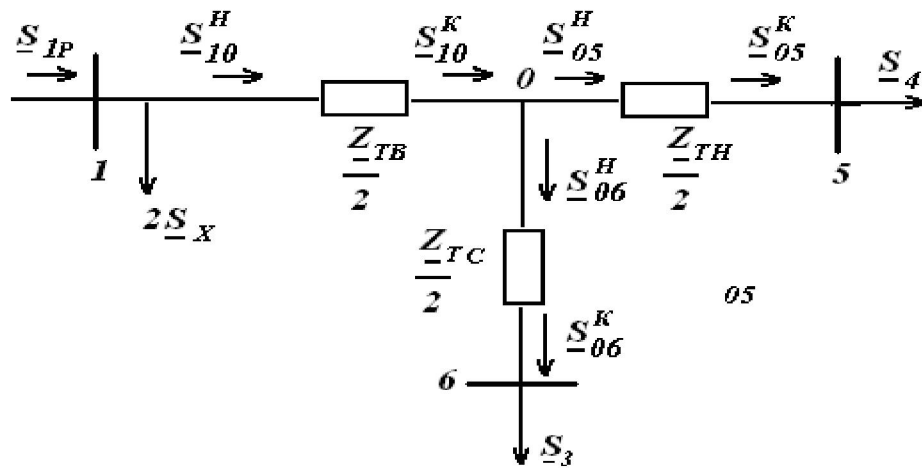


Рисунок 1.7 – Схема заміщення підстанції ПС-3

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{05}^K$

$$\underline{S}_{05}^K = \underline{S}_4 = 20 + j10 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність

$$\underline{S}_{05}^H = \underline{S}_{05}^K + \frac{(P_{05}^K)^2 + (Q_{05}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{TH}}{2} = 20,0077 + j10,184 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{06}^K$

$$\underline{S}_{06}^K = \underline{S}_3 = 10 + j10 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{06}^H$

$$\underline{S}_{06}^H = \underline{S}_{06}^K + \frac{(P_{06}^K)^2 + (Q_{06}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{TC}}{2} = 10,0031 + j10 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{10}^K$

$$\underline{S}_{10}^K = \underline{S}_{05}^H + \underline{S}_{06}^H = 30,0108 + j20,184 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{10}^H$

$$\underline{S}_{10}^H = \underline{S}_{10}^K + \frac{(P_{10}^K)^2 + (Q_{10}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{TB}}{2} = 30,03 + j20,955 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{1P}$

$$\underline{S}_{1P} = \underline{S}_{10}^H + 2\underline{S}_X = 30,093 + j21,3 \text{ МВА}$$

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

Визначаємо потужність на початку лінії Л-4 з урахуванням втрат в лінії і її зарядної потужності за максимального навантаження.

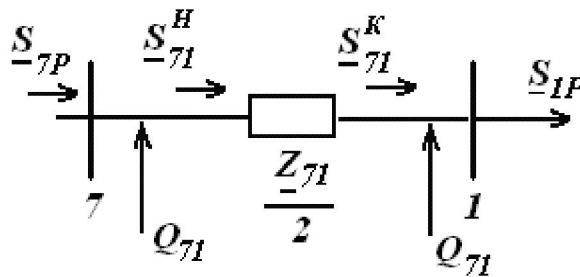


Рисунок 1.8 – Схема заміщення лінії Л-4

Знайдемо потужність у кінці лінії  $\underline{S}_{71}^K$

$$\underline{S}_{71}^K = \underline{S}_{1P} - Q_{71} = 30,093 + j20,044 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність на початку лінії Л-4

$$\underline{S}_{71}^H = \underline{S}_{71}^K + \frac{(P_{71}^K)^2 + (Q_{71}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{71}}{2} = 30,255 + j20,16 \text{ МВА}$$

Визначаємо розрахункову потужність у вузлі 7 за максимального навантаження.

$$\underline{S}_{7P} = \underline{S}_{71}^H - jQ_{71} = 30,255 + j18,9 \text{ МВА}$$

Визначаємо розрахункову потужність на високій стороні ПС-2 з урахуванням втрат в обмотці трансформатора при максимальному навантаженні. Зображуємо схему заміщення двообмоткового трансформатора і розраховуємо потужність вузла 3 (рис. 1.9).

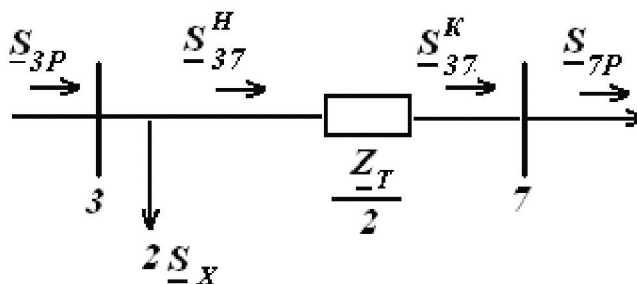


Рисунок 1.9 – Схема заміщення підстанції ПС-2

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата



Визначаємо потужність  $\underline{S}_{37}^K$ :

$$\underline{S}_{37}^K = \underline{S}_{7P} = 30,255 + j18,9MVA$$

Визначаємо потужності  $\underline{S}_{37}^H$  і  $\underline{S}_{3P}$

$$\underline{S}_{37}^H = \underline{S}_{37}^K + \frac{(P_{37}^K)^2 + (Q_{37}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{T2}}{2} = 30,27 + j18,904MVA$$

$$\underline{S}_{3P} = \underline{S}_{37}^H + 2\underline{S}_X + \underline{S}_2 = 80,36 + j49,53MVA$$

#### 1.4 Розрахунок потужностей на ділянках мережі з урахуванням втрат потужності в трансформаторах

Визначаємо потужності на ділянках розімкненої мережі (рисунок 1.3) з урахуванням втрат потужності в трансформаторах.

$$\underline{S}_{A2} = \frac{\underline{S}_{2P}(l_{23} + l_{3B}) + \underline{S}_{3P}(l_{3B})}{(l_{23} + l_{3B} + l_{A2})} = 103,09 + j98,14MVA$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_{A2} - \underline{S}_{2P} = 12,51 + j3,82MVA$$

$$\underline{S}_{B3} = \frac{\underline{S}_{2P}(l_{A2}) + \underline{S}_{3P}(l_{23} + l_{A2})}{(l_{23} + l_{3B} + l_{A2})} = 67,85 + j53,35MVA$$

Складемо рівняння балансу потужності

$$\underline{S}_{3P} + \underline{S}_{2P} = \underline{S}_{A2} + \underline{S}_{B3}$$

$$170,94 + j151,5 = 170,94 + j151,5$$

Баланс потужності зійшовся.

Потужність ділянки 2-3 вийшла додатною, тому точка 3 є точкою потокорозділу. Розбиваємо мережу в точці потокорозділу і розраховуємо її як дві мережі з одностороннім живленням. Складемо схему заміщення електричної мережі з урахуванням потокорозділу (рис. 1.10).

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		14

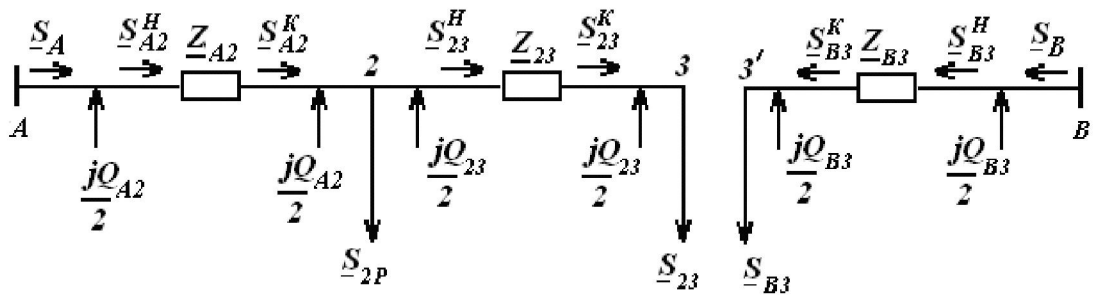


Рисунок 1.10 – Схема заміщення мережі з урахуванням поточкорозділу

Визначимо перетоки потужності в двох схемах заміщення, приведених на рисунку 1.10.

Знайдемо потужність джерела  $\underline{S}_B$

$$\underline{S}_{B3}^K = \underline{S}_{B3} - \frac{jQ_{B3}}{2} = 67,85 + j48,95MVA$$

$$\underline{S}_{B3}^H = \underline{S}_{B3}^K + \frac{(P_{B3}^K)^2 + (Q_{B3}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{B3} = 69,044 + j53,35MVA$$

$$\underline{S}_B = \underline{S}_{B3}^H - \frac{jQ_{B3}}{2} = 69,044 + j50,83MVA$$

Знайдемо потужність джерела  $\underline{S}$

$$\underline{S}_{23}^K = \underline{S}_{23} - \frac{jQ_{23}}{2} = 12,51 + j0,675MVA$$

$$\underline{S}_{23}^H = \underline{S}_{23}^K + \frac{(P_{23}^K)^2 + (Q_{23}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{23} = 12,53 + j0,745MVA$$

$$\underline{S}_{A2}^K = \underline{S}_{23}^H - \frac{jQ_{A2}}{2} - \frac{jQ_{23}}{2} + \underline{S}_{2P} = 103,112 + j97,05MVA$$

$$\underline{S}_{A2}^H = \underline{S}_{A2}^K + \frac{(P_{A2}^K)^2 + (Q_{A2}^K)^2}{U_H^2} \cdot Z_{A2} = 105,068 + j104,26MVA$$

$$\underline{S}_A = \underline{S}_{A2}^H - \frac{jQ_{A2}}{2} = 105,068 + j101,74MVA$$

$$\underline{S} = \underline{S}_A + \underline{S}_B = 105,068 + j101,74MVA + 69,044 + j50,83 = 174,11 + j152,57MVA$$

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

## 1.5 Визначення напруги у вузлах навантаження

Приймаємо напругу джерела живлення на десять відсотків більше номінальної напруги мережі  $U = 242 \text{ В}$

Визначимо напругу вузла 2

$$U_2 = \sqrt{\left( U_A - \frac{P_{A2}^H R_{A2} + Q_{A2}^H X_{12}}{U_A} \right)^2 + \left( \frac{P_{A2}^H X_{A2} - Q_{A2}^H R_{A2}}{U_A} \right)^2} = 232,5 \text{ кВ}.$$

Визначимо напругу вузла 3

$$U_3 = \sqrt{\left( U_2 - \frac{P_{23}^H R_{23} + Q_{23}^H X_{23}}{U_2} \right)^2 + \left( \frac{P_{23}^H X_{23} - Q_{23}^H R_{23}}{U_2} \right)^2} = 232,13 \text{ кВ}.$$

Визначимо напругу вузла 3'

$$U_{3'} = \sqrt{\left( U_A - \frac{P_{B3}^H R_{B3} + Q_{B3}^H X_{B3}}{U_A} \right)^2 + \left( \frac{P_{B3}^H X_{B3} - Q_{B3}^H R_{B3}}{U_A} \right)^2} = 233,03 \text{ кВ}.$$

Приймаємо напругу вузла 3 рівною 232,58 кВ.

