

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЦЕНТР ЗАОЧНОЇ, ДИСТАНЦІЙНОЇ ТА ВЕЧІРНЬОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 141– Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему: «**Аналіз режимів роботи високовольтної підстанції та електричної  
мережі**»

Виконав студент  
групи ЕТдн-61 Гл

О. О. Гапонов

Керівник роботи  
старший викладач

С.М. Лебедка

Глухів 2020

# Сумський державний університет

Факультет ЦЗДВН \_\_\_\_\_ Кафедра електроенергетики \_\_\_\_\_  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка \_\_\_\_\_

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедрою електроенергетики  
\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу бакалавра

Гапонова Олексія Олександровича

1. Тема роботи: «Аналіз режимів роботи високовольтної підстанції та електричної мережі»

затверджена наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 10.06.2020 р. \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: конфігурація мережі, довжини ліній, потужності навантажень та категорії надійності споживачів.

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

Вступ

Розрахунок електричної мережі;

Розрахунок електричної частини підстанції;

Розрахунок релейного захисту;

Охорона праці

Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

- схема заміщення електричної мережі;

- однолінійна схема первинних з'єднань підстанції.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розрахунок електричної мережі	01.04.2020 р.	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	20.04.2020 р.	
3	Релейний захист трансформатора	10.05.2020 р.	
4	Охорона праці	25.05.2020 р.	
5	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	10.06.2020 р.	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

**Бібліографічний опис:** Гапонов О.О. Аналіз режимів роботи високовольтної підстанції та електричної мережі: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / О.О. Гапонов; керівник С.М. Лебедка. – Суми: СумДУ, 2020. – 49 с.

**Ключові слова:** електрична мережа, підстанція, лінія електропередачі, трансформатор;

электрическая сеть, подстанция, линия электропередачи, трансформатор;  
electric grid, substations, transmission lines, transformer.

**Короткий огляд** – Розроблено мережу електропостачання для споживачів електричної енергії різних категорій. Спроектовано схему, розроблена однолінійна схема. Зроблено розрахунки всіх елементів мережі, перевірено розрахунком на міцність та витривалість елементів установок при повній завантаженості та аварійних режимах. Розглянуто основні питання охорони праці під час робіт зі спорудження електричної мережі.

## Зміст

Вступ	5
1. Розрахунок електричної мережі	6
2. Розрахунок електричної частини підстанції	22
3. Розрахунок релейного захисту трансформатора	40
4. Охорона праці	45
Висновки	51
Список літератури	52

					<i>БР 5.6.141.905 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Гапонов</i>				<i>Аналіз режимів роботи високовольтної підстанції та електричної мережі</i>	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Лебедка</i>						4	52
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТдн-61Гл</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Лебединський</i>							
					<i>Пояснювальна записка</i>			

## Вступ

Мета даної роботи полягає в:

- систематизації, закріпленні та поглибленні теоретичних і практичних знань із загальнотехнічних і спеціальних дисциплін за напрямом професійної підготовки;
- формуванні навичок використання отриманих знань під час вирішення конкретних практичних і науково-технічних завдань;
- набуття досвіду виконання технічної документації – пояснювальної записки і креслень – у відповідності до умов діючих стандартів;
- набуття досвіду аналізу отриманих результатів, формування висновків і публічного захисту виконаної роботи.

Основним завданням даної роботи є розрахунок електричної мережі, а саме: визначення активних, реактивних і повних потужностей кіл мережі, втрат потужностей в колах мережі, розрахунок електричної частини підстанції, розрахунок релейного захисту трансформатора.

В процесі виконання роботи зроблено розрахунок електричної системи, яка містить: джерело живлення, лінії електропередач, трансформатори, приймачі електричної енергії.

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

# 1 Розрахунок електричної мережі

Таблиця 1.1 – Дані для розрахунку

Довжина ПЛ, км				Потужність навантаження, МВА			
Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	S-1	S-2	S-3	S-4
80	55	30	40	100+j80	20+j40	20+j10	10+j10

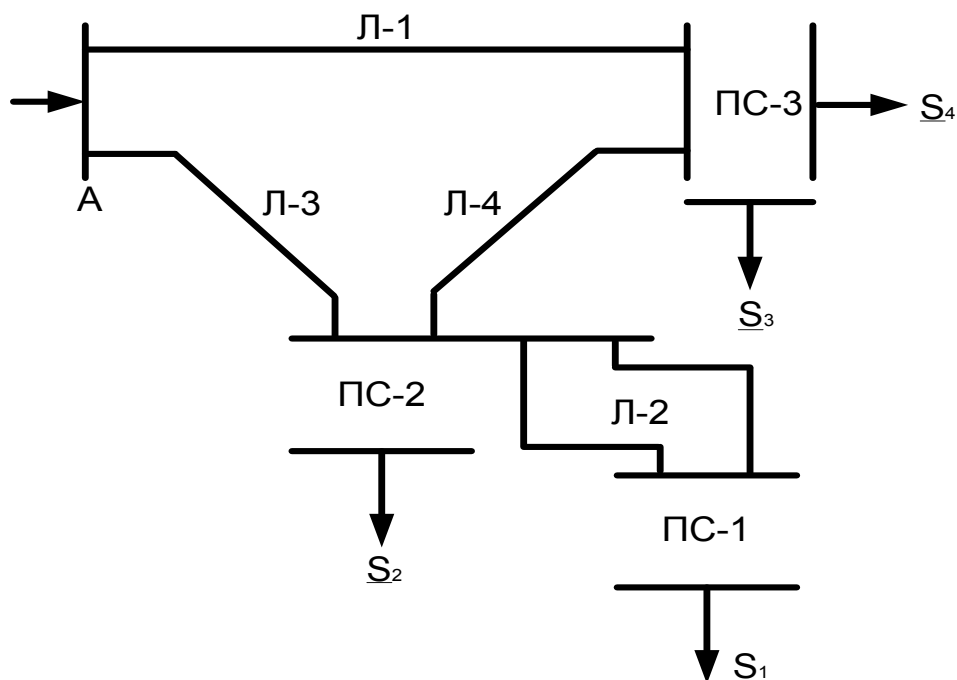


Рисунок 1.1 Вихідна схема.

Навантаження вузлів 2, 4 відносяться до другої категорії, вузол 1 до першої категорії надійності електропостачання, а вузол 3 – до третьої категорії.

## 1.1 Визначення потоків потужностей на ділянках мережі

Складаємо розрахункову схему заміщення замкнутої частини мережі.

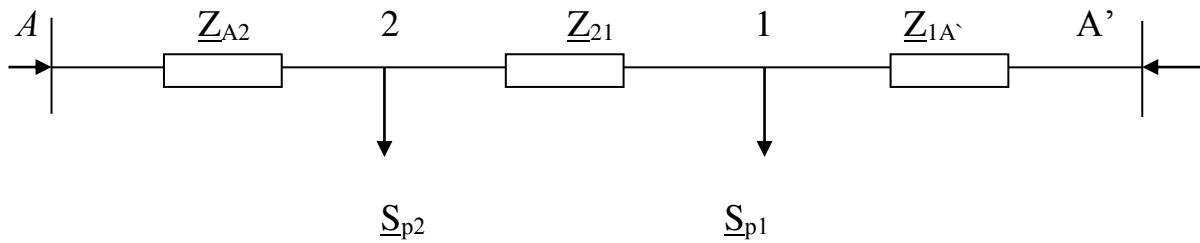


Рисунок 1.2 Схема заміщення замкнутої частини мережі

Знаходимо розрахункову потужність в точках 1 і 2.

$$\underline{S}_{1p} = \underline{S}_4 + \underline{S}_3$$

$$S_{p1} = 20 + 10 + j10 + j10 = 30 + j20 \text{ МВА.}$$

$$\underline{S}_{2p} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2$$

$$S_{p2} = 100 + 20 + j80 + j40 = 120 + j120 \text{ МВА.}$$

Визначаємо потужність в лініях A-1, A''-2 і 1-2

$$\underline{S}_{A1} = \frac{\underline{S}_{1p} \times l_{12A} + \underline{S}_{2p} \times l_{2A}}{l_{A12A}}$$

$$\underline{S}_{A1} = \frac{(30 + j20) \times 70 + (120 + j120) \times 30}{150} = 38 + j33,33 \text{ (МВА)}$$

$$\underline{S}_{A2} = \frac{\underline{S}_{2p} \times l_{21A} + \underline{S}_{1p} \times l_{1A}}{l_{A12A}}$$

$$\underline{S}_{A2} = \frac{(120 + j120) \times 120 + (30 + j20) \times 80}{150} = 112 + j106,66 \text{ (МВА)}$$



За потоком потужності  $\underline{S}_{A1}$  і навантаженням вузла 1  $\underline{S}_{p1}$  знаходимо потужність відрізка 1-2  $\underline{S}_{12}$ , МВА

$$\underline{S}_{12} = \underline{S}_{A1} - \underline{S}_{1p}$$

$$\underline{S}_{12} = 38 - 30 + j33,33 + j20 = 8 + j13,33$$

Зображуємо на рисунку 1.3 всі потоки потужності.

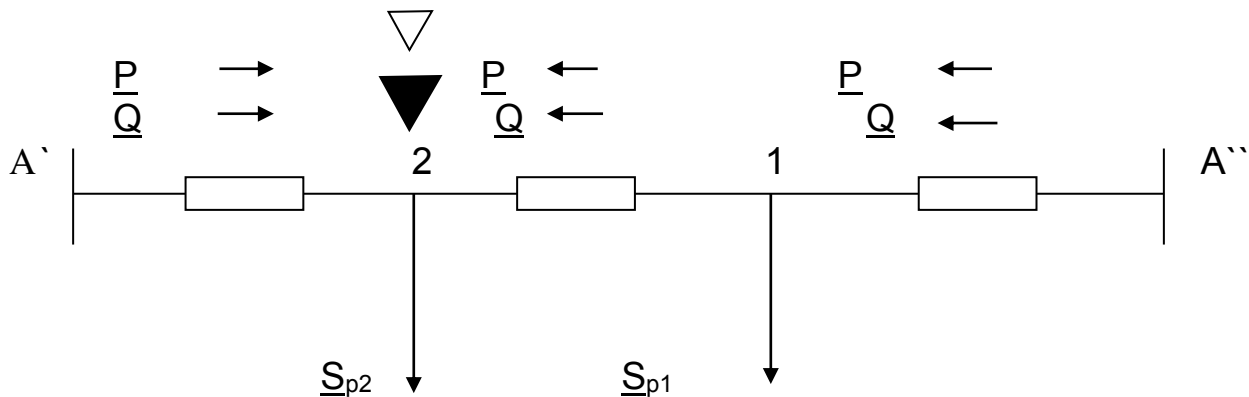


Рисунок 1.3 Схема перетоків потужності

## 1.2 Визначення напруги мережі

Визначаємо напругу мережі за формулою Іларіонова:

$$U_a = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{I_a} + \frac{2500}{P_a}}}$$

$$U_{A1} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{80} + \frac{2500}{38}}} = 117 \text{ кВ}$$

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

$$U_{A2} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{30} + \frac{2500}{112}}} = 160 \text{ кВ}$$

$$U_{12} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{40} + \frac{2500}{8}}} = 55 \text{ кВ}$$

$$U_{24} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{55} + \frac{2500}{100}}} = 171 \text{ кВ}$$

Так як для всіх ліній кільцевої мережі бажано мати однакову напругу, вибираємо 220кВ.

