

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Центр заочної, вечірньої та дистанційної форми навчання  
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту  
Зав. кафедрою електроенергетики  
\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
**Тема: "Розробка конфігурації електричної мережі та розрахунок її параметрів"**

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТдн-74гл

Манжос Я.А.

Керівник

к.т.н., доцент

Волохін В.В.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. Кафедрою електроенергетики

\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

### **ЗАВДАННЯ**

**на кваліфікаційну роботу бакалавра**

Манжоса Ярослава Андрійовича

1. Тема роботи: "Розробка конфігурації електричної мережі та розрахунок її параметрів"

затверджено наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

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

3. Вихідні дані до роботи: задана схема електричної мережі, потужність і категорія споживачів.

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

- розрахунок електричної мережі;
- розрахунок електричної частини підстанції;
- розрахунок струмів короткого замикання;
- розрахунок релейного захисту;
- охорона праці.

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

- розрахункова схема мережі;
- однолінійна електрична схема підстанції 110/10 кВ.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розрахунок електричної мережі	20.04 – 27.04	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	28.04 – 07.05	
3	Розрахунок релейного захисту	08.05 – 17.05	
4	Виконання креслень	18.05 – 27.05	
5	Оформлення роботи	28.05 – 04.06	

Студент-дипломник \_\_\_\_\_

Керівник роботи \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

с. 53, рис. 11, табл. 21, кресл. 2

Бібліографічний опис: Манжос Я.А. Розробка конфігурації електричної мережі та розрахунок її параметрів [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Манжос Я.А.; наук. керівник Волохін В.В. – Суми: СумДУ, 2021. – 53 с.

Ключові слова: електрична мережа, перетоки потужності, лінія електропередач, підстанція, електричний апарат, релейний захист;

электрическая сеть, потоки мощности, линия электропередачи, подстанция, электрический аппарат, релейная защита;

district network, power flows, power line, substation, electrical apparatus, relay protection.

Короткий огляд: Проведено розрахунок режимів роботи електричної мережі, а також вибір напруги, типу проводів повітряних ліній, електричного устаткування підстанцій. Зроблено перевірку силових трансформаторів на перевантаження. Розраховано струми короткого замикання та обрано релейний захист. Розглянуто основні вимоги до персоналу, який працює з електроустановками, та проаналізовані заходи при ремонті обладнання електроустановок.

# Зміст

	Вступ	4
1.	Розрахунок режимів роботи електричної мережі	5
1.1	Вибір напруги ліній, вибір типу проводів повітряних ліній	5
1.2	Вибір трансформаторів	8
1.3	Розрахунок нормального режиму роботи мережі	10
1.4	Розрахунок напруги у всіх вузлових точках мережі	14
2.	Розрахунок електричної частини підстанції	17
2.1	Вибір силових трансформаторів	17
2.2	Вибір трансформаторів власних потреб	19
2.3	Вибір основної схеми електричних з'єднань підстанції	20
2.4	Розрахунок струмів короткого замикання	21
2.5	Вибір електричних апаратів РУ і струмопровідних частин	23
2.6	Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги	28
2.7	Вибір ошиновки розподільних пристроїв	31
2.8	Компонування розподільних пристроїв 110кВ	32
2.9	Компонування розподільних пристроїв 6-35 кВ	33
3.	Розрахунок релейного захисту	34
3.1	Розрахунок опору трансформатора	34
3.2	Розрахунок струму КЗ для захисту трансформатора	35
3.3	Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту	35
3.4	Розрахунок максимального струмового захисту	38
4.	Охорона праці. Вимоги до персоналу, який працює з електроустановками.	40
4.1	Види персоналу та його підготовка	40
4.2	Групи з електробезпеки	42
4.3	Перевірка знань електротехнічного персоналу	44
4.4	Відповідальні за електрогосподарство	45
4.5	Охорона праці при ремонті обладнання електроустановок	47
	Висновки	51
	Список літератури	52

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Манжос</i>				<i>Розробка конфігурації електричної мережі та розрахунок її параметрів</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Волохін</i>						3	53
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ гр. ЕТдн-74гл</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>	<i>Лебединський</i>							

## ВСТУП

Електроенергетика є базовою галуззю економіки України . Порівняно з іншими галузями промисловості вона працює найбільш стабільно, хоч знизилася випуск продукції за останні десять років на одну третину. Особливо різко скоротилося споживання в промисловості і в галузях, що зазнали найбільшого спаду виробництва. Проблеми політичного і економічного характеру загальмували розвиток енергетики, що призвело до зниження виробництва електроенергії. На сьогодні головними завданнями енергетики є модернізація та реконструкція обладнання, подовження терміну експлуатації атомних електростанцій, зниження рівня шкідливих викидів в атмосферу, впровадження інноваційних технологій, зменшення втрат енергії, а також розвиток малої енергетики. Зрозуміло, що стабілізація та розвиток електроенергетики, а разом з нею і економіки, можуть базуватися тільки на новітніх науково-технічних досягненнях. Причому, важкий стан енергетики, як це не парадоксально, створює унікальні можливості для її переходу на найвищий сучасний рівень, якщо правильно обрати стратегію виходу з кризи та мати певні кошти.