Визначимо напругу вузла 7

$$U_7 = \sqrt{\left( U_3 - \frac{P_{37}^H R_{37} + Q_{37}^H X_{37}}{U_3} \right)^2 + \left( \frac{P_{37}^H X_{37} - Q_{37}^H R_{37}}{U_3} \right)^2} = 224,35 \text{ кВ}.$$

Визначимо напругу на низькій стороні трансформаторної підстанції ПС- 2 з урахуванням реального коефіцієнта трансформації.

$$U_7 = \frac{U_7^B}{\frac{U_B}{U_H}} = 120,09 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 1

$$U_1 = \sqrt{\left( U_7 - \frac{P_{71}^H R_{71} + Q_{71}^H X_{71}}{U_7} \right)^2 + \left( \frac{P_{71}^H X_{71} - Q_{71}^H R_{71}}{U_7} \right)^2} = 115,6 \text{ кВ}.$$

Визначимо напругу на низькій стороні трансформаторних підстанцій, як приведені до високої сторони.

ПС-1

$$U_4^B = \sqrt{\left( U_2 - \frac{P_{24}^H R_{24} + Q_{24}^H X_{24}}{U_2} \right)^2 + \left( \frac{P_{24}^H X_{24} - Q_{24}^H R_{24}}{U_2} \right)^2} = 210,44 \text{кВ}$$

ПС-3

$$U_0 = \sqrt{\left( U_1 - \frac{P_{10}^H R_{TB} + Q_{10}^H X_{TB}}{U_1} \right)^2 + \left( \frac{P_{10}^H X_{TB} - Q_{10}^H R_{TB}}{U_1} \right)^2} = 105,9 \text{кВ}$$

$$U_6^B = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{06}^H R_{TC} + Q_{06}^H X_{TC}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{06}^H X_{TC} - Q_{06}^H R_{TC}}{U_0} \right)^2} = 105,75 \text{кВ}$$

$$U_5^B = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{05}^H R_{TH} + Q_{05}^H X_{TH}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{05}^H X_{TH} - Q_{05}^H R_{TH}}{U_0} \right)^2} = 102,4 \text{кВ}$$

Знайдемо реальну напругу на низькій стороні підстанцій з урахуванням реального коефіцієнта трансформації

ПС-1

$$U_4 = \frac{U_4^B}{\frac{U_B}{U_H}} = 9,13 \text{кВ}$$

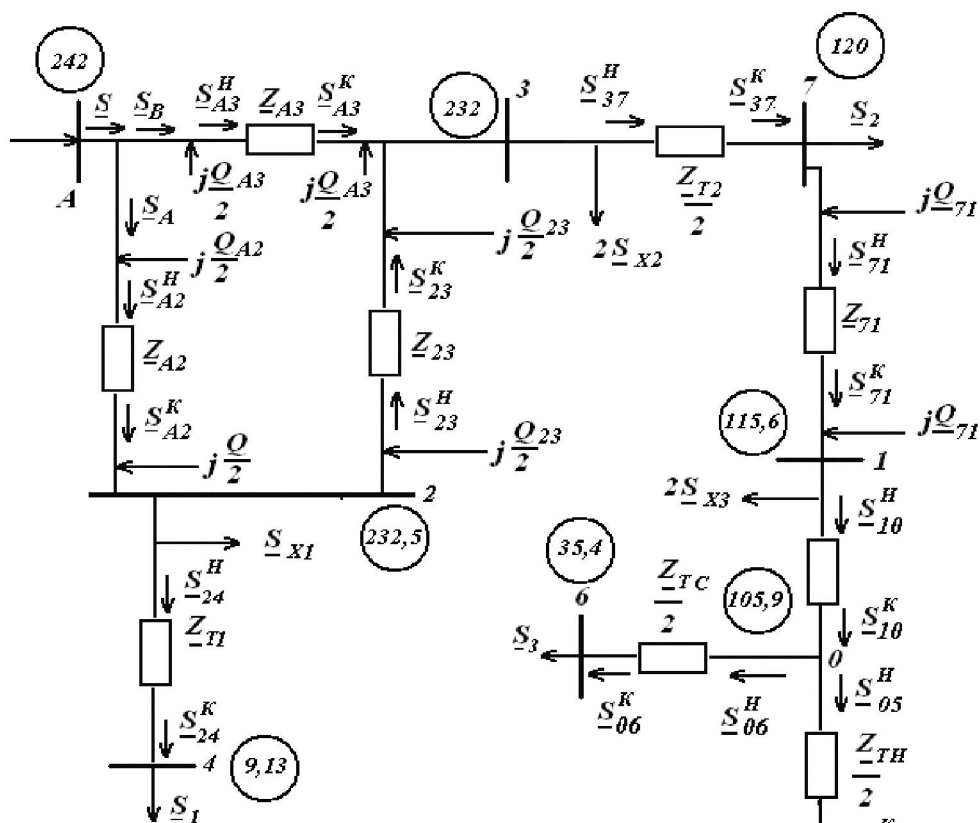
ПС-3

$$U_5 = \frac{U_5^B}{\frac{U_B}{U_H}} = 9,79 \text{кВ}$$

$$U_6 = \frac{U_6^B}{\frac{U_B}{U_C}} = 35,4 \text{кВ}$$

Зобразимо всі розраховані величини на схемі заміщення мережі, з урахуванням перетоків потужності та напруг у вузлових точках мережі (рис. 1.11).

					<b>БР 5.6.141.907 ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		17



$$\begin{aligned} \underline{S} &= 174,11 + j152,57 \text{MVA} \\ \underline{S}_A &= 105,068 + j101,74 \text{MVA} \\ \underline{S}_{A2}^H &= 105,068 + j104,26 \text{MVA} \\ \underline{S}_{A2}^K &= 103,112 + j97,05 \text{MVA} \\ \underline{S}_{23}^H &= 12,53 + j0,745 \text{MVA} \\ \underline{S}_{23}^K &= 12,51 + j0,675 \text{MVA} \\ \underline{S}_B &= 69,044 + j50,83 \text{MVA} \\ \underline{S}_{A3}^H &= 69,044 + j53,35 \text{MVA} \\ \underline{S}_{A3}^K &= 67,85 + j48,95 \text{MVA} \\ \underline{S}_{37}^H &= 30,27 + j18,904 \text{MVA} \\ \underline{S}_{37}^K &= 30,255 + j18,9 \text{MVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{S}_{71}^H &= 30,255 + j20,16 \text{MVA} \\ \underline{S}_{71}^K &= 30,093 + j20,044 \text{MVA} \\ \underline{S}_{10}^H &= 30,03 + j20,955 \text{MVA} \\ \underline{S}_{10}^K &= 30,0108 + j20,184 \text{MVA} \\ \underline{S}_{06}^H &= 10,0031 + j10 \text{MVA} \\ \underline{S}_{06}^K &= 10 + j10 \text{MVA} \\ \underline{S}_{05}^H &= 20,0077 + j10,184 \text{MVA} \\ \underline{S}_{05}^K &= 20 + j10 \text{MVA} \\ \underline{S}_{24}^H &= 90,44 + j101,3 \text{MVA} \\ \underline{S}_{24}^K &= 90 + j85 \text{MVA} \end{aligned}$$

Рисунок 1.11 – Схема мережі із зазначенням перетоків потужностей та напруг у вузлах

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

## 2. РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ ПІДСТАНЦІЇ

### 2.1. Перевірка потужності силових трансформаторів

Для підстанції «2» були обрані два трансформатори потужністю 63 МВА типу ТРДЦН. Задана еквівалентна температура літнього періоду  $t_{\text{екв}} = 0^\circ\text{C}$  та навантаження споживачів протягом доби (табл. 2.2).

$$S_{\text{ном.нав}} = 66.31 \text{ МВА}$$

Табл. 2.1. – Вихідні дані для розрахунку.

$S_{\text{ном.нав}}$ , МВА	$X_C$ , Ом	$X_{L1}$ , Ом	$X_{L2}$ , Ом	$S_{\text{кз.с}}$ , МВА	$t$ , $^\circ\text{C}$
66.31	5	15	28	3100	0

Табл. 2.2. – Вихідні дані для проектування

Години	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$S_{\text{нав}}$ , %	40	60	55	80	90	75	75	100	100	120	130	110
$S_{\text{нав}}$ , МВА	26.5	39.8	36.5	53	59.7	49.7	49.7	66.3	66.3	79.6	86.2	72.9

За даними таблиць 2.1.-2.2. будемо графік навантаження підстанції:

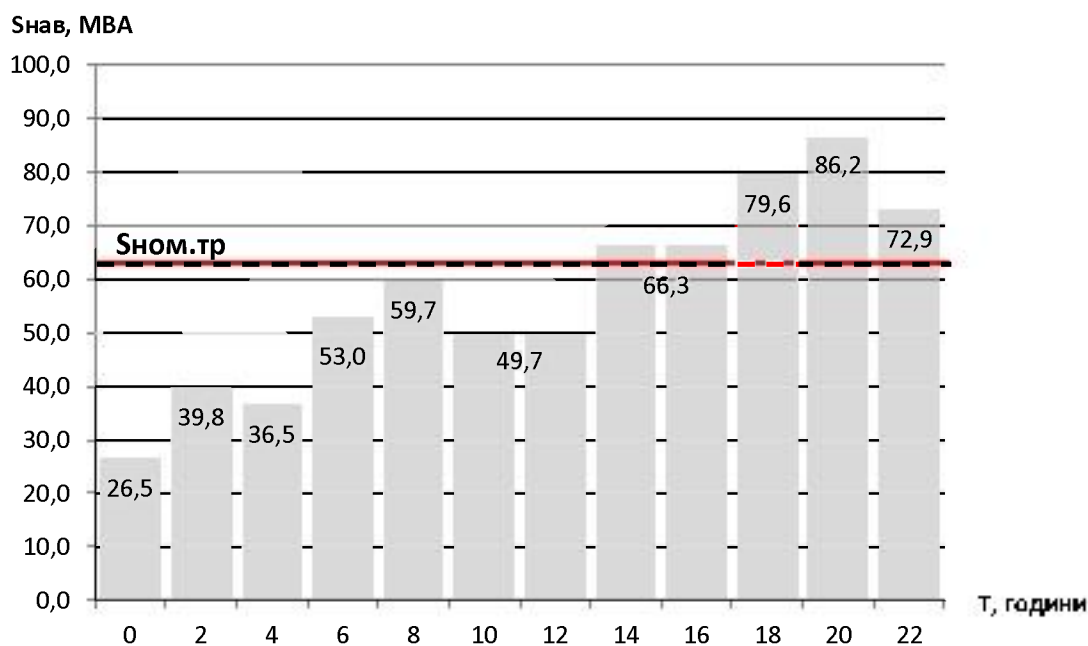


Рисунок 2.1 – Графік навантаження підстанції.