### 1.3 Вибір проводів

Знайдемо струми в лініях:

$$I_L^{U_H} = \frac{S_L}{\sqrt{3} \times U_H}$$

$$I_{A1}^{220} = \frac{\sqrt{38^2 + 33,33^2}}{\sqrt{3} \times 220} \times 10^3 = 132 \text{ А}$$

$$I_{2A}^{220} = \frac{\sqrt{112^2 + 106,66^2}}{\sqrt{3} \times 220} \times 10^3 = 405 \text{ А}$$

$$I_{12}^{220} = \frac{\sqrt{8^2 + 13,33^2}}{\sqrt{3} \times 220} \times 10^3 = 40,8 \text{ А}$$

При оцінці перерізу проводу за економічною густиною струму беремо для

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

напруги **220кВ** провід з перерізом **240мм<sup>2</sup>** для всіх ПЛ.

Таблиця 1.2 – Параметри проводу

Переріз проводу	Допустимий струм	Діаметр проводу	r Ом/км	220,кВ	
				x <sub>l</sub> ,Ом/км	b*10 <sup>-6</sup>
240/32	605	21,6	0,118	0,435	2,60

Таблиця 1.3 – Параметри ліній

Лінія	Номінальна на- пруга U <sub>ном</sub> ,кВ	Струм в лінії, А	Допустимий струм, А	Марка проводу
A1	220	132	605	АС-240/32
A2	220	405	605	АС-240/32
12	220	40,7	605	АС-240/32

#### 1.4 Вибір трансформаторів для підстанцій

Кількість трансформаторів на понижуючій підстанції в першу чергу визначається вимогами, поданими споживачем, щодо надійності електропостачання.

На всіх підстанціях розміщуємо по два трансформатора, так як на кожній підстанції маємо споживача I чи II категорії, що передбачає встановлення двох і більше трансформаторів.

Потужність трансформаторів знаходимо за формулою:

$$S_T = \frac{S_{max}}{1,4} \quad (1)$$

Розраховуємо максимальну потужність трансформатора на ПС-2 за формулою(1)

$$\underline{S}_{T2} = \frac{\sqrt{20^2 + 40^2}}{1,4} = 31,9 \text{ МВА}$$

З довідника вибираємо трансформатор марки ТРДН-40000/220

Знаходимо коефіцієнт завантаження трансформатора в нормальному режимі

$$k_2 = \frac{S_{ПС2}}{2 \times S_n} = \frac{\sqrt{20^2 + 40^2}}{2 \times 40} = 0,55$$

Параметри трансформатора записуємо в таблицю 1.4.

Розраховуємо потужність трансформатора на ПС-3 за формулою (1)

$$\underline{S}_{T3} = \frac{\sqrt{30^2 + 20^2}}{1,4} = 25,7 \text{ МВА}$$

З довідника вибираємо трансформатор марки ТДТН-25000/220

Знаходимо коефіцієнт завантаження трансформатора

$$k_3 = \frac{\sqrt{30^2 + 20^2}}{2 \times 25} = 0,72$$

Параметри записуємо в таблицю 1.4.

Розраховуємо потужність трансформатора на ПС-1 за формулою(1)

$$\underline{S}_{T1} = \frac{\sqrt{100^2 + 80^2}}{1,4} = 91,4 \text{ МВА}$$

Вибираємо трансформатор марки ТРДЦН-100000/220.

Коефіцієнт завантаження трансформатора в нормальному режимі.

$$k_1 = \frac{\sqrt{100^2 + 80^2}}{2 \times 100} = 0,64$$

Параметри трансформатора записуємо в таблицю 1.4.

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 1.4 - Трансформатори мережі. Каталожні дані.

ПС	Тип трансформатор	U k%			$\Delta P_k$	$\Delta P_{xx}$	$I_{kk}\%$	$\Delta Q_x$
					кВт	кВт		
1	ТРДЦН-100000/220	12			170	50	0,9	360
2	ТДН-40000/220	12			360	115	0,7	700
3	ТДТН-25000/220	BC	BH	CH	135	50	1,2	300
		12,5	20	6,5				

### 1.5 Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням трансформаторів

Лінія А-1

$$R_{A1}=0,118*80=9,44\text{Ом}$$

$$X_{A1}=0,435*80=34,8\text{Ом}$$

$$Q_{A1}/2=2,6*10^{-6}*80*220^2/2=5\text{ МВАр}$$

Лінія А-2

$$R_{A2}=3,54\text{Ом}$$

$$X_{A2}=13,05\text{ Ом}$$

$$Q_{A2}/2=1,8\text{МВАр}$$

Лінія 1-2

$$R_{12}=4,72\text{Ом}$$

$$X_{12}=17,4\text{ Ом}$$

$$Q_{12}/2=2,5\text{МВАр}$$

Лінія 2-4

$$R_{24}/2=3,245\text{ Ом}$$

$$X_{24}/2=11,96\text{Ом}$$

$$Q_{24}=6,9\text{МВАр}$$

Складаємо розрахункову схему і визначаємо її навантаження при нормальному режимі.

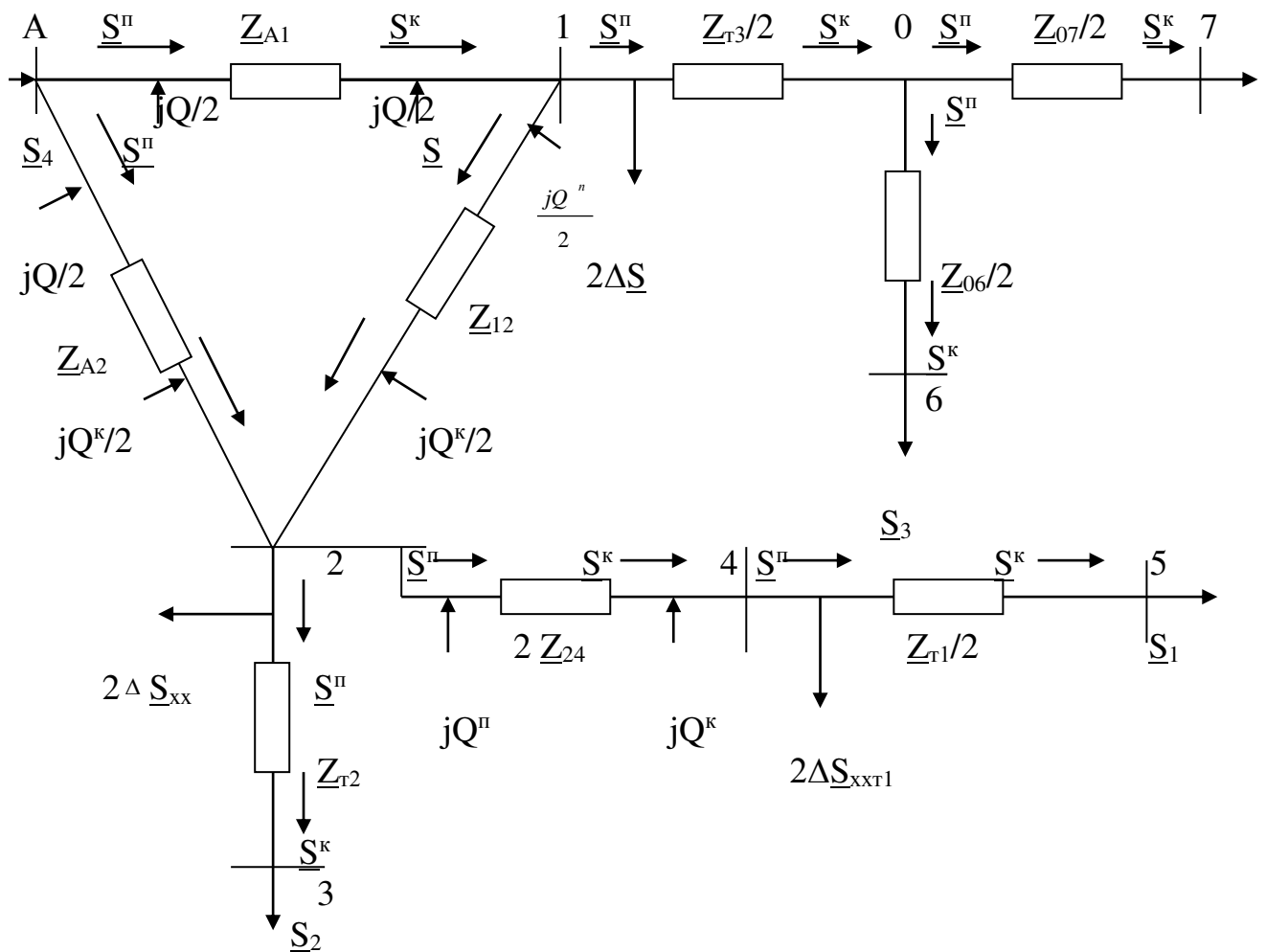


Рисунок 1.4 – Розрахункова схема мережі

Навантаження в кінці ділянки 2-3

$$\underline{S}_{23}^K = \underline{S}_2 = 20 + j40$$

Навантаження на початку ділянки 2-3

$$\underline{S}_{23}^{II} = \underline{S}_{23}^K + \Delta \underline{S}_{23} = 20 + j40 + \frac{20^2 + 40^2}{230^2} (2,81 + j79,35) = 20 + j43 \text{ МВА}$$

$$R = R_{T2} / 2 = \frac{\Delta P_K \times U_{НОМ}^2}{2 S_{ТНОМ}^2} = 2,81 \text{ Ом}$$

$$X = X_T / 2 = \frac{U_K \times U_{НОМ}^2}{2 \times 100 \times S_{НОМ}} = 79,35 \text{ Ом}$$