В процесі виконання роботи необхідно вирішити наступні завдання: визначити питомі параметри ЛЕП і каталожні дані трансформаторів, а також виконати розрахунок параметрів схеми заміщення лінії і трансформаторів; скласти розрахункову схему заміщення мережі та визначити розрахункові навантаження вузлів мережі; виконати розрахунок нормального режиму замкнутої мережі; визначити напругу в вузлах мережі, втрату напруги і втрату потужності в мережі; вибрати потужність силових трансформаторів і трансформаторів власних потреб на підстанції із зазначенням їх параметрів; вибрати головну схему електричних з'єднань підстанції; для розподільних пристроїв усіх класів напруг за номінальними параметрами зробити вибір вимикачів, вимірювальних трансформаторів струму і напруги та ошиновки.

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Манжос</i>			<i>Розробка конфігурації електричної мережі та розрахунок її параметрів</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Волохін</i>					4	53
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ гр. ЕТдн-74гл</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		<i>Лебединський</i>						

# 1. Розрахунок режимів роботи електричної мережі

## 1.1 Вибір напруг ліній, вибір типу проводів повітряних ліній

Відповідно до завдання необхідно розрахувати режими роботи електричної мережі, схему якої зображено на рис. 1.1. Також задано вихідні дані для розрахунку (табл. 1.1.): довжини ліній, потужності та категорії навантажень.

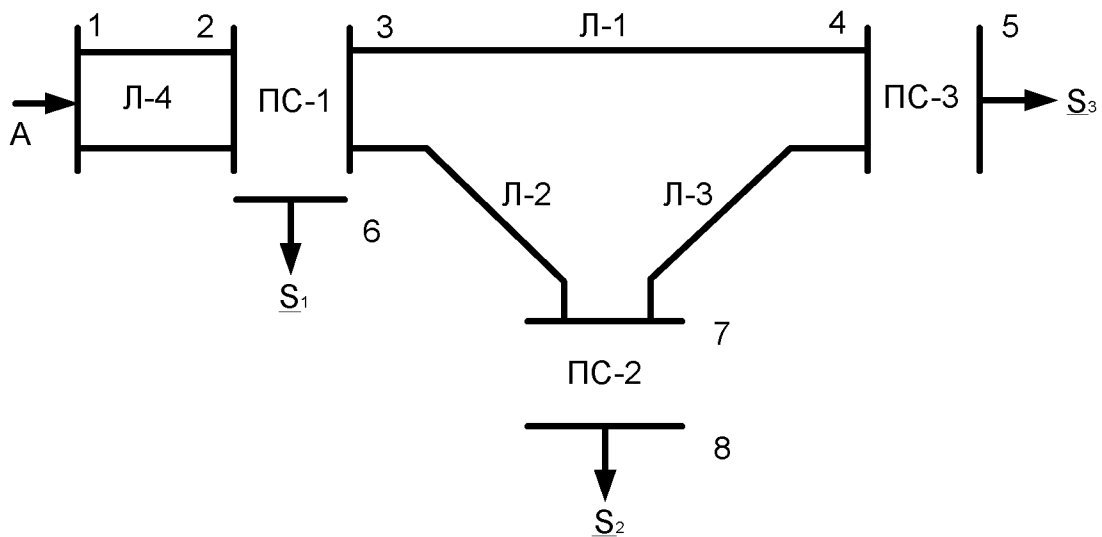


Рисунок 1.1 – Однолінійна електрична схема мережі

Таблиця 1.1 – Вихідні дані електричної мережі

Довжина ВЛ, км				Потужності навантаження, МВА		
Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	S-1	S-2	S-3
50	30	20	150	$\frac{110+j50}{III}$	$\frac{70+j30}{II}$	$\frac{30+j15}{III}$

Знайдемо перетоки потужностей в мережі без урахування втрат в лініях та трансформаторах. Почнемо із замкненої ділянки мережі, що складається з ліній Л-1, Л-2, Л-3 (рис.1.2).

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Манжос				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Волохін					5	53
Реценз.					СумДУ гр. ЕТдн-74гл		
Н. Контр.							
Утверд.	Лебединський						
					Розробка конфігурації електричної мережі та розрахунок її параметрів		





потужність лінії Л-4 буде складатися з потужностей вузла 3 та 6:  $\underline{S}_{Л4} = \underline{S}_{37} + \underline{S}_{3'4} + \underline{S}_1 = 210 + j95 \text{ МВА}$ .