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

Для перевірки правильності вибору трансформатора реальний графік навантаження перетворимо в двоступінчастий.

Початкове навантаження еквівалентного графіка:

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

$$K_1 = \frac{1}{63} \times \sqrt{\frac{26.5^2 \times 2 + 39.8^2 \times 2 + 36.5^2 \times 2 + 53^2 \times 2 + 59.7^2 \times 2 + 49.7^2 \times 4}{2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 4}}$$

$$K_1 = 0.733$$

де  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – власне навантаження першого, другого,  $n$ -го ступеня графіка навантаження, розміщеного нижче лінії номінальної потужності трансформатора;

$t_1, t_2, \dots, t_n$  – тривалість ступеня, годин.

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

$$K'_2 = \frac{1}{63} \times \sqrt{\frac{66.3^2 \times 4 + 79.6^2 \times 2 + 86.2^2 \times 2 + 72.9^2 \times 2}{4 + 2 + 2 + 2}} = 1.185$$

Максимальне перевантаження трансформатора складає:

$$K_{МАХ} = \frac{S_{МАХ}}{S_{НОМ.ТР}} = \frac{86.2}{63} = 1.368$$

де  $S_{МАХ}$  – максимальне навантаження трансформатора за графіком навантаження.

Оскільки  $K'_2 < 0.9K_{МАХ} = 0.9 \times 1.368 = 1.231$  то остаточно беремо  $K_2 = 1.231$ .

Тривалість систематичних навантажень складає  $h$ , де:

$$h = \frac{K_2'^2 \times 14}{0.9K_{МАХ}^2} = \frac{1.185^2 \times 10}{1.231^2} = 9.26 \approx 10 \text{ годин}$$

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		20

За ГОСТ-ом 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду і часу перевантаження 10 годин, знаходимо значення перевантаження допустиме  $K_{2\text{ГОСТ}}$ . Порівнюємо значення  $K_2 = 1.231$  і  $K_{2\text{ГОСТ}} = 1.5$ . Значення  $K_{2\text{ГОСТ}}$  більше, ніж  $K_2$ , значить трансформатор обраний правильно.

## 2.2. Розрахунок струмів короткого замикання

Таблиця 2.3 – Вихідні дані.

Тип Трансформатора	Потужність $S_{\text{ТР}}$ , МВА	$X_{\text{T}}$ , Ом	$X_{L1}$ , Ом	$X_{L2}$ , Ом	$X_{\text{C}}$ , Ом	$t$ , °C
ТДЦ-125000/220	125	100.7	15	28	5	0

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору устаткування на стороні високої та низької напруг. Підстанція отримує живлення за двома прохідними лініями: схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 2.2.

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 220 кВ центра живлення складає  $S_{\text{КЗ.С}} = 3100$  МВА

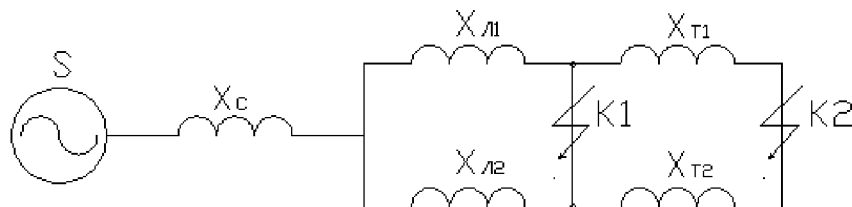


Рисунок 2.2 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Періодична складова струму КЗ у точці  $K_1$ :



$$I_{K1} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot \left( X_C + \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} \right)} = \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \left( 5 + \frac{15 \cdot 28}{15 + 28} \right)} = 8.601 \text{ кА}$$

Періодична складова струму КЗ у точці К<sub>2</sub> приведена до напруги вищої сторони:

$$I_{K2}^B = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot \left( X_C + \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} + \frac{X_T}{2} \right)} = \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \left( 5 + \frac{15 \cdot 28}{15 + 28} + \frac{100.7}{2} \right)} = 1.951 \text{ кА}$$

Реальний струм КЗ у точці К<sub>2</sub>:

$$I_{K2} = I_{K2}^B \cdot \frac{220}{10} = 42.913 \text{ кА}$$

Ударний струм:

- у точці К1 —  $I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot 8.601 = 19.584 \text{ кА}$

- у точці К2 —  $I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot 42.913 = 97.71 \text{ кА}$

Допустимо, що амплітуда ЕДС і періодична складова струму КЗ незмінні за часом, який дорівнює часу відключення, тоді:

$$I_{нт1} = I_{K1} = 8.601 \text{ кА}$$

$$I_{нт2} = I_{K2} = 42.913 \text{ кА}$$

Аперіодична складова струму КЗ до моменту розбіжності контактів вимикача:  $i_a = \sqrt{2} \cdot I_{Kn} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$

де  $T_a$  – постійна часу загасання аперіодичної складової

Таблиця 2.4 – Постійна часу КЗ.

Точка КЗ	$T_a$ , с	t, с
К1	0.025	0.06
К2	0.05	0.1

Аперіодична складова СКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача:

- для К1 —  $i_a = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 8.601 \cdot e^{-\frac{0.06}{0.025}} = 1.103 \text{ кА}$

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

$$\text{- для К2} - i_a = \sqrt{2} \cdot I_{K2} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 42.913 \cdot e^{-\frac{0.1}{0.05}} = 8.213 \text{ кА}$$

Інтеграл Джоуля:

$$\text{- для К1} - B_R = I_{K1}^2 \cdot (t + T_a) = 8.601^2 \cdot (0.06 + 0.025) = 6.288 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$\text{- для К2} - B_R = I_{K2}^2 \cdot (t + T_a) = 42.913^2 \cdot (0.1 + 0.05) = 276.227 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Таблиця 2.5 – Значення струмів короткого замикання.

Струми КЗ	Струм КЗ у початковий момент часу, кА	Ударний струм КЗ $i_{уд}$ , кА	Струм КЗ у момент розмикання контактів вимикача, кА	Аперіодична складова струму КЗ, $i_a$ , кА	Інтеграл Джоуля $B_R$ , $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
Шини 220кВ; $K_1$	8.601	19.584	8.601	1.103	6.288
Шини 10кВ; $K_2$	42.913	97.71	42.913	8.213	276.227

### 2.3. Вибір високовольтних електричних апаратів

Високовольтні електричні апарати вибираються за умови тривалого режиму роботи і перевіряються за умовами коротких замикань.

Вибору підлягають:

- вимикачі на боці вищої напруги;
- ввідні вимикачі на боці 10 кВ;
- секційні вимикачі на боці 10 кВ;
- вимикач ліній, що відходять, 10 кВ;
- роз'єднувачі вищої напруги;
- трансформатори струму і напруги 220 кВ і 10 кВ;
- ошиновка розподільних пристроїв 220 кВ і 10 кВ.

Для вибору апаратів і струмоведучих частин необхідно визначити струми нормального і після аварійного режимів.

Максимальний струм на боці 220 кВ:

$$I_{max}^{ВН} = \frac{1.4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{1.4 \cdot 63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 0.231 \text{ кА}$$

Струм у колі ввідних вимикачів на боці 10 кВ:

$$I_{max}^{НН} = \frac{1.4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}} = \frac{1.4 \cdot 63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5.092 \text{ кА}$$

Струм у колі секційного вимикача:

$$I_{max}^{СВ} = \frac{0.7 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}} = \frac{0.7 \cdot 63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2.546 \text{ кА}$$

Струм у колі лінії 10 кВ:

$$I_{max}^{ПЛ} = \frac{1.4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН} \cdot n} = \frac{1.4 \cdot 63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 3} = 1.697 \text{ кА}$$

де  $n$  – кількість ліній, що відходять від підстанції.

Вибираємо вимикачі на боці напруги 220 кВ і 10 кВ.

Вибір вимикачів наведений у таблиці 2.6.–2.10. Каталожні параметри вимикачів узяті із довідника.

Таблиця 2.6 – Вибір вимикача на боці 220 кВ.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	220 кВ	220 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	231 А	3150 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	8.601 кА	63 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	19.584 кА	135 кА
$I_{нт} \leq I_{откНом}$	8.601 кА	63 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	1.103 кА	—
$B_K \leq I_T^2 t_r$	6.288 кА <sup>2</sup> ·с	11907 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо елегазовий вимикач типу SIEMENS 3AP1DT-245/ЕК.

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

БР 5.6.141.907 ПЗ

Арк

24

Таблиця 2.7 – Вибір вимикача у колі трансформатора на боці 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	5092 А	8000 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	42.913 кА	63 кА
$I_{y\delta} \leq I_{СКВ}$	97.71 кА	164 кА
$I_{нт} \leq I_{ОткНом}$	42.913 кА	63 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	8.213 кА	—
$B_K \leq I_{T_r}^2 t_r$	276.227 кА <sup>2</sup> ·с	11907 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо вакуумний вимикач типу VAN 6/10-63-80-27(2).