Навантаження в кінці ділянки 4-5

$$S_{45}^K = S_1 = 100 + j80 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{45}^{\Pi} = \underline{S}_{45}^K + 2 \Delta \underline{S}_{45} = 100 + j80 + \frac{100^2 + 80^2}{230^2} (0,95 + j31,74) = 100 + j89,84 \text{ МВА}$$

$$R = R_{T1} / 2 = \frac{360 \times 10^3 \times 230^2 \times 10^{-6}}{2 \times 100^2 \times 10^{12}} = 0,95 \text{ Ом}$$

$$X = X_{T1} = \frac{12 \times 230^2 \times 10^6}{2 \times 100 \times 100 \times 10^6} = 31,74 \text{ Ом}$$

Навантаження в кінці ділянки 2-4

$$\underline{S}_{24}^K = \underline{S}_{45}^{\Pi} + 2 \Delta \underline{S}_{T1} - jQ_{24}$$

$$\underline{S}_{24}^K = 100 + j89,84 + 2(0,115 + j0,7) - j6,9 = 100 + j82,84 \text{ МВА}$$

Навантаження на початку ділянки 2-4, (МВА)

$$\underline{S}_{24}^{\Pi} = \underline{S}_{24}^K + \Delta \underline{S}_{24}$$

$$\underline{S}_{24}^{\Pi} = 100 + j82,84 + \frac{100^2 + 82,84^2}{230^2} (3,245 + j11,96) = 101 + j86$$

Знаходимо розрахункове навантаження в точці 2 (за I законом Кірхгофа)

$$\underline{S}_{p2} = \underline{S}_{23}^{\Pi} + 2 \Delta \underline{S}_{T2} + \underline{S}_{24}^{\Pi} - jQ_{21}^K / 2 - jQ_{A2}^K$$

$$\underline{S}_{p2} = 20 + j43 + 2(0,05 + j0,36) + 101 + j86 - j2,5 - j1,8 = 121 + j125 \text{ МВА}$$

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Знайдемо активний опір трансформатора ПСЗ (Ом)

$$R_{T3} = R_1 = R_2 = R_3$$
$$R_{T3} = \frac{135 \times 230^2 \times 10^3}{2 \times 25^2 \times 10^6} = 7,71$$

Сумарні індуктивні опори

$$X_{B-C} = \frac{12,5 \times 230^2}{100 \times 25} = 264,5 \text{ Ом}$$

$$X_{B-H} = \frac{20 \times 230^2}{100 \times 25} = 423,2 \text{ Ом}$$

$$X_{C-H} = \frac{6,5 \times 230^2}{100 \times 25} = 137,5 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір кожного променя заступної схеми

$$X_1 = \frac{264 + 423 - 137,5}{2} = 275 \text{ Ом}$$

$$X_2 = \frac{264 + 137,5 - 423}{2} = 0$$

$$X_3 = \frac{423 + 137,5 - 264}{2} = 148 \text{ Ом}$$

Потужність в кінці ділянки 0-6 маємо рівну потужності навантаження споживача  $\underline{S}_3$

$$\underline{S}_{06}^K = \underline{S}_3 = 20 + j10 \text{ МВА.}$$

Знайдемо потужність на початку ділянки 0-6

$$\underline{S}_{06}^П = \underline{S}_{06}^K + \Delta \underline{S}_{06}$$

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15



$$\underline{S}_{06}^{\Pi} = 20 + j10 + \frac{20^2 + 10^2}{230^2} (5,71 + j0) = 20,05 + j10 \text{ МВА}$$

Потужність на кінці ділянки 0-7

$$\underline{S}_{07}^K = \underline{S}_4 = 10 + j10$$

Знайдемо потужність на початку ділянки 0-7

$$\underline{S}_{07}^{\Pi} = \underline{S}_{07}^K + \Delta \underline{S}_{07}$$

$$\underline{S}_{07}^{\Pi} = 10 + j10 + \frac{10^2 + 10^2}{230^2} (5,71 + j0) = 10 + j10,5 \text{ МВА}$$

Потужність в кінці ділянки 1-0 знаходимо за I законом Кірхгофа:

$$\underline{S}_{01}^K = \underline{S}_{07}^{\Pi} + \underline{S}_{06}^{\Pi}$$

$$\underline{S}_{01}^K = 10 + j10,5 + 20 + j10 = 30 + j20,5 \text{ МВА}$$

Потужність на початку ділянки 1-0

$$\underline{S}_{01}^{\Pi} = \underline{S}_{01}^K + \Delta \underline{S}_{01}$$

$$\underline{S}_{01}^{\Pi} = 30 + j20,5 + \frac{30^2 + 20,5^2}{230^2} (5,71 + j275) = 30 + j27 \text{ МВА}$$

Знаходимо розрахункову потужність в точці 1

$$\underline{S}_{p1} = \underline{S}_{01}^{\Pi} + 2\Delta \underline{S}_{T3} - jQ_{21}/2 - jQ_{A1}/2$$

$$\underline{S}_{p1} = 30 + j27 + 2(0,05 + j0,3) - j2,5 - j5 = 30 + j20 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{A1} = \frac{\underline{S}_{1p} \times l_{12A} + \underline{S}_{2p} \times l_{2A}}{l_{A12A}}$$

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

$$\underline{S}_{A1} = \frac{(30 + j20) \times 70 + (121 + j125) \times 30}{150} = 38 + j34 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{A2} = \frac{\underline{S}_{2p} \times l_{21A} + \underline{S}_{1p} \times l_{1A}}{l_{A12A}}$$

$$\underline{S}_{A2} = \frac{(121 + j125) \times 120 + (30 + j20) \times 80}{150} = 112 + j110 \text{ МВА}$$

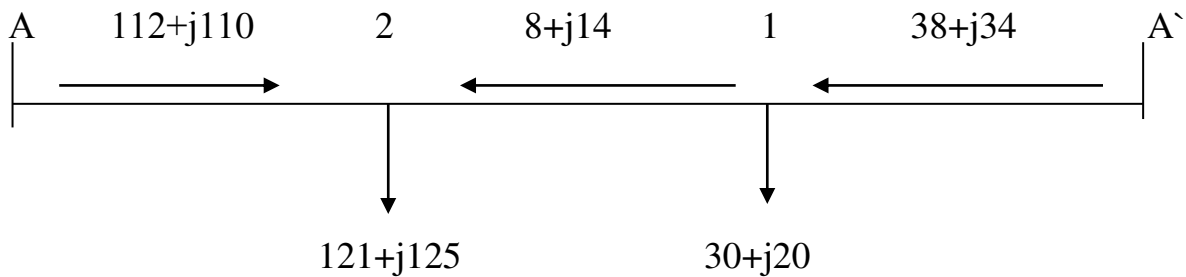


Рисунок 1.5 – Потоки потужності.

Зі схеми (рис. 1.5) бачимо, що вузол 2 є точкою потокорозподілу. Розмикаємо лінію в точці 2 й отримуємо дві розімкнуті лінії:

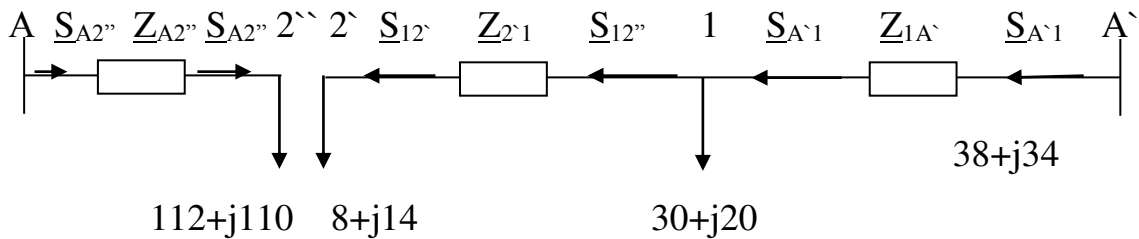


Рисунок 1.6 – Розімкнуті схеми

Знаходимо потоки потужності з урахуванням втрат.

Приймаємо потужність в кінці ділянки 1-2' рівну потужності навантаження вузла 2'.

$$S_{12}^K = S_2 = 8 + j14 \text{ МВА}$$

Потужність на початку ділянки 1-2'

$$S_{12}^{\Pi} = S_{12}^K + \Delta S_{12}$$

$$S_{12}^{\Pi} = 8 + j14 + \frac{8^2 + 14^2}{230^2} (4,72 + j17,4) = 8,02 + j14,08 \text{ МВА}$$

Знайдемо потужність в кінці ділянки А'-1 за I законом Кірхгофа

$$\underline{S}_{A'1}^K = \underline{S}_{12}^{\Pi} + \underline{S}_{p1}$$

$$\underline{S}_{A'1}^K = 8,02 + j14,08 + 30 + j20 = 38,02 + j34,08 \text{ МВА}$$

Потужність на початку ділянки А'-1

$$\underline{S}_{A'1}^K = \underline{S}_{12}^{\Pi} + \Delta \underline{S}_{A'1}$$

$$\underline{S}_{A'1}^K = 38,02 + j34,08 + \frac{38,02^2 + 34,08^2}{230^2} (9,44 + j34,8) = 38,4 + j35,7 \text{ МВА}$$

Потужність на початку ділянки А-2''

$$\underline{S}_{A2''}^{\Pi} = \underline{S}_{A2''}^K + \Delta \underline{S}_{A2''}$$

$$\underline{S}_{A2''}^{\Pi} = 112 + j110 + \frac{112^2 + 110^2}{230^2} (3,54 + j13,05) = 113 + j116 \text{ МВА}$$

## 1.6 Визначення напруг у вузлах мережі

Знайдемо напругу вузла 1. Розрахунок проводимо без урахування поперечної складової

$$U_1 = U_A - \frac{P_{A*1}^{\Pi} R_{A*1} + Q_{A*1}^{\Pi} X_{A*1}}{U_A} = 230 - \frac{38,4 \times 9,44 + 35,7 \times 34,8}{230} = 223 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу 4-го споживача:

$$U_7 = \frac{U_1 \times U_{номПН}}{U_{ном}} = \frac{223 \times 11}{230} = 10,6 \text{ кВ.}$$