Таблиця 2.8 – Вибір секційного вимикача на боці 10 кВ.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	2546 А	3150 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	42.913 кА	50 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	97.71 кА	130 кА
$I_{нт} \leq I_{ОткНом}$	42.913 кА	50 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	8.213 кА	—
$B_K \leq I_{T_r}^2 t_r$	276.227 кА <sup>2</sup> ·с	7500 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо секційний вакуумний вимикач типу VAN 6/10-50-31-27.

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

БР 5.6.141.907 ПЗ

Арк

25

Таблиця 2.9 – Вибір вимикачів на лініях 10 кВ.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	1697 А	2500 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	42.913 кА	50 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	97.71 кА	130 кА
$I_{нт} \leq I_{ОткНом}$	42.913 кА	50 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	8.213 кА	—
$B_K \leq I_T^2 t_r$	276.227 кА <sup>2</sup> ·с	7500 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо вакуумний вимикач VАН 6/10-50-25-27.

Таблиця 2.10 – Вибір роз'єднувачів на боці 220 кВ.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	220 кВ	220 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	231 А	1250 А
$i_{y0} \leq I_{прСКВ}$	19.584 кА	100 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	6.288 кА <sup>2</sup> ·с	4800 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо роз'єднувачі типу CHINT Electric GW22-252.

#### 2.4. Вибір ошиновки розподільних пристроїв

В РП напругою 220 кВ застосовують гнучкі шини, які виконуються сталевалюмінієвими проводами. Вибираються ці шини за наступними умовами:

- економічна щільність струму  $q_{розрах} = \frac{I_{норм}}{j_e}$ , де  $j_e$  — економічна щільність струму;  $j_e = 1.1$ , для неізолюваних алюмінієвих проводів

$$q_{\text{розрах}} = \frac{I_{\text{норм}}}{j_e} = \frac{231}{1.1} = 210 \text{ мм}^2$$

За умовою вибираємо провід АС-240/32.

- перевірка за допустимим струмом  $I_{\text{max}} \leq I_{\text{доп}}$ 
  - $231 \text{ А} \leq 605 \text{ А}$ , умова виконується.
- перевірка на термічну стійкість при КЗ

$$q_{\text{min}} \leq q_{\text{розрах}}$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \text{ де } C = 91 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кА} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}}}{\text{мм}^2}$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{6.228}}{91 \cdot 10^{-3}} = 27.42 \text{ мм}^2, \text{ умова виконується.}$$

- перевірка гнучких шин на електродинамічну стійкість при КЗ не проводимо, так як виконується умова:  $I_{\text{КЗ}}^{\text{ВН}} = 8.601 < 20 \text{ кА}$
- перевірка за умовами коронування: для напруги 220 кВ за умовами корони повинні використовуватися одиночні проводи марки АС-600/72, або  $3 \times \text{АС-150/24}$ .

Остаточню вибираємо до встановлення провід АС-600/72,  $I_{\text{доп}} = 1050 \text{ А}$

В РП 10 кВ застосовують жорсткі шини, вибираються вони за наступними умовами:

- вибір перерізу шин по нагріву:  $I_{\text{роб.нб}} \leq I_{\text{доп}}$
- де  $I_{\text{роб.нб}}$  – найбільший робочий струм приєднання;
- $I_{\text{доп}}$  – допустимий струм шин вибраного перерізу.

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.ном}} \sqrt{\frac{v_{\text{доп}} - v_{\text{о.ф}}}{v_{\text{доп}} - v_{\text{о.н}}}}$$

$$I_{\text{роб.нб}} = 5092 \text{ А}$$

Вибираємо мідні шини коробчастого перерізу  $q = 2 \times 1370 \text{ мм}^2$ . Для цих шин  $I_{\text{доп.ном}} = 5500 \text{ А}$ . Розрахуємо  $I_{\text{доп}}$ , при температурі навколишнього середовища  $t_{\text{екв}} = 0^\circ\text{C}$ :

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
						27
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.ном}} \sqrt{\frac{v_{\text{доп}} - v_{\text{о.ф}}}{v_{\text{доп}} - v_{\text{о.н}}}} = 5500 \sqrt{\frac{70 - 0}{70 - 25}} = 6859.7 \text{ А}$$

$I_{\text{роб.нб}} \leq I_{\text{доп}}$  – нерівність виконується.

- перевірка на термічну стійкість при КЗ

$$q_{\text{min}} \leq q$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{276.227}}{170 \cdot 10^{-3}} = 97.76 \text{ мм}^2$$

$$97.76 \leq 2 \times 1370$$

- перевірка на електродинамічну стійкість

При проектуванні нових конструкцій РП з жорсткими шинами знаходиться частота власних коливань для мідних шин:

$$f_0 = \frac{125.2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}}$$

де  $l$  – довжина прольоту між ізоляторами, м;

$J$  – момент інерції поперечного перерізу шини,  $\text{см}^4$ .

$$f_0 = \frac{125.2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}} = \frac{125.2}{1.7^2} \sqrt{\frac{625}{2 \times 13.7}} = 206.6 \text{ Гц}$$

Отже робимо висновок, що механічного резонансу не виникне.

- механічний розрахунок шин

Шини механічно міцні, якщо  $\sigma_{\text{розр}} = \sigma_{\text{ф}} + \sigma_{\text{с}} \leq \sigma_{\text{доп}}$

Напруга від взаємодії фаз:  $\sigma_{\text{ф}} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{i_{\text{уд}}^2 \cdot l^2}{W_{\text{ф}} \cdot a}$

де  $a$  – відстань між шинами, м;

$W_{\text{ф}}$  – момент опору перерізу для двох зрощених шин(в нашому випадку

$$W_{\text{ф}} = W_{y_0-y_0} = 100 \text{ см}^3$$

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

БР 5.6.141.907 ПЗ

Арк

28

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{(97.71 \cdot 10^3)^2 \cdot 2^2}{100 \cdot 0.8} = 8.27 \text{ МПа}$$

Сила взаємодії між швелерами:  $f_c = 0.5 \cdot \frac{i_{уд}^2}{h} \cdot 10^{-7}$

де  $h$  – відстань між осями провідників, м.

$$f_c = 0.5 \cdot \frac{97.71^2 \cdot 10^6}{0.125} \cdot 10^{-7} = 3818.9 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Напруга в матеріалі шин від дії сили:  $\sigma_c = \frac{f_c \cdot l_{\Pi}^2}{12 \cdot W_c}$

де  $W_c = W_{y-y} = 9.5 \text{ см}^3$ ;

$l_{\Pi}$  – відстань між місцями зварювання швелерів, м;  $l_{\Pi} \leq l_{\Pi.max}$

$$l_{\Pi.max} = \sqrt{\frac{12 \cdot (\sigma_{доп} - \sigma_{\phi}) \cdot W_c}{f_c}}$$

де  $\sigma_{доп}$  – припустима механічна напруга в матеріалі шини

$$l_{\Pi.max} = \sqrt{\frac{12 \cdot (172 - 8.27) \cdot 9.5}{3818.5}} = 2.21 \text{ м}$$

$$\sigma_c = \frac{3818.5 \cdot 2^2}{12 \cdot 9.5} = 133.98 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{розр} = 133.98 + 8.27 = 142.25 \text{ МПа} \leq \sigma_{доп} = 172 \text{ МПа}$$

Отже, умова механічної міцності коробчастої шини виконується.

## 2.5. Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги

У колі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюється амперметр, вольтметр, ватметр, лічильники активної і реактивної енергії, на шинах 110 кВ – вольтметр із перемикачем для виміру трьох міжфазних напруг, на секційному вимикачі 10 кВ-амперметр, на лініях, що відходять, 10 кВ-амперметр, лічильники активної і реактивної енергій. Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму наведений у таблиці 2.11.

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		29



Таблиця 2.11. – Вторинне навантаження трансформаторів струму.

Прилад	Тип	Клас	Навантаження по фазах		
			А	В	С
Амперметр	Э-335	1	0,5	0,5	0,5
Ватметр	Д350	1,5	0,5	-	0,5
Варметр	Д345	1,5	0,5	-	0,5
Лічильник активної енергії	СА3	1	2,5	-	2,5
Лічильник реактивної енергії	СР-4	1,5	2,5	-	2,5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра з боку НН			6,5	0,5	6,5
Сумарне навантаження струму в колі секц. вимикач на НН			0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра на боці ВН			0,5	0,5	0,5

Вибір трансформатора струму наведений у таблицях 2.12.-2.14

Вибираємо трансформатор струму ТФЗМ 110-У1. Заносимо його каталожні дані таблицю.

Таблиця 2.12. – Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на боці вищої напруги.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	0 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	462,930 А	500 А
$i_y \leq I_{прСКВ}$	21,409кА	70
$B_K \leq I_T^2 t_r$	7,515кА <sup>2</sup> с	700кА <sup>2</sup> с
$Z_H \leq Z_{H,ном}$	0,82 Ом	1,25 Ом

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
						30
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом}.$$

Також потрібно розрахувати опір сполучних проводів може бути не більше ніж розрахований за формулою:

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_{\text{к}},$$

де:  $Z_{\text{ном}}$  - номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{\text{прил}}$  - опір приладів, Ом;

$Z_{\text{к}}$  - опір контактів, Ом.

$$Z_{\text{пр}} = 1,25 - 0,02 - 0,1 = 1,13 \text{ Ом}.$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $2,5 \text{ мм}^2$  для мідних жил.

Перетин жил при довжині кабеля  $l = 100 \text{ м}$

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{F},$$

де:  $\rho$  - питомий опір міді,  $0,0175, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$ ,

$F$  - перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{\text{пр}} = \frac{0,0175 \cdot 100}{2,5} = 0,7 \text{ Ом}.$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,02 + 0,1 + 0,7 = 0,82 \text{ Ом},$$

що менше ніж  $1,25 \text{ Ом}$ , припустимих при роботі трансформатора в класі точності  $0,5$ .

Вибираємо трансформатор ТШВ15. Заносимо його каталожні дані в таблицю

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
						31
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

Таблиця 2.13 – Вибір трансформатора струму у колі силового трансформатора на боці нижчої напруги.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	5092А	6000 А
$i_y \leq i_{оин}$	88,366 кА	-
$B_K \leq I_T^2 t_r$	225,781кА <sup>2</sup> ·с	А <sup>2</sup> ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	0,403Ом	1,25 Ом

Проведемо перевірку ну термічну стійкість при  $K_{мер} = 20$

$$(I_{ном} K_{мер})^2 t_T \geq B_k$$

$$(6000 \cdot 20)^2 \cdot 3 = 43200 > 225,781$$

Як бачимо з розрахунків за термічною стійкістю вибраний ТС підходить.