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Напруга зависока. Знижуємо її до нормальної за допомогою РПН. Визначаємо кількість віток (ступенів) РПН:

$$n = \frac{\frac{U_1 \times U_{номНН}}{U_{НН}} - U_1}{\frac{\delta}{100} \times U_1} = \frac{\frac{223 \times 11}{10} - 223}{\frac{1,5}{100} \times 223} = 6,6$$

Визначаємо напругу одного ступеня РПН

$$U_{СТ} = \frac{\delta}{100} U = \frac{1,5}{100} \times 223 = 3,345 \text{ кВ.}$$

Беремо 4 ступеня

$$U_{НН} = \frac{U_1 \times U_{р\gamma НН}}{U_1 + n U_{СТ}} = \frac{223 \times 10,6}{223 + 4 \times 3,345} = 10 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу у 3 споживача

$$U_3 = \frac{U_1 \times U_{номВН}}{U_{ном}} = \frac{223 \times 38,5}{230} = 37,32 \text{ кВ.}$$

Напруга зависока. Знижуємо її до нормальної напруги за допомогою РПН. Беремо 4 ступені.

$$U_{НН} = \frac{U_1 \times U_{р\gamma НН}}{U_1 + n U_{СТ}} = \frac{223 \times 35,2}{223 + 4 \times 3,345} = 35,2$$

Напруга вузла 2'

$$U_{2'} = 223 - \frac{8,02 \times 4,72 + 14,08 \times 17,4}{223} = 222 \text{ кВ}$$

Напруга вузла 2''

$$U_{2''} = 230 - \frac{113,6 \times 3,54 + 116 \times 13,05}{230} = 222 \text{ кВ}$$

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Визначимо напругу у 2 споживача

$$U_3 = \frac{U_2 \times U_{номНН}}{U_{ном}} = \frac{222 \times 11}{230} = 10,61 \text{ кВ.}$$

Напруга висока. Знижуємо її до нормальної напруги з допомогою РПН. Визначаємо кількість віток (ступенів) РПН.

$$n = \frac{\frac{U_2 \times U}{U_{НН}} - U_2}{\frac{\delta}{100} \times U_2} = \frac{\frac{222 \times 11}{10} - 222}{\frac{1,5}{100} \times 222} = 6,6$$

Визначимо напругу однієї ступені РПН

$$U_{СТ} = \frac{\delta}{100} U = \frac{1,5}{100} \times 222 = 3,33 \text{ кВ}$$

Беремо 4 ступені

$$U_{НН} = \frac{U_2 \times U_{рзНН}}{U_2 + n U_{СТ}} = \frac{222 \times 10,61}{222 + 4 \times 3,33} = 10,0 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу 4 вузла

$$U_4 = U_2 - \frac{P_{24}^n R_{24} + Q_{24}^n X_{24}}{U_2} = 222 - \frac{101 \times 3,245 + 86 \times 11,96}{222} = 215 \text{ кВ.}$$

Визначимо напругу 1 споживача

$$U_5 = \frac{U_4 \times U_{номНН}}{U_{ном}} = \frac{215 \times 11}{230} = 10,28 \text{ кВ.}$$

Напруга висока. Знижуємо її до нормальної за допомогою РПН. Визначаємо кількість віток (ступенів) РПН.

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$$n = \frac{\frac{U_5 \times U_{номНН}}{U_{НН}} - U_5}{\frac{\delta}{100} \times U_5} = \frac{\frac{215 \times 11}{10} - 215}{\frac{1,5}{100} \times 215} = 6,6$$

Визначаємо напругу одного ступеня РПН

$$U_{СТ} = \frac{\delta}{100} U = \frac{1,5}{100} \times 215 = 3,23 \text{ кВ.}$$

Беремо 7 ступенів

$$U_{НН} = \frac{U_4 \times U_{р5НН}}{U_4 + n U_{СТ}} = \frac{215 \times 10,28}{215 + 7 \times 3,23} = 9,98 \text{ кВ.}$$

З розрахунків бачимо: напруга, що підходить до споживачів, в межах відхилення  $\pm 1,5\%$ .

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

## 2 Розрахунок електричної частини підстанції

### 2.1 Вибір потужності силових трансформаторів

Для підстанції були обрані два трансформатори потужністю 40 МВА типу ТДН. Задана еквівалентна температура зимового періоду  $t_{\text{екв}} = -20^{\circ}\text{C}$  та навантаження споживачів протягом доби (табл. 2.1).

$$S_{\text{ном.наб}} = 51.58 \text{ МВА}$$

Табл. 1. – Вихідні дані для проектування

$S_{\text{ном.наб}}$ , МВА	$X_C$ , Ом	$X_{L1}$ , Ом	$X_{L2}$ , Ом	$S_{\text{кз.с}}$ , МВА	$t$ , $^{\circ}\text{C}$
51.58	10	12	14	2500	-20

Години	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$S_{\text{наб}}$ , %	60	30	60	80	90	70	80	105	95	110	120	108
$S_{\text{наб}}$ , МВА	30.9	15.5	30.9	41.3	46.4	36.1	41.3	54.2	49	56.7	61.9	55.7

За даними табл. 2.1 побудуємо графік навантаження підстанції:

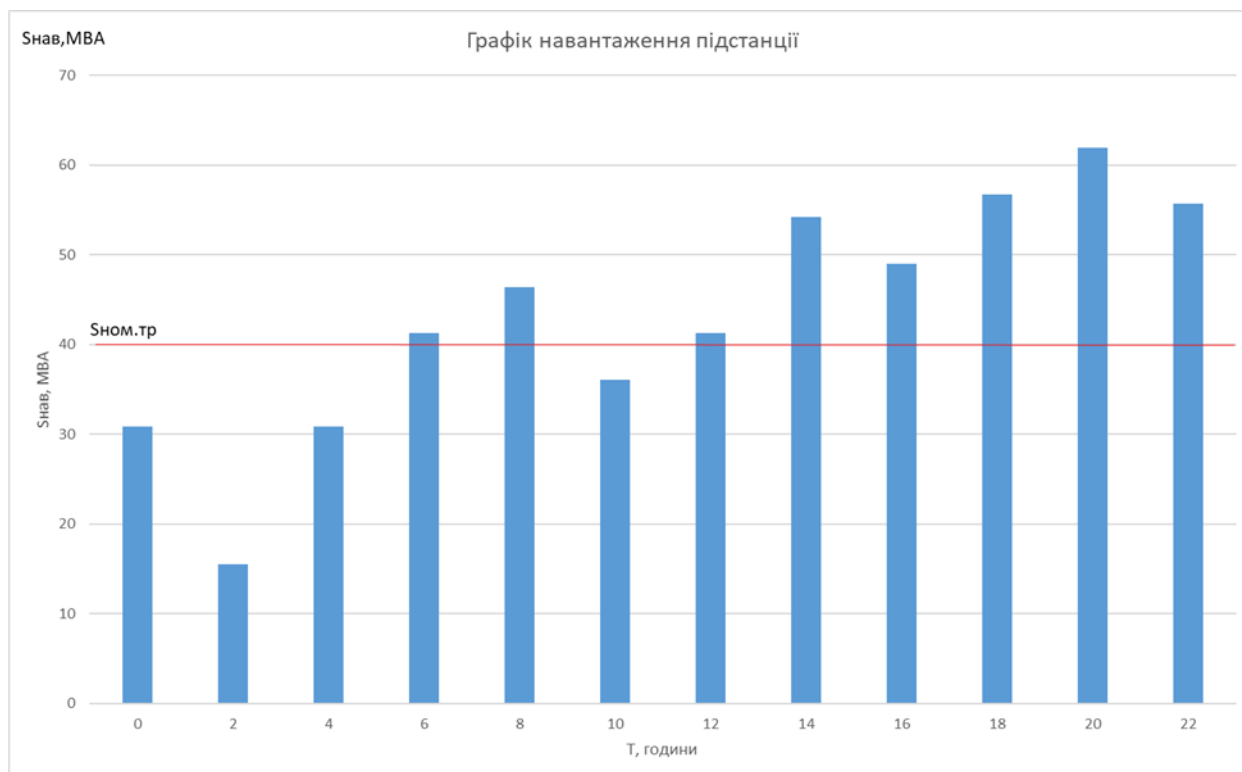


Рис. 2.1 – Графік навантаження підстанції.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

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

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

$$K_1 = \frac{1}{40} \times \sqrt{\frac{30.9^2 \times 4 + 15.5^2 \times 2 + 36.1^2 \times 2}{4 + 2 + 2}}$$

$$K_1 = 0.73$$

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:

$$K'_2 = \frac{1}{40} \times \sqrt{\frac{41.3^2 \times 4 + 46.4^2 \times 2 + 54.2^2 \times 2 + 49^2 \times 2 + 56.7^2 \times 2 + 61.9^2 \times 2 + 55.7^2 \times 2}{4 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2}} = 1.28$$

Максимальне перевантаження трансформатора складає:

$$K_{МАХ} = \frac{S_{МАХ}}{S_{НОМ.ТР}} = \frac{61.9}{40} = 1.548$$

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

Оскільки  $K'_2 < 0.9K_{МАХ} = 0.9 \times 1.548 = 1.393$  то остаточно беремо  $K_2 = 1.393$

Тривалість систематичних навантажень складає  $h$ , де:

$$h = \frac{K_2'^2 \times 16}{0.9K_{МАХ}^2} = \frac{1.28^2 \times 16}{1.393^2} = 10.9 \approx 11 \text{ годин}$$

За ГОСТом 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду і часу перевантаження 17 годин, знаходимо значення перевантаження допустиме  $K_{2ГОСТ}$ . Порівнюємо значення  $K_2 = 1.393$  і  $K_{2ГОСТ} = 1.5$ . Значення  $K_{2ГОСТ}$  більше, ніж  $K_2$ , значить трансформатор обраний правильно.



## 2.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору устаткування на стороні 220 кВ і 10 кВ. Підстанція отримує живлення за двома прохідними лініями: схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис 2.1.

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 220 кВ центра живлення складає  $S_{кз.с} = 2500$  МВА

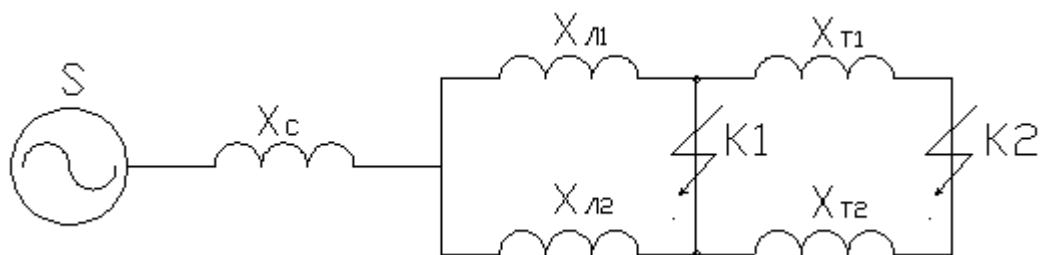


Рис. 2.1 –Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Періодична складова струму КЗ у точці  $K_1$ :

$$I_{K1} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot \left( X_c + \frac{X_{Л1} \cdot X_{Л2}}{X_{Л1} + X_{Л2}} \right)} = \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \left( 10 + \frac{12 \cdot 14}{12 + 14} \right)} = 7.715 \text{ кА}$$

Періодична складова струму КЗ у точці  $K_2$  приведена до напруги вищої сторони:

$$I_{K2}^B = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot \left( X_c + \frac{X_{Л1} \cdot X_{Л2}}{X_{Л1} + X_{Л2}} + \frac{X_T}{2} \right)} = \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \left( 10 + \frac{12 \cdot 14}{12 + 14} + \frac{158.7}{2} \right)} = 1.325 \text{ кА}$$

Реальний струм КЗ у точці  $K_2$ :

$$I_{K2} = I_{K2}^B \cdot \frac{220}{10} = 29.15 \text{ кА}$$

Ударний струм:

- у точці  $K_1$  —  $I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot 7.715 = 17.57 \text{ кА}$
- у точці  $K_2$  —  $I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot 29.15 = 66.37 \text{ кА}$

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

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

$$I_{нт1} = I_{K1} = 7.715 \text{ кА}$$

$$I_{нт2} = I_{K2} = 29.15 \text{ кА}$$

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{Kn} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$$

де  $T_a$  – постійна часу загасання аперіодичної складової.

Аперіодична складова СКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача:

- для К1 —  $i_a = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 7.715 \cdot e^{-\frac{0.06}{0.025}} = 0.989 \text{ кА}$

- для К2 —  $i_a = \sqrt{2} \cdot I_{K2} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 29.15 \cdot e^{-\frac{0.1}{0.05}} = 2.809 \text{ кА}$

Інтеграл Джоуля:

- для К1 —  $B_R = I_{K1}^2 \cdot (t + T_a) = 7.715^2 \cdot (0.06 + 0.025) = 5.059 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

- для К2 —  $B_R = I_{K2}^2 \cdot (t + T_a) = 29.15^2 \cdot (0.1 + 0.05) = 127.458 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця 2.2. 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 220 кВ ( $K_1$ )	7.715	17.57	7.715	0.989	5.059
Шини 10 кВ ( $K_2$ )	29.15	66.37	29.15	2.809	127.458

### 2.3. Вибір високовольтних електричних апаратів РП

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:

$$I_{max}^{ВН} = \frac{1.4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{1.4 \cdot 40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 0.146 \text{ кА}$$

Струм у колі ввідних вимикачів на боці 10 кВ:

$$I_{max}^{НН} = \frac{1.4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}} = \frac{1.4 \cdot 40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3.233 \text{ кА}$$

Струм у колі секційного вимикача:

$$I_{max}^{СВ} = \frac{0.7 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}} = \frac{0.7 \cdot 40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1.616 \text{ кА}$$

Струм у колі лінії 10 кВ:

$$I_{max}^{ПЛ} = \frac{1.4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН} \cdot n} = \frac{1.4 \cdot 40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10} = 0.323 \text{ кА}$$

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

Вибираємо вимикачі на боці напруги 220 кВ і 10 кВ.

Вибір вимикачів наведений у таблиці 2.3–2.7. Каталожні параметри вимикачів узяті із довідника [6].

Таблиця 2.3 – Вибір вимикача на боці 220 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	220 кВ	220 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	146 А	1250 А
$I_{по} \leq I_{прСКВ}$	7.715 кА	40 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	17.57 кА	125 кА
$I_{н\tau} \leq I_{ОткНом}$	7.715 кА	40 кА
$I_{a\tau} \leq I_{аном}$	0.989 кА	—
$B_K \leq I_T^2 t_r$	5.059 кА <sup>2</sup> ·с	4800 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо елегазовий вимикач типу **ЯЕ-220Л-11(21)У4**.

Таблиця 2.4 – Вибір вимикача у колі трансформатора на боці 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	3233 А	4000 А
$I_{по} \leq I_{прСКВ}$	<b>29.15</b> кА	45 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	<b>66.37</b> кА	120 кА
$I_{н\tau} \leq I_{ОткНом}$	<b>29.15</b> кА	45 кА
$I_{a\tau} \leq I_{аном}$	<b>2.809</b> кА	—
$B_K \leq I_T^2 t_r$	<b>127.458</b> кА <sup>2</sup> ·с	8100 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо маломасляний вимикач типу **МГГ-10-4000-45У3**.

Таблиця 2.5 – Вибір секційного вимикача на боці 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	1616 А	2000 А
$I_{по} \leq I_{прСКВ}$	<b>29.15</b> кА	31.5 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	<b>66.37</b> кА	80 кА
$I_{н\tau} \leq I_{ОткНом}$	<b>29.15</b> кА	31.5 кА
$I_{a\tau} \leq I_{аном}$	<b>2.809</b> кА	—
$B_K \leq I_T^2 t_r$	<b>127.458</b> кА <sup>2</sup> ·с	2976 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо секційний вакуумний вимикач типу **ВВЭ-10-31.5/2000У3**.

Таблиця 2.6 – Вибір вимикачів на лініях 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	323 А	1600 А
$I_{по} \leq I_{прСКВ}$	<b>29.15</b> кА	31.5 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	<b>66.37</b> кА	80 кА
$I_{н\tau} \leq I_{ОткНом}$	<b>29.15</b> кА	31.5 кА
$I_{a\tau} \leq I_{a ном}$	<b>2.809</b> кА	—
$B_K \leq I_T^2 t_r$	<b>127.458</b> кА <sup>2</sup> ·с	2976 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо вакуумний вимикач **ВВЭ-10-31.5/1600У3**.

Таблиця 2.7 – Вибір роз'єднувачів на боці 220 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	220 кВ	220 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	146 А	630 А
$i_{yo} \leq I_{прСКВ}$	17.57 кА	100 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	5.059 кА <sup>2</sup> ·с	4800 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо роз'єднувачі типу **РНДЗ-2-220/630 Т1**.

## 2.4 Вибір ошиновки розподільних пристроїв

В РП напругою 220 кВ застосовують збірні шини, які виконуються сталееалюмінієвими проводами, при цьому перетин повинен бути не менше **240 мм<sup>2</sup>** (за умовою коронування АС-240/32). Вибираються ці шини за наступними умовами:

- перевірка за допустимим струмом  $I_{max} \leq I_{доп}$   
**146 А ≤ 605 А**, умова виконується.
- перевірка на термічну стійкість при КЗ не виконується, оскільки шини виконані голими проводами на відкритому повітрі;
- перевірка шин на електродинамічну стійкість при КЗ не проводимо, так як виконується умова:  $I_{КЗ}^{ВН} = 7.715 < 20$  кА

- перевірка за умовами коронування: для напруги 220 кВ за умовами корони повинні використовуватися одиночні проводи марки АС-600/72, або 3×АС-150/24.

Остаточно вибираємо до встановлення провід 3×АС-150/24,  $I_{\text{доп}} = 1335 \text{ А}$ .

Струмопровідні частини від виводів 220 кВ блочного трансформатора до збірних шин виконуються гнучкими проводами. Їх переріз вибирається за економічною густиною струму. При  $T_{\text{макс}} = 4800 \text{ годин}$ ,  $j_e = 1.1 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$

$$\text{Економічний переріз: } q_e = \frac{I_{\text{max}}}{j_e} = \frac{146}{1.1} = 133 \text{ мм}^2$$

Приймаємо один провід в фазі АС-150 ( $q = 147 \text{ мм}^2$ ,  $d = 17.5 \text{ мм}$ ,  $I_{\text{доп}} = 450 \text{ А}$ ).

Перевіряємо проводи за допустимим струмом:

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{доп}}$$

$$146 \leq 450 \text{ А}, \text{ отже умова виконується.}$$

Перевірка проводів на термічну стійкість не проводиться, оскільки струмопровідні елементи виконані неізолюваними проводами на відкритому повітрі.

Перевірка за умовами коронування також не виконується, оскільки провід АС-150/24 задовольняє умови коронування.

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.

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

$$I_{\text{роб.нб}} = 3233 \text{ А}$$

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Вибираємо алюмінієві шини коробчастого перерізу  $q = 2 \times 1370 \text{ мм}^2$ . Для цих шин  $I_{\text{доп.ном}} = 4640 \text{ А}$ . Розрахуємо  $I_{\text{доп}}$ , при температурі навколишнього середовища  $t_{\text{екв}} = -20^\circ\text{С}$ :

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.ном}} \sqrt{\frac{v_{\text{доп}} - v_{\text{о.ф}}}{v_{\text{доп}} - v_{\text{о.н}}}} = 4640 \sqrt{\frac{70 - (-20)}{70 - 25}} = 6562 \text{ А}$$

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

- перевірка на термічну стійкість при КЗ

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

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{127.458}}{90 \cdot 10^{-3}} = 125.44 \text{ мм}^2$$

$$125.44 \leq 2 \times 1370$$

- перевірка на електродинамічну стійкість

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

$$f_0 = \frac{173.2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}}$$

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

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

$$f_0 = \frac{173.2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}} = \frac{173.2}{2^2} \sqrt{\frac{625}{2 \times 13.7}} = 206.5 \text{ Гц}$$

Оскільки  $f_0 > 200$ , 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;

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист 30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$W_{\phi}$  – момент опору перерізу для двох зрощених шин (в нашому випадку  $W_{\phi} = W_{y_0-y_0} = 100 \text{ см}^3$ )

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{(66.37 \cdot 10^3)^2 \cdot 2^2}{100 \cdot 0.8} = 3.81 \text{ МПа}$$

Сила взаємодії між швелерами:

$$f_c = 0.5 \cdot \frac{i_{y2}^2}{h} \cdot 10^{-7}$$

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

$$f_c = 0.5 \cdot \frac{66.37^2 \cdot 10^6}{0.125} \cdot 10^{-7} = 1762 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

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;  $l_{\Pi} \leq l_{\Pi, \max}$

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

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

$$l_{\Pi, \max} = \sqrt{\frac{12 \cdot (82.3 - 3.81) \cdot 9.5}{1762}} = 2.25 \text{ м}$$

$$\sigma_c = \frac{1762 \cdot 2^2}{12 \cdot 9.5} = 61.82 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{розр}} = 61.82 + 3.81 = 65.63 \text{ МПа} \leq \sigma_{\text{доп}} = 82.3 \text{ МПа}$$

Отже, умова механічної міцності коробчастої шини виконується.