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{прил} = \frac{S_{прил}}{I^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом.}$$

Тоді опір сполучних проводів може бути не більше ніж розрахований за формулою:

$$Z_{пр} = Z_{ном} - Z_{прил} - Z_K,$$

де:  $Z_{ном}$  - номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{прил}$  - опір приладів, Ом;

$Z_K$  - опір контактів, Ом.

$$Z_{пр} = 1,25 - 0,02 - 0,1 = 1,13 \text{ Ом.}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $4 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля  $l = 40 \text{ м}$

$$Z_{np} = \rho \frac{l}{F},$$

де:  $\rho$  - питомий опір алюмінію,  $0,0283, \frac{Ом \cdot мм}{м}$ ,

$F$  - перетин жил,  $мм^2$ ,

$$Z_{np} = \frac{0,0283 \cdot 40}{4} = 0,283 \text{ Ом}.$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_H = Z_{прил} + Z_K + Z_{np} = 0,02 + 0,1 + 0,283 = 0,403 \text{ Ом},$$

що менше ніж 1,2Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 0,5. Цей трансформатор струму відповідає умовам вибору.

Вибираємо трансформатор ТЛМ10-У3. заносимо його каталожні дані в таблицю:

Таблиця 2.14 - Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	509,2А	600 А
$i_y \leq i_{оин}$	88,336кА	100 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	225,781кА <sup>2</sup> ·с	2028кА <sup>2</sup> ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	0,403	1,25

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{прил} = \frac{S_{прил}}{I^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом}.$$

Тоді опір сполучних проводів може бути не більше ніж розрахований за формулою:

$$Z_{np} = Z_{ном} - Z_{прил} - Z_K,$$

де:  $Z_{ном}$  - номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{прил}$  - опір приладів, Ом;

$Z_K$  - опір контактів, Ом.

$$Z_{np} = 1,25 - 0,02 - 0,1 = 1,13 \text{ Ом.}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $4 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля  $l = 40 \text{ м}$

$$Z_{np} = \rho \frac{l}{F},$$

де:  $\rho$  - питомий опір алюмінію,  $0,0283, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$ ,

$F$  - перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{np} = \frac{0,0283 \cdot 40}{4} = 0,283 \text{ Ом.}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_H = Z_{прил} + Z_K + Z_{np} = 0,02 + 0,1 + 0,283 = 0,403 \text{ Ом,}$$

що менше ніж  $1,25 \text{ Ом}$ , припустимих при роботі трансформатора в класі точності  $0,5$ . Цей трансформатор струму відповідає умовам вибору.

Обираємо трансформатори напруги за заданими значеннями напруги та за потужністю.

На боці високої напруги ( $110 \text{ кВ}$ ) обираємо трансформатори НКФ-220-58У1, на боці  $10 \text{ кВ}$ -НОМ-10-66У2, використовуючи дані із таблиць наведених у довідниках [2],[3].

Таблиця 2.15 – Трансформатори напруги

Тип	Номінальна напруга обмоток			Номінальна потужність, В·А, в класі точності				Макс. потужність, В·А
	Перв., кВ	Осн.втор., В	Додат., В	0,2	0,5	1	3	
НКФ-110-58	$110/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100:3	-	400	600	1200	2000

Таблиця 2.16 – Трансформатори напруги

Тип	Номинальна напруга обмоток			Номинальна потужність, В·А, в класі точності				Макс. потужність, В·А
	Перв., кВ	Осн.втор., В	Додат., В	0,2	0,5	1	3	
НОМ-10-66	10	100	-	-	75	150	300	630

## 2.6. Вибір трансформаторів власних потреб

Споживачами власних потреб можуть виступати різні перетворювачі електричної енергії, які використовують на підстанції для охолодження силових трансформаторів, зовнішнє або внутрішнє освітлення підстанції, обігрів приміщення, підігрів електрообладнання.

Сумарна розрахункова потужність приймачів власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту. Розрахунок потужності приймачів власних потреб наведений у табл. 2.17.

Таблиця 2.17 – Розрахунок потужності приймача власних потреб.

Види споживачів	Встановлена потужність		Коефіцієнт попиту	cosφ	Навантаження S, кВА
	одиниці, кВт*к-сть	Всього, кВт			
Охолодження ТРДН-63000/110	2*4	8	0,82	0,86	5,64
Підігрів вимикачів на напрузі 110 кВ	3*3,6	10,8	1	1	10,8
Підігрів приводів роз'єднувачів, відділювачів, короткозамикачів	10*0,6	6	1	1	6
Опалення, освітлення, вентиляція закритого РП	1	5	0,65	0,95	3,08
Освітлення РП	1	2	0,63	0,93	1,17
Всього					26,69

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

БР 5.6.141.907 ПЗ

Арк

35

На підстанції передбачається установка двох трансформаторів власних потреб. Номінальна потужність вибирається з умови

$$S_{TCH} \geq S_{CH},$$

де  $S_{TCH}$  - потужність трансформатора власних потреб, кВА.

$S_{CH}$  - потужність споживачів власних потреб, кВА.

Оскільки  $S_{CH}=26,69$  кВА, то беремо потужність трансформатора власних потреб такою, що дорівнює 32 кВА.

Ремонтне навантаження на підстанції прийнято брати таким, що дорівнює 20 кВА. При підключенні цього навантаження на один трансформатор допускається його перевантаження на 20%. Взявши це до уваги, потужність трансформатора для забезпечення живлення навантаження власних потреб з урахуванням ремонтних навантажень

$$S_{TCH} \geq \frac{26,69 + 20}{1,2} = 38,9 \text{ кВА.}$$

Стандартна потужність трансформатора 40 кВА. Остаточо для живлення споживачів власних потреб беремо два трансформатори ТМ-40/10.

					<b>БР 5.6.141.907 ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		36

### 3. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ПІДСТАНЦІЇ

На базі підстанції «2» необхідно розрахувати захист трансформатора АТДЦТН- 63000/220/110, параметри якого наведено в табл. 1.7. На рис. 3.1 зображено схему заміщення для розрахунку захисту.

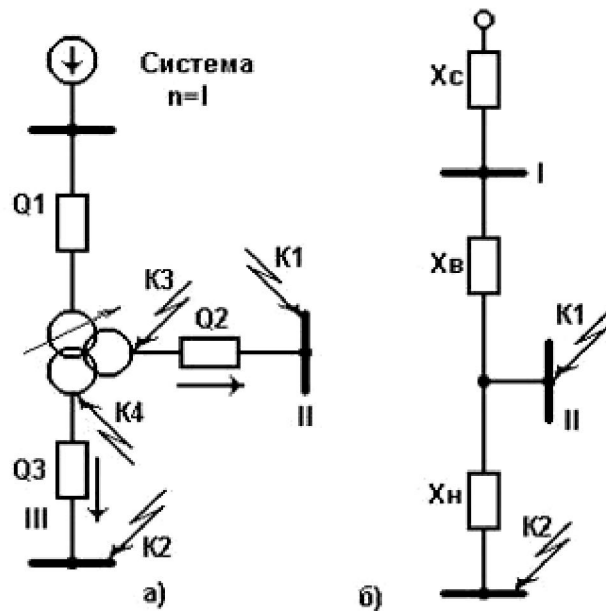


Рис.3.1 – Пояснювальна схема (а) і схема заміщення (б) для розрахунку захисту трансформатора

#### 3.1 Розрахунок струму КЗ для захисту трансформатора

Струм КЗ на шинах СН (точка К1, рис.3.1):

$$I_{к.макс(K1)}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot X_B} = \frac{230}{\sqrt{3} \cdot 24,3} = 5,5 \text{ кА};$$

$$I_{к.макс(K1)}^{(2)} = \frac{U_{ср.ном}}{2X_B} = \frac{230}{2 \cdot 24,3} = 4,7 \text{ кА}.$$

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата



Струм на шинах НН (точка К2, рис.3.1):

$$I_{\text{к.макс(К2)}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3}(x_{\text{в}} + x_{\text{н}})} = \frac{230}{\sqrt{3}(24,3 + 43,4)} = 1,96 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к.мин(К2)}}^{(2)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{2(x_{\text{в}} + x_{\text{н}})} = \frac{230}{2(24,3 + 43,4)} = 1,69 \text{ кА}$$

### 3.2 Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту

Попередньо обираємо реле РНТ-560. Струм спрацьовування захисту реле визначається за більшим з двох розрахункових умов:

а) відбудування від кидка струму намагнічування:

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{отс}} I_{\text{ном}} = 1,3 \cdot 630 = 819 \text{ А},$$

$$\text{де } I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 230} = 0,63 \text{ кА};$$

б) відбудування від струму небалансу:

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{з}} (k_{\text{одн}} \varepsilon) I_{\text{к.макс(К1)}}^{(3)} = 1,3(1 \cdot 0,1) \cdot 5500 = 715 \text{ А}.$$

Беремо  $I_{\text{с.з}} = 715 \text{ А}$ .

Попередня перевірка чутливості проводиться по первинних струмах при двофазному КЗ на стороні НН (точка К2, рисунок 3.1):

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин(К2)}}^{(2)}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{1690}{715} = 2,4 > 2.$$

Оскільки захист забезпечує необхідну чутливість, то можна продовжувать розрахунок з реле типу РНТ-560.

Проведемо вибір установок реле РНТ-560. Визначаємо номінальні первинні струми для всіх п сторін обладнання, що потребує захисту:

а) сторона ВН:

$$I_{\text{ном.ВН}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ВН}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 230} = 0,63 \text{ кА};$$

б) сторона СН:

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		38

$$I_{\text{ном.СН}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.СН}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 121} = 1,19 \text{ кА};$$

в) сторона НН:

$$I_{\text{ном.НН}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.НН}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 13,7 \text{ кА},$$

де  $U_{\text{ном.п}}$  – номінальна напруга сторони п, що захищається.