## 2.5 Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги

У колі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюється амперметр, вольтметр, ватметр, лічильники активної і реактивної енергії, на шинах 220 кВ – вольтметр із перемикачем для виміру трьох міжфазних напруг, на секційному вимикачі 10 кВ – амперметр, на лініях, що відходять, 10 кВ – амперметр,

										Лист
										31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



лічильники активної і реактивної енергій. Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму наведений у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Вторинне навантаження трансформаторів струму

Прилад	Клас	Навантаження по фазах		
		А	В	С
Амперметр	1	0,5	0,5	0,5
Ватметр	1,5	0,5	-	0,5
Варметр	1,5	0,5	-	0,5
Лічильник активної енергії	1	2,5	-	2,5
Лічильник реактивної енергії	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
Сумарне навантаження струму в колі відхідної лінії		0,5	0,5	0,5

Вибір вимірювальних трансформаторів наведений у таблицях 2.9–2.14.

Таблиця 2.9 – Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на боці вищої напруги.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	220 кВ	220 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	146 А	300 А
$i_y \leq I_{прСКВ}$	17.57 кА	50 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	5.059 кА <sup>2</sup> ·с	1200 кА <sup>2</sup> ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	0.87 Ом	1.2 Ом

Вибираємо трансформатор струму **ТФЗМ 220-У1**.

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{втор}}^2} = \frac{0.5 \text{ В} \cdot \text{А}}{5^2 \text{ А}^2} = 0.02 \text{ Ом}$$

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:  $Z_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{I_{\text{втор}}^2} = \frac{30}{5^2} = 1.2$  – номінальний опір навантаження, Ом;

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

$Z_{\text{к}}$  – опір контактів, Ом.

$$Z_{\text{пр}} = 1.2 - 0.02 - 0.05 = 1.13 \text{ Ом}$$

Перетин жил при довжині кабелю  $l = 100$  м:

$$q = \rho \cdot \frac{l}{Z_{\text{пр}}} = \frac{0.0175 \cdot 100}{1.13} = 1.55 \text{ мм}^2$$

де:  $\rho$  – питомий опір міді,  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$ ,  $q$  – перетин жил,  $\text{мм}^2$ .

Вибираємо переріз з'єднувальних проводів рівний  $2.5 \text{ мм}^2$  за умовою механічної міцності.

$$Z_{\text{пр}} = \rho \cdot \frac{l}{q} = \frac{0.0175 \cdot 100}{2.5} = 0.7 \text{ Ом}$$

Загальний опір струмового кола:

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} = 0.7 + 0.02 + 0.05 = 0.87 \text{ Ом}$$

що менше ніж  $1.2$  Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності  $0.5$ , отже трансформатор струму **ТФЗМ 220-У1** відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.10 – Вибір трансформатора струму у колі силового трансформатора на боці нижчої напруги.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	3233 А	4000 А
$i_y \leq i_{\text{дин}}$	<b>66.37</b> кА	140 кА
$B_k \leq I_T^2 t_r$	<b>127.458</b> кА <sup>2</sup> ·с	58800 кА <sup>2</sup> ·с
$Z_n \leq Z_{n.\text{ном}}$	0.797 Ом	0.8 Ом

Вибираємо трансформатор **ТЛШ-10-1**.

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{втор}}^2} = \frac{6.5 \text{ В} \cdot \text{А}}{5^2 \text{ А}^2} = 0.26 \text{ Ом}$$

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:  $Z_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{I_{\text{втор}}^2} = \frac{20}{5^2} = 0.8$  – номінальний опір навантаження, Ом;

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

$Z_{\text{К}}$  – опір контактів, Ом.

$$Z_{\text{пр}} = 0.8 - 0.26 - 0.1 = 0.44 \text{ Ом}$$

Перетин жил при довжині кабелю  $l = 100$  м:

$$q = \rho \cdot \frac{l}{Z_{\text{пр}}} = \frac{0.0175 \cdot 100}{0.44} = 3.97 \text{ мм}^2$$

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

$q$  – перетин жил,  $\text{мм}^2$ .

Вибираємо переріз з'єднувальних проводів рівний  $4 \text{ мм}^2$  за умовою механічної міцності.

$$Z_{\text{пр}} = \rho \cdot \frac{l}{q} = \frac{0.0175 \cdot 100}{4} = 0.437 \text{ Ом}$$

Загальний опір струмового кола:

$$Z_{\text{Н}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{прил}} + Z_{\text{К}} = 0.437 + 0.26 + 0.1 = 0.797 \text{ Ом}$$

що менше ніж  $0.8$  Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності  $0.5$ , отже трансформатор струму **ТЛШ-10-1** відповідає умовам вибору.

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Таблиця 2.11 – Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	323 А	600 А
$i_y \leq i_{дин}$	66.37 кА	100 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	127.458 кА <sup>2</sup> ·с	1587кА <sup>2</sup> ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	0.362 Ом	0.4 Ом

Вибираємо трансформатор **ТЛМ10-У3**.

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{прил} = \frac{S_{прил}}{I_{втор}^2} = \frac{0.5 \text{ В} \cdot \text{А}}{5^2 \text{ А}^2} = 0.02 \text{ Ом}$$

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

$$Z_{пр} = Z_{ном} - Z_{прил} - Z_K$$

де:  $Z_{ном} = \frac{S_{ном}}{I_{втор}^2} = \frac{10}{5^2} = 0.4$  – номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{прил}$  – опір приладів, Ом;

$Z_K$  – опір контактів, Ом.

$$Z_{пр} = 0.4 - 0.02 - 0.05 = 0.33 \text{ Ом}$$

Перетин жил при довжині кабелю  $l = 100$  м:

$$q = \rho \cdot \frac{l}{Z_{пр}} = \frac{0.0175 \cdot 100}{0.33} = 5.3 \text{ мм}^2$$

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

$q$  – перетин жил,  $\text{мм}^2$ .

Вибираємо переріз з'єднувальних проводів рівний  $6 \text{ мм}^2$  за умовою механічної міцності.

$$Z_{пр} = \rho \cdot \frac{l}{q} = \frac{0.0175 \cdot 100}{6} = 0.292 \text{ Ом}$$

Загальний опір струмового кола:

$$Z_H = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{прил}} + Z_K = 0.292 + 0.02 + 0.05 = 0.362 \text{ Ом}$$

що менше ніж 0.4 Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 0.5, отже трансформатор струму **ТЛМ10-У3** відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.12 – Вибір трансформатора струму в колі секційного вимикача

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	1616 А	2000 А
$i_y \leq i_{\text{оин}}$	<b>66.37</b> кА	81 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	<b>127.458</b> кА <sup>2</sup> ·с	2976 кА <sup>2</sup> ·с
$Z_H \leq Z_{H \cdot \text{ном}}$	0.77 Ом	0.8 Ом

Вибираємо трансформатор **ТЛШ-10-У3**.

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{втор}}^2} = \frac{0.5 \text{ В} \cdot \text{А}}{5^2 \text{ А}^2} = 0.02 \text{ Ом}$$

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

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_K$$

де:  $Z_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{I_{\text{втор}}^2} = \frac{20}{5^2} = 0.8$  – номінальний опір навантаження, Ом;

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

$Z_K$  – опір контактів, Ом.

$$Z_{\text{пр}} = 0.8 - 0.02 - 0.05 = 0.73 \text{ Ом}$$

Перетин жил при довжині кабелю  $l = 100$  м:

$$q = \rho \cdot \frac{l}{Z_{\text{пр}}} = \frac{0.0175 \cdot 100}{0.73} = 2.4 \text{ мм}^2$$

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

$q$  – перетин жил, мм<sup>2</sup>.

Вибираємо переріз з'єднувальних проводів рівний  $2.5 \text{ мм}^2$  за умовою механічної міцності.

$$Z_{\text{пр}} = \rho \cdot \frac{l}{q} = \frac{0.0175 \cdot 100}{2.5} = 0.7 \text{ Ом}$$

Загальний опір струмового кола:

$$Z_{\text{Н}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{прил}} + Z_{\text{К}} = 0.7 + 0.02 + 0.05 = 0.77 \text{ Ом}$$

що менше ніж 0.8 Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 0.5, отже трансформатор струму **ТЛШ10-У3** відповідає умовам вибору.

Обираємо трансформатори напруги за заданими значеннями напруги та за потужністю.

На боці високої напруги (220 кВ) обираємо трансформатори **НКФ-220-58У1**, на боці 10 кВ – **НОМ-10-66У2**, використовуючи дані із таблиць наведених у довідниках [3].

Таблиця 2.13 – Трансформатор напруги 220 кВ

Тип	Номинальна напруга обмоток			Номинальна потужність, В·А, в класі точності				Максимальна потужність, В·А
	Первинної, кВ	Основної вторинної, В	Додаткової, В	0,2	0,5	1	3	
НКФ-220-58	$220/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100	-	400	600	1200	2000

Таблиця 2.14 – Трансформатор напруги 10 кВ

Тип	Номинальна напруга обмоток			Номинальна потужність, В·А, в класі точності				Максимальна потужність, В·А
	Первинної, кВ	Основної вторинної, В	Додаткової, 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 могут 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. 2.15.