Визначаємо вторинні номінальні струми плечей захисту:

а) сторона ВН:

$$I_{\text{в.ном.ВН}} = \frac{I_{\text{ном.ВН}} k_{\text{сх.п}}}{K_{\text{І.п}}} = \frac{630 \cdot 1}{400/5} = 7,9 \text{ А};$$

б) сторона СН:

$$I_{\text{в.ном.СН}} = \frac{I_{\text{ном.СН}} k_{\text{сх.п}}}{K_{\text{І.п}}} = \frac{1190 \cdot 1}{1500/5} = 4 \text{ А};$$

в) сторона НН:

$$I_{\text{в.ном.НН}} = \frac{I_{\text{ном.НН}} k_{\text{сх.п}}}{K_{\text{І.п}}} = \frac{13700 \cdot \sqrt{3}}{10000/5} = 11,9 \text{ А},$$

де  $k_{\text{сх.п}}$  – коефіцієнт схеми з'єднання вторинних обмоток ТТ на стороні п об'єкта (при з'єднанні обмоток у зірку  $k_{\text{сх.п}}=1,0$ ; при з'єднанні обмоток в трикутник  $k_{\text{сх.п}}=\sqrt{3}$ );

$K_{\text{І.п}}$  – коефіцієнт трансформації ТТ, прийнятий на стороні п об'єкта (коефіцієнт ТТ вибираємо так, щоб вторинні номінальні струми істотно не перевищували паспортні значення струмів 5 А).

Дані розрахунку приведені в таблиці 3.1

За основну сторону беремо сторону основного живлення 230 кВ.

Струм спрацьовування реле для основної сторони визначаємо за виразом:

$$I_{\text{сп.осн}} = \frac{I_{\text{с.з}} k_{\text{сх}} \frac{U_{\text{сп.ном}}}{U_{\text{ном.ВН}}}}{K_{\text{ІВВ}}} = \frac{715 \cdot 1 \cdot \frac{230}{230}}{600/5} = 5,6 \text{ А};$$

Знаходимо розрахункове число витків робочої обмотки для основної сторони (ВН):

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
						39
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

$$w_{\text{осн.расч}} = \frac{F_{\text{ср}}}{I_{\text{с.р.осн}}} = \frac{100}{5,6} = 18 \text{ ВИТКІВ,}$$

де  $F_{\text{ср}} = 100 \text{ А}$  – намагнічуюча сила спрацювання реле РНТ-560.

Беремо  $w_{\text{раб.осн}} = 18$  витків, що відповідає фактичному струму спрацювання реле  $I_{\text{с.р.осн}} = \frac{100}{18} = 5,55 \text{ А}$ .

Таблиця 3.1 – Розрахунок первинних і вторинних струмів сторін трансформатора.

Позначення параметрів	I-ВН-230 кВ	II-СН-121 кВ	III-НН-10,5 кВ
$I_{\text{НОМп}}, \text{ А}$	$\frac{250}{\sqrt{3} \cdot 230} = 630$	$\frac{250}{\sqrt{3} \cdot 121} = 1190$	$\frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 13700$
$K_{\text{In}}$	600/5	1000/5	18000/5
Схема з'єднання ТТ	зірка	зірка	трикутник
$I_{\text{В.НОМп}}, \text{ А}$	$\frac{630 \cdot \sqrt{3}}{600/5} = 9,1$	$\frac{1190 \cdot \sqrt{3}}{1000/5} = 10,3$	$\frac{13700 \cdot \sqrt{3}}{18000/5} = 6,6$

Розрахункові числа витків для других сторін трансформатора визначаються за формулою:

$$w_{\text{расч.п}} = w_{\text{осн}} \left( \frac{I_{\text{В.НОМ.ОСН}}}{I_{\text{В.НОМ.П}}} \right);$$

для сторони 110 кВ  $w_{\text{расч.СН}} = w_{\text{осн}} \left( \frac{I_{\text{В.НОМ.ОСН}}}{I_{\text{В.НОМ.СН}}} \right) = 18 \cdot \left( \frac{9,1}{10,3} \right) = 15,9$  (беремо  $w_{\text{СН}}=16$ );

для сторони 11 кВ  $w_{\text{расч.НН}} = w_{\text{осн}} \left( \frac{I_{\text{В.НОМ.ОСН}}}{I_{\text{В.НОМ.НН}}} \right) = 18 \cdot \left( \frac{9,1}{6,6} \right) = 24,8$  (беремо  $w_{\text{НН}}=25$ ).

Уточнений струм спрацювання захисту з урахуванням похибки вирівнювання:

$$I_{\text{с.з}} = (k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta w_{\text{НН}}) I_{\text{к.макс(К2)}} = 1,3(1,0 \cdot 0,1 + 0,01) \cdot 5500 = 786 \text{ А,}$$

$$\text{де } \Delta w_{\text{НН}} = \frac{w_{\text{расч.НН}} - w_{\text{НН}}}{w_{\text{расч.НН}}} = \frac{24,8 - 18}{24,8} = 0,01.$$

Уточнений струм спрацьовування реле визначається за виразом:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{с.з}} \cdot k_{\text{сх}} \left( \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{ном.ВН}}} \right)}{k_{\text{ІВВ}}} = \frac{786 \cdot 1 \cdot \frac{230}{230}}{600/5} = 5,1 < 5,6 \text{ А}.$$

Оскільки уточнений розрахунковий струм спрацьовування реле (5,1А) менший за фактичний (5,6А), то вибір робочих витків закінчено. Таким чином, до установки на реле приймаються наступні витки  $w_{\text{ВН}} = 18$ ,  $w_{\text{СН}} = 16$ ,  $w_{\text{НН}} = 25$ .

### 3.3 Розрахунок максимального струмового захисту

Для триобмоткових трансформаторів з одностороннім живленням в якості резервного захисту рекомендується установка на стороні живлення МСЗ з пуском або без пуску за напругою. Першочергово визначаємо струм спрацьовування МСЗ без пуску за напругою у відповідності з виразом:

$$I_{\text{с.з}} = \frac{k_3}{k_B} \cdot k_C \cdot I_{\text{нагр.макс}} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 1,8 \cdot 630 = 1701 \text{ А},$$

де  $k_3 = 1,2$  – коефіцієнт запасу по вибірковості;

$k_B = 0,8$  – коефіцієнт повернення реле РТ-40;

$k_C$  – коефіцієнт самозапуску, що враховує збільшення струму загальмованою руховою навантаження після відновлення напруги  $k_C = (1,5 - 2,5)$ ;

$I_{\text{нагр.макс}}$  – максимальний струм навантаження (приймається рівним номінальному струму трансформатора).

Чутливість захисту перевіримо при КЗ на шинах СН і НН в мінімальних розрахункових режимах:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин(К1)} }^{(2)}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{4700}{1701} = 2,6 \quad \text{і} \quad k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин(К2)} }^{(2)}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{1690}{1701} = 1,01 > 1.$$

Чутливість МСЗ без пуску за напругою виявляється достатньою.

					<b>БР 5.6.141.907 ПЗ</b>	Арк
						41
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

## 4. РОЗРАХУНОК ГРОЗОЗАХИСТУ І ЗАЗЕМЛЕННЯ

### 4.1 Розрахунок грозозахисту ВРП

На території ВРП необхідно розставити громовідводи для захисту електроустаткування від прямих ударів блискавки. Також розрахувати висоту громовідводів і накреслити горизонтальний переріз зони захисту громовідводів на висоті  $h_x$  і вертикальний переріз зони захисту громовідводів розміщених по діагоналі ВРП.

Таблиця 4.1 – Початкові дані для розрахунку грозозахисту

$a, \text{м.}$	$b, \text{м.}$	$h_x, \text{м}$
200	260	14

$a$  і  $b$  – ширина і довжина території ВРП

$h_x$  – найбільша висота гірлянд ізоляторів на порталі.

Розміщення громовідводів зробимо по периметру ВРП по кутах. Оскільки передбачувана висота громовідводу менше відстані між ними, то при вірогідності прориву  $P_{пр}=0,005$  по формулі знаходимо мінімальну висоту системи з двох стержневих громовідводів, необхідну для захисту точки, що знаходиться по середині діагоналі прямокутника на висоті  $h_x$ :

$$h_{\min} = h_x = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(l-h).$$

Для вірогідності прориву блискавки через кордон зони захисту що не перевищує 0,005,  $h_0=0,85h$

$$h_x = 0,85h - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(l-h)$$

Довжина діагоналі ВРП:

$$l = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{200^2 + 260^2} = 328 \text{ м}$$

Тоді:

$$h_x = 0,85h - (0,17l + 0,17h - 3 \cdot 10^{-4}hl + 3 \cdot 10^{-4}h^2).$$

Підставляючи в це рівняння значення  $h_x=14$  м і  $l=328$  м отримаємо квадратне рівняння:

$$3 \cdot 10^{-4} h^2 + 0,922 h - 69,76 = 0.$$

Вирішуємо це рівняння:

$$D = b^2 - 4ac = 0,934.$$

$$h_1 = \frac{-0,922 + \sqrt{0,934}}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 73,9 \text{ м.}$$

$$h_2 = \frac{-0,922 - \sqrt{0,934}}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = -3145,9 \text{ м (не має фізичного змісту).}$$

Для розрахунку зони захисту громовідводів як системи подвійного стержневого громовідводу з вірогідністю пориву  $P_{пр} = 0,005$  повинно виконуватися умова  $l < 3h$ .

$$h > \frac{l}{3} = 109,3 \text{ м}$$

Так, як отримане значення  $h > h_1$ , то для захисту точки на ВРП в найбільш несприятливому місці за розрахункову висоту громовідводу приймаємо  $h=109$  м.

Визначимо межі зони захисту такого поодинокого громовідводу.

$$h_0 = 0,85h = 93,5 \text{ м.}$$

Радіус перерізу зони захисту  $r_x$  на висоті  $h_x$  знайдемо з формули:

$$r_x = (1,1 - 0,002h) \left( h - \frac{h_x}{0,85} \right) = 82,3 \text{ м.}$$

Радіус зони захисту поодинокого громовідводу на рівні землі:

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h = 96,8 \text{ м.}$$

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		43

Мінімальна висота зони захисту двох найближчих громовідводів, що знаходяться по периметру ВРП :

$$h_{\min 1} = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h)(l - h) = 49,2 \text{ м.}$$

Так, як  $h_{\min 1} > h_x$ , то вибрана висота громовідводу задовольняє умовам захисту на висоті  $h_x$ .

Відстань між віссю симетрії, проведеної між громовідводами по діагоналі і найбільш віддаленою точкою захисту по середині між ними на рівні  $h_x$  -  $d_{x1}$

$$d_{x1} = \frac{r_0 (h_{\min 1} - h_x)}{h_{\min 1}} = 69,3 \text{ м.}$$

Межа зони захисту громовідводів, розташованих по діагоналі, зображена на рис. 4.1. Аналогічно розраховуємо зони захисту громовідводів уздовж ширини на ВРП:

$$h_{\min 2} = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h)(a - h) = 75,2 \text{ м.}$$

$$d_{x2} = \frac{r_0 (h_{\min 2} - h_x)}{h_{\min 2}} = 78,8 \text{ м.}$$

Межі зони захисту також дивимося на рис. 4.1.

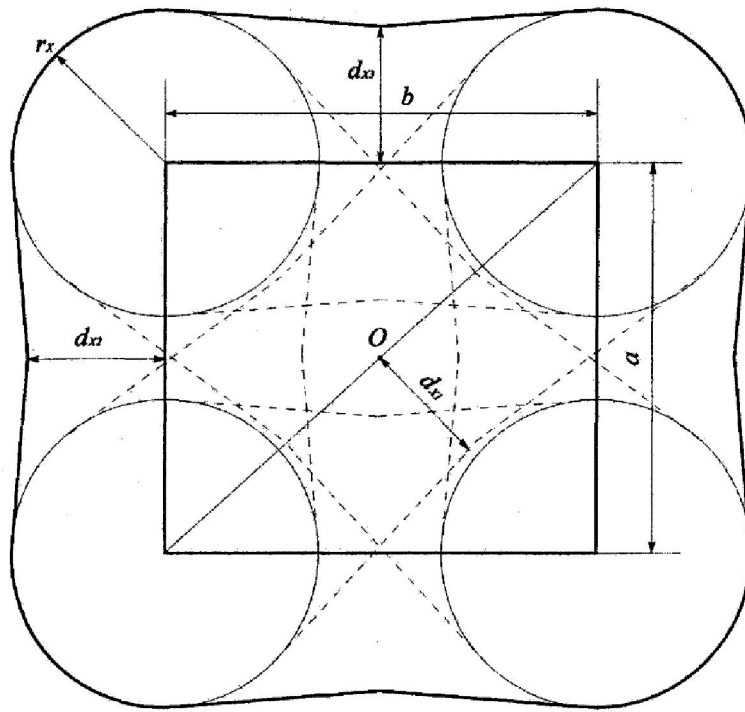
Зона захисту громовідводів розташованих упродовж ВРП:

$$h_{\min 3} = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h)(b - h) = 63,05 \text{ м.}$$

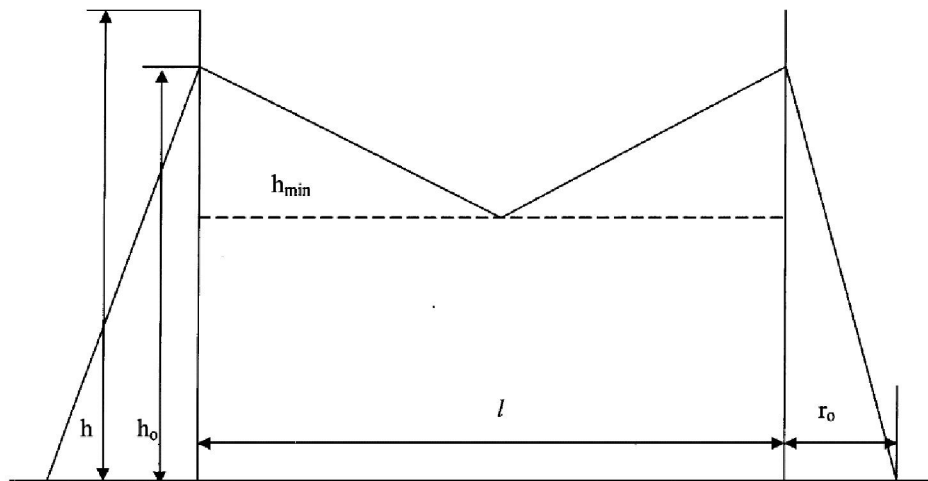
$$d_{x3} = \frac{r_0 (h_{\min 3} - h_x)}{h_{\min 3}} = 75,31 \text{ м.}$$

Після нанесення усіх зон захисту бачимо, що уся територія ВРП знаходиться в зоні захисту громовідводів розташованих по кутах ВРП.

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
						44
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		



а)



б)

Рис. 4.1 – Схема розташування громовідводів і межі зони, що захищається.

#### 4.2 Розрахунок заземлення ВРП.

Необхідно розрахувати опір заземляючого контура відкритого розподільного пристрою.

Таблиця 4.2 – Початкові дані

$\alpha, \text{м.}$	$B, \text{м.}$	$\rho_{\text{изм}} \text{ Ом.м.}$	$n_{\text{гр}}, \text{шт}$	$l_{\text{пр}}, \text{м}$
200	260	104	2	160

Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата

БР 5.6.141.907 ПЗ

Арк

45



$\alpha$  і  $b$  – ширина і довжина території ВРП;

$\rho_{\text{ізм}}$  – вимірне значення питомого опору ґрунту;

$n_{\text{тр}}$  – число тросів;

$l_{\text{пр}}$  – довжина прольоту.

Заземляючий контур виконуємо у вигляді сітки з горизонтальних смуг з вертикальними електродами, розташованими у вузлах сітки по її периметру.

Крок сітки вибираємо рівним 10м. Довжина вертикального електроду рівна  $l = 10$  м.

Розрахункове значення питомого опору ґрунту при сезонних змінах

$$\rho_{\text{расч}} = K S_{\text{ізм}}$$

де  $K$ - сезонний коефіцієнт.

Для середньої вологості ґрунту і заземлення грозозахиста  $K = 1,4$  тоді

$$\rho_{\text{расч}} = 1,4 \cdot 104 = 145,6 \text{ Ом.}$$

Виходячи з  $\rho_{\text{расч}}$  визначаємо допустимий опір заземлення опори високовольтної лінії для грозового сезону

$$R_{\text{оп}} \leq 15 \text{ Ом.}$$

Опір заземлення трос-опора обчислюється за формулою:

$$R_{\text{тр-оп}} = \sqrt{R_{\text{тр}} \cdot R_{\text{оп}}}$$

де  $R_{\text{тр}}$  – опір троса між опорами

$R_{\text{оп}}$  – опір заземлення опори.

Опір троса визначимо по формулі

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		46

$$R_{\text{тр}} = \frac{0.0024 \cdot I_{\text{нр}}}{n_{\text{од}}} = \frac{0,0024 \cdot 160}{2} = 0,192 \text{ Ом.}$$

Тоді:

$$R_{\text{тр-оп}} = \sqrt{0,192 \cdot 15} = 1,7 \text{ Ом.}$$

Допустимий опір  $R_3$  штучного заземлення за наявності природних заземлень визначимо з рівняння:

$$R_{\text{тр-оп}} = \frac{R_{\text{анод}} \cdot R_3}{R_{\text{анод}} + R_3},$$

де  $R_{\text{доп}}$  – допустимий опір заземлення в мережах із заземленою нейтраллю  
 $R_{\text{доп}} \leq 0,5 \text{ Ом.}$

$$R_3 = \frac{R_{\text{анод}} \cdot R_{\text{доп}}}{R_{\text{анод}} - R_{\text{доп}}} = \frac{0,5 \cdot 1,7}{1,7 - 0,5} = 0,71 \text{ Ом}$$

Опір заземлителя, що складається з сітки і вертикальних електродів, об'єднаних горизонтальними смугами, розраховується по формулі:

$$R_3 = \rho_{\text{расч}} \left( \frac{A}{\sqrt{S}} + \frac{1}{Lnl} \right)$$

де  $L$  – сумарна довжина усіх горизонтальних електродів;

$l, n$  – число і довжина вертикальних електродів;

$A$  – коефіцієнт, залежний від  $\frac{l}{\sqrt{S}}$

Схема заземляючого контура зображена на рис. 4.2

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
						47
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		

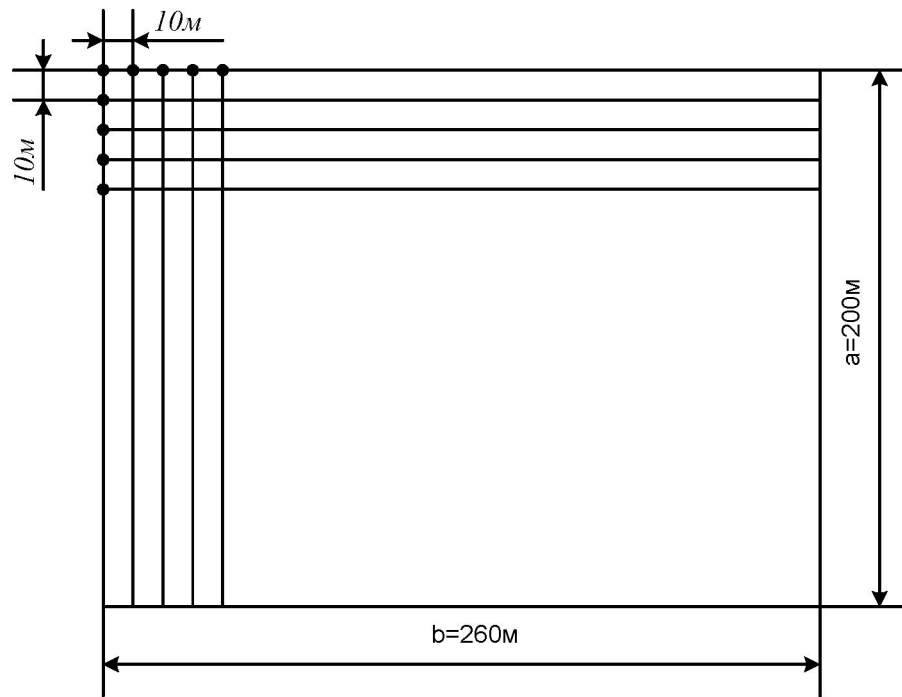


Рис. 4.2 Схема заземляючого контура

$$\sqrt{S} = \sqrt{260 \cdot 200} = 228 \text{ м}$$

З рисунка 2 обчислюємо n:

$$n = 27 \cdot 2 + 19 \cdot 2 = 92 \text{ шт.}$$

$$\frac{l}{\sqrt{S}} = \frac{10}{228} = 0.044$$

при цьому  $A = 0,407$ .