Таблиця 2.15 – Розрахунок потужності приймачів власних потреб

Електроприймачі	Встановлена потужність		Коефіцієнт попиту	cos φ	Навантаження
	одиниці, кВт*к-сть	Всього, кВт			S, кВА
Охолодження ТРДН-40000/220	2*3	6	0,82	0,86	5,72
Підігрів вимикачів на напрузі 220 кВ	5*3,6	18	1	1	18
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					33,97

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

$$S_{ТСН} \geq S_{СН},$$

де  $S_{ТСН}$  – потужність трансформатора власних потреб, кВА;

$S_{СН}$  – потужність споживачів власних потреб, кВА.

Ремонтне навантаження на підстанції прийнято брати таким, що дорівнює  $S_{ТСНР} = 20$  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:

$$S_{TCH} = \frac{S_{CH} + S_{TCHP}}{1.2} = \frac{33.97 + 20}{1.2} = 44.9 \text{ кВА}$$

Остаточно для живлення споживачів власних потреб беремо два трансформатора ТМ-40/10/0,4.

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39



### 3 Розрахунок релейного захисту трансформатора

Таблиця 3.1 Каталожні дані трансформатора ТРДН-40000/220

S <sub>н</sub> , МВА	U <sub>НОМ</sub> , кВ	U <sub>квс</sub> , %	U <sub>квн</sub> , %	U <sub>кчн</sub> , %	X <sub>сmax</sub> , Ом	X <sub>с min</sub> , Ом
40	230 ± 12%	12,5	20	6,5	12	18

Розрахунок опору обмоток трансформатора

$$U_{кв} = 0,5(U_{квс} + U_{квн} - U_{кчн}) = 0,5(12,5 + 20 - 6,5) = 13 \%$$

$$U_{кч} = 0,5(U_{квс} + U_{кчн} - U_{квн}) = 0,5(12,5 + 6,5 - 20) = 0$$

$$U_{кчн} = 0,5(U_{кчн} + U_{квн} - U_{квс}) = 0,5(6,5 + 20 - 12,5) = 7 \%$$

Опір в обмотках трансформатора

$$X_B = \frac{U_{кв} \times U_{НОМ}^2}{100 \times S_{тр.НОМ}} = 275 \text{ Ом}$$

$$X_H = \frac{U_{кчн} \times U_{НОМ}^2}{100 \times S_{тр.НОМ}} = 148 \text{ Ом}$$

$$X_{B.тр. max} = \frac{U_{кв} \times U_H^2}{100 \times S_{тр.НОМ}} = 346 \text{ Ом}$$

$$X_{H.тр. max} = \frac{U_{кчн} \times U_H^2}{100 \times S_{тр.НОМ}} = 185 \text{ Ом}$$

$$X_{B.тр. min} = \frac{U_{кв} \times U_H^2}{100 \times S_{тр.НОМ}} = 213 \text{ Ом}$$

$$X_{H.тр. min} = \frac{U_{кчн} \times U_H^2}{100 \times S_{тр.НОМ}} = 114 \text{ Ом}$$

Розрахунок струмів КЗ на шинах середньої напруги (38,5 кВ):

- максимальний режим (X = 12 Ом)

$$\sum X_{тр} = X_{с. max} + X_{B.тр. min} = 12 + 213 = 364 \text{ Ом}$$

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \times X} = 590 \text{ А}$$

- мінімальний режим (X=18 Ом)

$$\sum X_{mp} = X_{c.min} + X_{B.mp.max} = 18+346=364 \text{ Ом}$$

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{U}{\sqrt{3} \times 2 \times X} = 182 \text{ А}$$

Розрахунок струмів КЗ на шинах низької напруги (10 кВ):

- максимальний режим (X=12 Ом)

$$\sum X = X_{c.max} + X_{B.mp.min} + X_{н.mp.min} = 12+213+114=339 \text{ Ом}$$

$$I_{кз}^{(3)}(K_2) = \frac{U}{\sqrt{3} \times X} = 391 \text{ А}$$

- мінімальний режим (X=18 Ом)

$$\sum X = X_{c.min} + X_{B.mp.max} + X_{н.mp.max} = 18+346+185=549 \text{ Ом}$$

$$I_{кз.min}^{(3)}(K_2) = \frac{U}{\sqrt{3} \times 2 \times X} = 120 \text{ А}$$

Визначаємо первинні і вторинні струми для всіх сторін трансформатора.

Таблиця 3.2 – Первинні і вторинні струми трансформатора

	230кВ	38,5кВ	10кВ
Ном. струм, А	62	375	1443
К <sub>ГТ</sub>	200/5	1000/5	2000/5
Схема з'єднання	Δ	Δ	Y
Струм в плечі захисту $i = I_n \times \frac{K_{cx}}{K_{mm}}$	2,68	3,24	3,60

$$I^{(230)} = \frac{S}{\sqrt{3} \times U}$$

$$I^{(230)} = \frac{25}{\sqrt{3} \times 230} = 62 \text{ A}$$

$$I^{(38,5)} = \frac{U}{\sqrt{3} \times X} = 375 \text{ A}$$

$$I^{(10)} = \frac{U}{\sqrt{3} \times X} = 1443 \text{ A}$$

Вибираємо ТС:

$$K_{cx}^{\Delta} = \frac{I_p}{I_{\phi}} = \sqrt{3}$$

Розрахунок струму спрацювання ДЗТ

Струм спрацювання вибираємо з двох умов:

а) відстроювання від стрибку струму намагнічування

Струм спрацювання

$$I_{сз} = K_n \times I_n = 1,5 \times 62 = 93 \text{ A}$$

б) відстроювання від струму небалансу середньої напруги (38,5 кВ)

Розраховуємо струм небалансу:

$$I_{нб.розр} = (K_{одн} + \Delta U_B + \Delta U_C) \times I_{кз} = (0,1 + 0,12 + 0,05) \times 590 = 159 \text{ A}$$

$$I_{сз} = K_n \times I_{нб} = 1,5 \times 159 = 239 \text{ A}$$

в) відстроювання від струму небалансу на шинах НН (10 кВ)

$$I_{нб} = (K_{одн} + \Delta U_B) \times I_{кз} = (0,1 + 0,12) \times 391 = 86 \text{ A}$$

$$I_{сз} = K_{нб} \times I_{нб} = 1,5 \times 86 = 129 \text{ A}$$

Відстроювання від наскрізного струму КЗ буде забезпечене за рахунок гальмування, а струм спрацювання захисту приймаємо по більшій з умов **а** і **в**.

Уставка 129 А – спрацювання захисту.

Визначимо чутливість захисту при КЗ на стороні НН в мінімальному режимі

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} = 120/129 = 0,93 < 2$$

Бачимо, що  $K_{\text{ч}}$  менше нормованого:

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{U_{\text{ном}}}{2(X_{\text{с. min}} + X_{\text{е}} + X_{\text{н}})} = \frac{230000}{2(18 + 275 + 148)} = 260 \text{ А}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{260}{129} = 2$$

Вибір уставок реле ДЗТ.

Струм спрацювання для головної сторони

$$I_{\text{спр. осн}} = \frac{I_{\text{сз}} K_{\text{сх}} \frac{U_{\text{сп. ном}}}{U_{\text{н}}}}{K_{\text{тт}}} = 7,41 \text{ А}$$

Знаходимо розрахункове число витків для головної сторони

$$W_{\text{ос}} = 100/7,41 = 13,49 \text{ W}$$

Приймаємо 14 витків, що відповідає фактичному струму спрацювання реле.

$$I_{\text{спр. осн}} = 100/14 = 7,14 \text{ А}$$

Розрахункові витки для сторони ВН (230кВ):

$$W_{\text{розр}} = 14 * 3,60/2,68 = 18,8 \text{ W}$$

Приймаємо 19 витків.

Розрахункові витки для сторони 38,5 кВ:

$$W_{\text{розр}} = 14 * 3,60/3,24 = 15,5 \text{ W}$$

Приймаємо 16 витків.

Уточнений струм спрацювання захисту з урахуванням погрішності вирівнювання витків

$$I_{\text{сз}} = K_{\text{з}} (K_{\text{одн}} \times \varepsilon + \Delta U_{\text{I}} + \Delta W_{\text{II}}) \times I_{\text{кз. max}(K2)}^{(3)} = 134 \text{ А}$$

$$\Delta W_{\text{III}} = \frac{W_{\text{III розр}} - W_{\text{III}}}{W_{\text{III розр}}} = 0,01$$

Розрахуємо уточнений струм спрацювання для головної сторони

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{сз}} K_{\text{сх}} \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{н}}}}{K_{\text{тт}}} = 7,7 \text{ A}$$

Розрахуємо струм небалансу захисту при КЗ на середній напрузі де передбачене гальмування

$$I_{\text{нб.розр}} = K_{\text{з}} (K_{\text{одн}} \times \varepsilon + \Delta U_{\text{I}} + \Delta U_{\text{II}} + \Delta W_{\text{II}}) \times I_{\text{сз.мах}(K1)} = 267 \text{ A}$$

Число витків гальмівної обмотки

$$W_{\text{галм}} = \frac{K_{\text{з}} \times I_{\text{нб.розр}} \times W_{\text{II}}}{I_{\text{сз.мах}(K1)}} = 15,9 \text{ W}$$

Беремо 20 витків

На реле виставляємо наступні витки

$$W_{\text{I}}=19\text{в. } W_{\text{II}}=16\text{в. } W_{\text{III}}=14\text{в. } W_{\text{галм}}=20\text{в.}$$

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

## 4 Охорона праці

### 4.1 Заходи з електробезпеки

Згідно з нормативними документами (НПАОП 0.00-4.15-98 «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про навчання з питань охорони праці», НПАОП 0.00-1.21-98 «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів», Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів) необхідно регламентувати заходи безпеки для персоналу, якому присвоюється перша кваліфікаційна група з електробезпеки.

Присвоєння I кваліфікаційної групи проводиться проведенням інструктажу з електробезпеки під час роботи на конкретній електроустановці або декількох. Завершується проведення інструктажу з електробезпеки перевіркою знань у вигляді усного опитування. Знання перевіряє особа, що проводила інструктаж. Присвоєння I кваліфікаційної групи проводиться відповідальним за електрогосподарство або за її письмовим розпорядженням, особою зі складу електротехнічних працівників з групою III.