З рис.2 також знаходимо  $L = 260 \cdot 21 + 200 \cdot 27 = 10860 \text{ м}$ .

Так як  $L \gg 4\sqrt{S} = 4 \cdot 228 = 912 \text{ м}$ , то опір заземляючого контура буде обчислюватися за формулою:

$$R_{з.р} = \rho_{расч} \frac{A}{\sqrt{S}} = 145.6 \cdot \frac{0,406}{228} = 0,26 \hat{I} \hat{i}$$

Оскільки  $R_{з.р}$  менше ніж допустима величина стаціонарного опору контура заземлення  $R_{з.р} < R_з$ , то вибрані параметри заземлювача відповідають допустимим нормам.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.

### УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ. НЕВІДКЛАДНА ДОПОМОГА

Електротравми – це пошкодження органів внаслідок ураження електричним струмом. Основні причини смерті при ударі струмом – це зупинка дихання і зупинка серця. Після сильного удару струмом, якщо людина виживе, можливий розвиток ускладнень з боку серцево-судинної, центральної нервової системи, порушення зору, слуху та ін. Ступінь ураження організму людини залежить від способу проходження струму по тілу, від сили і напруги струму, часу впливу, стану здоров'я, віку, а також своєчасності надання потерпілому першої допомоги.

#### 5.1 Види впливу електричного струму на організм

Тепловий – внаслідок опору тканин організму електрична енергія перетворюється на теплову, викликаючи електричні опіки в характерних місцях входу і виходу струму. Під час дії на тканини теплова енергія змінює і руйнує їх.

Електрохімічний – призводить до згущення і «склеювання» клітин крові, переміщення іонів і зміни заряду білкових молекул, утворення пари і газів. Уражені тканини набувають «ніздрюватого» вигляду.

Біологічний – порушується робота м'язів серця, нервової та інших систем.

#### 5.2 Симптоми ураження електричним струмом та наслідки

Розглянемо основні симптоми ураження організму людини електричним струмом:

- раптове падіння людини на вулиці або неприродне відкидання від джерела струму «невидимою силою»;
- втрата свідомості, судоми;
- виражені скорочення м'язів мимовільного характеру;

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		49

- порушення неврологічних функцій – втрата пам'яті, порушення розуміння мови та зору, порушення орієнтації в просторі, зміна шкірної чутливості, реакції зіниці на світло;

- нерівний пульс і дихання або взагалі його зупинка.
- опіки на тілі з різко окресленими границями.

Наслідки удару струмом залишають слід на різних системах органів. Якщо це нервова система, то наслідки такі:

- втрата свідомості різного ступеня та тривалості;
- втрата пам'яті (ретроградна амнезія);
- судоми;
- слабкість і розбитість;
- запаморочення і головний біль;
- порушення терморегуляції;
- мелькання в очах, порушення зору.

При ураженні нервів змінюється чутливість і рухова активність в кінцівках, виникають патологічні рефлекси. Проходження струму через мозок призводить до судом та втрати свідомості, у ряді випадків ураження дихального центру веде до зупинки дихання.

Струм високої напруги призводить до глибоких порушень діяльності ЦНС, гальмуванню центру дихання і регуляції серцевої діяльності, що призводить до електричної летаргії, уявної смерті, коли здається, що дихання і серцебиття відсутні, а насправді діяльність життєво важливих систем знижена до мінімуму. Вчасно розпочаті реанімаційні заходи призводить до успішного відновлення роботи систем.

Якщо уражена серцево-судинна система, то у більшості випадків спостерігаються збої серцевої діяльності функціонального характеру:

- аритмія;
- тахікардія;
- брадикардія;

- серцеві блокади.

Гальмування або зупинка дихальної діяльності відбуваються внаслідок ураження дихального центру в головному мозку. Проходження струму через легеневу тканину призводить до удару і розриву легенів.

Дія електричного струму залишає наслідки і на органах відчуттів:

- шум в вухах ;
- розлад дотику;
- розрив барабанної перетинки;
- травма середнього вуха;
- кератит;
- катаракта.

### **5.3 Надання першої допомоги при ударі струмом та реанімація**

Всі дії повинні здійснюватися дуже швидко, без затримок, зайвих розмов і міркувань. Своєчасне надання допомоги дозволяє зберегти життя і зменшити тяжкість електротравми.

Який би не був стан потерпілого, слід негайно викликати швидку або доставити людину до медичного закладу. Смерть від удару струмом може наступити і через кілька годин. Зовнішня картина не відображає внутрішніх пошкоджень після удару електричним струмом.

Перш за все, необхідно як найшвидше припинити контакт потерпілого з провідником струму:

- наближатися до потерпілого можна в гумовому взутті або підклавши під ноги гумовий килимок, сухі дошки (суху поверхню), одягнувши на руки гумові рукавички. Дані заходи більш виправдані при напрузі більше 1000 В, але оцінити напругу в електричному колі без приладів неможливо, краще перестрахуватися, щоб не постраждати самому;

- розімкнути коло за допомогою непровідних предметів (відтягнути провід дерев'яною палицею) або висмикнути вилку приладу з розетки, відключити струм;

- відтягнути потерпілого від джерела струму за допомогою предметів, що не проводять струм, і не торкаючись тіла: дерев'яними палицями, дерев'яним стільцем, мотузкою і т.п.

Після цього необхідно провести оцінку стану дихальної та серцево-судинної систем та свідомості людини. Легенько поплескати по щоці, задати елементарні запитання. При необхідності провести реанімаційні заходи:

- перевірити наявність дихання: подивитися, чи є дихальні рухи грудної клітки, піднести до рота і носа дзеркальце/скло, яке буде пітніти при наявності дихання, або тонку нитку, яка повинна відхилитися при диханні;

- визначити пульс на сонній артерії шляхом притиснення області її проекції пальцями;

- звільнити прохідність дихальних шляхів для подальшого порятунку: долоню однієї руки покласти на лоб потерпілому, підняти підборіддя двома пальцями іншої руки, висунути вперед нижню щелепу і закинути голову назад. При підозрі на перелом хребта дані дії заборонені, при западанні язика допустимо його фіксація до щоки шпилькою.

У разі відсутності ознак життя (пульсу та дихання) проводиться первинна реанімація постраждалого.

Непрямий масаж серця – найбільш ефективний протягом 3 перших хвилин після зупинки серця. Пацієнт лежить на спині на рівній поверхні, випрямлені в ліктях руки рятувальника розташовуються посередині грудної клітки. Проводять по 100 ритмічних натискань протягом 1 хвилини на грудну клітку з амплітудою натискань 5-6 см і до повного розправлення грудної клітини після натискання.

Дихання рот в рот – по два повних видихи через кожних 30 натискань на проекцію серця. При неможливості даного способу допустимо використовувати тільки непрямий масаж серця.

Тривалість реанімаційних заходів – до приїзду швидкої або до появи ознак життя (розовіння шкіри, поява пульсу та дихання). Постраждалого в такому випадку повертають на бік і чекають швидку. Максимальна тривалість – 30 хвилин, подальші дії недоцільні за винятком тих пацієнтів, які перебувають в умовах холодних температур.

Медикаментозне лікування (проводиться реанімаційної бригадою швидкої). При безуспішності наведених вище заходів протягом 2-3 хвилин вводиться 1 мл адреналіну 0,1% (внутрішньом'язово, внутрішньовенно або внутрішньосерцево); а також кальцію хлорид 10% – 10 мл, строфантину 0,05% – 1мл, розведений у 20 мл 40% розчину глюкози.

Первинна обробка опіків полягає в накладенні сухої марлевої пов'язки.

Знеболюючі – при збереженні свідомості до приїзду швидкої людині можна дати знеболююче і заспокійливе.

Транспортування потерпілого в стаціонар здійснюється в лежачому положенні і укриту теплою ковдрою.

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		53



## Висновки

В процесі виконання бакалаврської роботи були досягнуті описані у вступі цілі і вирішені поставлені завдання.

У розділі «Розрахунок електричної мережі» знайдено потоки потужностей в мережі при нормальному режимі роботи. Проведено вибір силових трансформаторів та класу напруг на ділянках мережі. Також визначено втрати потужностей на елементах мережі, величини напруги у вузлових точках урахуванням подовжніх і поперечних складових.

У розділі «Розрахунок електричної частини станцій і підстанцій» вибрано основне устаткування підстанції: а саме для ВН – елегазовий вимикач типу SIEMENS 3AP1DT-245/EK, вимикач у колі трансформатора з НН – вакуумний вимикач типу VАН 6/10-63-80-27(2), секційний вимикач НН – вакуумний вимикач типу VАН 6/10-50-31-27, вимикач на лінії НН – вимикач VАН 6/10-50-25-27, роз'єднувачі ВН типу CHINT Electric GW22-252, електровимірювальні трансформатори струму ТЛМ/10/У3 та напруги НКФ/110/58, НОМ/10/66, трансформатори власних потреб ТМ-40/10.

Також в бакалаврській роботі було проведено вибір релейного захисту: поздовжнього диференціального та максимального струмового, розраховано грозозахист та заземлення ВРП.

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		54

## Список використаних джерел

1. Правила улаштування електроустановок, вид. сьоме, 736с. – 2017.
2. Електричні системи та мережі : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми: Сумський державний університет, 2018. – 214 с.
3. Електрична частина станцій та підстанцій : навч. посіб. / В. С. Костишин, М. Й. Федорів, Я. В. Бацала. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 243 с.
4. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
5. Правила безпечної експлуатації електроустановок: третє видання. 2013. – 152 с.
6. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
7. Програма курсу, контрольні завдання і методичні вказівки до виконання курсового проекту «Електрична частина станцій та підстанцій» / Укладачі: Д.В. Муриков, І.Л. Лебединський, П.О. Василега, С.М. Лебебка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2015. – 34 с.
8. АББ Измерительные трансформаторы — Справочник покупателя. Издание 2, 2004–01.
9. Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. для вузов / А.А.Васильев и др - 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
- 10.ГОСТ Р МЭК 60050-195–2005. Заземление и защита от поражения электрическим током. Термины и определения.
- 11.РД 34.21.122-87. - Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
- 12.ДСТУ Б В.2.5-38:2008. - Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд.
- 13.Основи охорони праці /В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, О.В. Мельников – Вид. 2-е, стереотипне. – Львів: Афіша, 2000. – 348 с.

					БР 5.6.141.907 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата		55