При роботі з електрообладнанням виникає небезпека бути враженим електричним струмом:

- при безпосередньому доторканні до струмоведучих частин електроустановок, що перебувають під напругою;
- при доторканні до металевих частин установки, що випадково являється під напругою;
- ураження, викликані «кроковою напругою», що виникла в місцях розтікання струму в землі (при обриві проводів повітряної мережі) кабелів, що перебувають під землею і т. п.;
- зварювальним струмом та електричною дугою.

Особливості ураження електричним струмом:

- відсутність зовнішніх ознак небезпеки ураження: людина не може побачити, почути або якимось інакше завчасно виявити небезпеку ураження електричним

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

струмом;

- тяжкість наслідків електротравм: втрата працездатності при електротравмах, як правило, буває тривалою; можлива навіть смерть потерпілого;

- особливість ураження електричним струмом полягає в тому, що струми промислової частоти розміром 10-25 мА можуть викликати інтенсивні судоми м'язів. Людина при цьому не може самостійно звільнитися від дії електричного струму.

- особливість ураження електричним струмом полягає у виникненні можливості наступного механічного травмування.

Дія електричного струму на живу тканину така: проходячи через живий організм електричний струм впливає на нього і спричиняє в ньому термічну, електролітичну і біологічну дію.

Термічна дія проявляється в опіках, ушкодженні кровоносних судин, серця, мозку й інших органів та викликають в них функціональні розлади. Електролітична дія проявляється в розкладанні органічної рідини, у тому числі крові, ще викликає значну її складу, а також тканин в цілому.

Біологічна дія виражається головним чином у порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, властивих нормальному організму і які пов'язані з життєвими функціями. Наприклад при взаємодії з біологічними струмами організму, зовнішній струм може порушити нормальний характер їх впливу на тканини і викликати самопримусові скорочення м'язів.

Основних видів ураження електричним струмом три: електричні травми, електричні удари, електричний шок. Електрична травма являє собою місцеве ураження тканин і органів електричним струмом: електричні опіки, електрометалізація шкіри, ураження очей електричною дугою. Електричний опік - це ушкодження поверхні тіла або внутрішніх органів під дією електричної дуги або великих струмів, що проходять через тіло людини. Опіки бувають двох видів: струмовий (або контактний) і дуговий. Струмовий опік обумовлений проходженням струму безпосередньо через тіло людини в результаті доторкування до струмове-

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

дучої частини. Струмовий опік - слідство перетворення електричної енергії в теплову, як правило, це опік шкіри, тому що шкіра людини має в багато разів більший електричний опір, ніж інші тканини тіла. Струмові опіки виникають при роботі в електроустановках з невеликою напругою /не вище 1-2 кВ/ і є в більшості випадків опіками I або II ступеня; утім, іноді виникають і більш важкі опіки. При напругах більш високих між струмоведучою частиною і тілом людини або між струмоведучими частинами утворюється електрична дуга, яка і викликає виникнення опіку іншого виду - дугового. Дуговий опік обумовлений дією на тіло електричної дуги, яка має високу температуру - понад 35000 С і велику енергію. Такий опік виникає звичайно при роботі в електроустановках високої напруги і має тяжкі наслідки - опіки III або IV ступеня.

Електрометалізація може відбутися при коротких замиканнях, відключеннях роз'єднувачів і рубильників під навантаженням. З часом хвора шкіра сходить, уражена ділянка набуває нормального вигляду, зникають хворобливі відчуття. При ураженні очей (електрофтальмія) лікування може виявитись тривалим і складним, а в деяких випадках постраждалий може навіть позбавитися зору. Тому, роботи, при виконанні яких можливе виникнення електричної дуги, повинні виконуватись в захисних окулярах. Одяг працюючого повинен бути застебнутий на всі гудзики, комір закритий, а рукава опушені і застебнуті.

При ураженні електричним струмом можуть виникати механічні пошкодження. Механічні пошкодження виникають внаслідок різких самовільних судомов скорочень м'язів під дією струму, який проходить через тіло людини. У результаті може відбутися розірвання шкіри, кровоносних судин, а також вивихи суглобів і навіть переломи кісток.

При ураженні електричним струмом організму людини основними важливими факторами, що характеризують наслідки ураження є:

- шлях проходження через тіло людини;
- час його дії.

В усіх випадках враження електричним струмом треба звертатись до лікаря.

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47



Струм 100 мА і більше (при 50 Гц), проходячи через тіло людини по шляху рука-рука або рука-ноги, діє подразнююче на м'язи серця. Це дуже небезпечно для життя людини, оскільки через 1-2 секунди може наступити фібриляція серця. При цьому припиняється кровообіг, отже в організмі виникає нестача кисню, що у свою чергу, швидко призводить до припинення дихання. Струми, які викликають фібриляцію серця, називаються фібриляційними, а найменший з них граничним фібриляційним струмом. При частоті 50 Гц фібриляційними являються токи в межах від 100 мА до 5 А, а граничним фібриляційним - 100 мА; при постійному струмі порогом фібриляції вважаються 300 мА, а верхньою межею фібриляційного струму 5А.

На безпеку і наслідки ураження людини струмом впливає рівень струму. При невисоких напругах (до 100 В) постійний струм приблизно в 3-4 рази менш небезпечний чим перемінний частотою 50 Гц; при напругах 400-500В безпека їх зрівнюється, а при більш високих напругах постійний струм навіть небезпечніший ніж перемінний. Частота струму також впливає на безпеку ураження людини. При збільшенні частоти струму до 50 Гц безпека ураження декілька збільшується, а при частоті понад 50 Гц безпека ураження зменшується. Струми високої частоти зберігають безпеку опіків. Найбільш небезпечний шлях проходження струму через тіло людини подовжений (рука-нога, голова-нога), менше небезпечний - поперечний (рука-рука і ще менше небезпечний шлях нога-нога). Дуже впливають індивідуальні властивості організму людини на ступінь ураження струмом. Встановлено, що цілком здорові і фізично міцні люди переносять електричні удари легше, чим хворі і слабкі. Підвищену сприйнятливість до електричного струму мають особи, що страждають на захворювання шкіри, серцево-судинної системи, органів внутрішньої секреції, легенів, нервовими й іншими захворюваннями. Тому Правила безпеки експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС) передбачається відбір по стану здоров'я персоналу для обслуговування діючих електроустановок.

За умовами безпеки електроустановки підлягають на дві категорії: напру-

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

гою до 1000 В і вище 1000 В. Аби уникнути ураження електричним струмом при користуванні побутовими та промисловими електроприладами на виробництві (холодильники, телевізори, комп'ютери, обігрівачі, кондиціонери, праски, електропідігрівачі води та ін.) слід дотримуватися правил:

- користуватися електроспоживачами, як правило, шнури живлення яких мають трьох полюсну вилку з попереджуючим включенням заземлюючого (занулюючого) дроту;

- не вмикати в електромережу електроспоживачі, шнури живлення яких мають пошкоджену ізоляцію;

- не вмикати в електромережу електроспоживачі, які мають пошкоджені або ненадійно з'єднані з електродротом живлення, вилками, розетками та подовжувачами;

- не вмикати електроспоживачі в розетки, які не мають захисних, направляючих вилку, кришок;

- не користуватися пошкодженими розетками, відгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншою електроарматурою, а також електролампами, скло яких має сліди затемнення або випинання;

- не користуватися саморобними подовжувачами, які не відповідають вимогам Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), що пред'являються до переносних електропроводок;

- не застосовувати для опалення приміщень нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;

- при користуванні електроспоживачами, які мають окремий, самостійний дріт заземлення, перед включенням його в електромережу, перевірити наявність та надійність приєднаного заземлюючого електродроту до відповідних клем;

- при можливості уникати доторкання руками до металевих частин електроспоживачів увімкнених в електромережу;

- не доторкатися руками до обірваних та оголених дротів електромережі, електроспоживачів;

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

- не замінювати самостійно зіпсовані електрозапобіжники, електролампи, не проводити ремонт електроспоживачів, електромережі;
- при прибиранні пилу з електроспоживачів, митті холодильників, підлоги обов'язково вимикати їх від електромережі;
- не залишати без догляду працюючі електроспоживачі.

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

## Висновки

В ході виконання бакалаврської роботи були описані і вирішені поставлені задачі.

В розділі “Розрахунок електричної мережі” знайдені потоки потужності мережі при нормальних режимах роботи, втрати потужності в елементах мережі, визначені величини напруги в точках мережі з урахуванням поперечних складових.

В розділі “Розрахунок електричної частини станцій і підстанцій” запропонована схема з’єднань, що враховує можливість розширення, яка забезпечує надійність електропостачання в нормальному і аварійному режимах роботи та допускає можливість виконання ремонтних і експлуатаційних робіт на окремих елементах системи.

Вибрано основне обладнання підстанцій: вимикачі, роз’єднувачі, вимірювальні трансформатори струму та напруги, вказаний необхідний мінімальний набір вимірювальних приладів для встановлення на підстанціях.

В розділі “Розрахунок релейного захисту” проведені розрахунки релейного захисту трансформатора: максимальний струмовий захист трансформатора, комбінована відсічка по струму і напрузі.

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

## Список використаної літератури

1. Програма курсу, контрольні завдання і методичні вказівки до виконання курсового проекту “Електрична частина станцій та підстанцій” / Муріков Д.В., Василега П.О., Лебединський І.Л. – СумДУ, 2006.
2. Правила улаштування електроустановок. – Х.: Факт, 2017.
3. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „Розрахунок замкнутої електричної мережі” з курсу „Електричні системи та мережі” / укладачі: І. Л. Лебединський, С. М. Лебеда, В. І. Романовський, В. В. Волохін. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 40 с.
4. Ананичева С. С., А. Л. Мызин. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Екатеринбург 2005.
5. Неклепаев Б.Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочник для дипломного и курсового проектирования –Учебник для вузов. Энергоатомиздат, 1989.
6. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов.- М. Энергия. 2007.
7. Методичні вказівки до проведення практичних занять з курсу “Електричні станції і підстанції” / Муріков Д.В., Василега П.О., Лебединський І.Л. – СумДУ, 2005.
8. Програма курсу, контрольні завдання і методичні вказівки до виконання курсового проекту “Електрична частина станцій та підстанцій” / Муріков Д.В., Василега П.О., Лебединський І.Л. – СумДУ, 2006.

					БР 5.6.141.905 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52