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

Таблиця 1.2 – Напруги на ділянках мережі

Номер ділянки	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4
Довжина ділянки, км	50	30	20	150
Напруга ділянки, кВ	87	97	39,7	190

Аналізуючи напруги ділянок замкненої мережі, обираємо загальну напругу, рівною 110 кВ. Для лінії Л-4 обираємо напругу 220 кВ.

Для вибору проводів ПЛ за довідником, необхідно знати струми, які проходять даними лініями. Визначаємо струми проводів ліній за формулою:

$$I_{Л} = S_{Л} / \sqrt{3} U_{Л}$$

Таблиця 1.3– Струми на ділянках мережі

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4
Струм, кА	0,207	0,367	0,033	0,295

У відповідності з ПУЕ, приймаємо для ліній провід марки АС-240/32. Параметри проводу АС-240/32:  $r_0=0,118 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0= 0,435 \text{ Ом/км}$ ,  $b_0= 2,6 \times 10^{-6} \text{ См/км}$ .

Знайдемо параметри ліній електричної мережі. Значення активних і реактивних опорів ліній, а також величину зарядної потужності, занесемо до таблиці 1.4.

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

Таблиця 1.4 – Розрахункові параметри повітряної лінії мережі

		Л-1	Л-2	Л-3	Л-4
$R_{Л}$	Ом	5,9	3,54	2,36	17,7
$X_{Л}$	Ом	21,75	13,4	8,75	43,5
$Q_{Л}$	МВАр	4,4	2,51	3,146	18,8

## 1.2 Вибір трансформаторів

За напругою мережі і навантаженням обираємо трансформатори:

Для ПС-1:

Потужність навантаження –  $S_1 = \sqrt{100^2 + 50^2} = 112$  МВА, при цьому напруга високої сторони становить 220 кВ, тож для ПС-1 обираємо один трансформатор Т1: АТДЦТН-250000/220/110.

Каталожні дані трансформатора АТДЦТН-250000/220/110:

$S_{ном} = 250$  МВА;  $U_{вн} = 115$  кВ;  $U_{сн} = 121$  кВ;  $U_{нн} = 10,5$  кВ;  $\Delta P_x = 145$  кВт;

$\Delta P_{квс} = 520$  кВт;  $\Delta P_{квн} = 430$  кВт;  $\Delta P_{ксн} = 390$  кВт;  $U_{квс} = 11\%$ ;  $U_{квн} = 32\%$ ;

$U_{ксн} = 20\%$ ;  $I_x = 0,5\%$ .

Визначаємо коефіцієнт завантаження:

$$k_3 = \frac{112}{250} = 0,5;$$

якщо коефіцієнт завантаження  $k_3 = 0,5 < 1,0$ , то трансформатор задовольняє пред'явленим вимогам.

Для ПС-2:

$$S_2 = \sqrt{70^2 + 30^2} = 76 \text{ мВА};$$

$$S_{2т} = \frac{76}{1,4} = 54,4 \text{ мВА}$$

За напругою і потужністю навантаження обираємо два трансформатори

2 X Т-2: ТДН-63000/110/38,5.

Каталожні дані трансформатора ТДН-63000/110/38,5:

$S_{ном} = 63$  МВА;  $U_{вн} = 115$  кВ;  $U_{нн} = 38,5$  кВ;  $\Delta P_x = 245$  кВт;  $U_{квн} = 10,5\%$ ;

$I_x = 0,5\%$ ;  $\Delta Q_x = 315$  кВАр.

Визначаємо коефіцієнт завантаження:

$$k_3 = \frac{76}{63 \cdot 2} = 0,6;$$

якщо коефіцієнт завантаження  $k_3 = 0,6 < 0,75$ , то трансформатор задовольняє пред'явленим вимогам.

Для ПС-3:

$$S_3 = \sqrt{30^2 + 15^2} = 33,5 \text{ мВА};$$

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

За напругою і потужністю навантаження обираємо трансформатор

Т-3: ТД-40000/110/10,5

Каталожні дані трансформатора ТД-40000/110/10,5:

$S_{НОМ}=40$  МВА;  $U_{ВН}=121$  кВ;  $U_{НН}=10,5$  кВ;  $\Delta P_X=50$  кВт;  $\Delta P_{КВН}=160$  кВт;

$U_{КВН}=10,5\%$ ;  $I_X=0,7\%$ ;  $\Delta Q_X=260$  кВАр.

Визначаємо коефіцієнт завантаження:

$$k_3 = \frac{33,5}{40} = 0,8;$$

якщо коефіцієнт завантаження  $k_3 = 0,8 < 1,0$ , то трансформатор задовольняє пред'явленим вимогам.

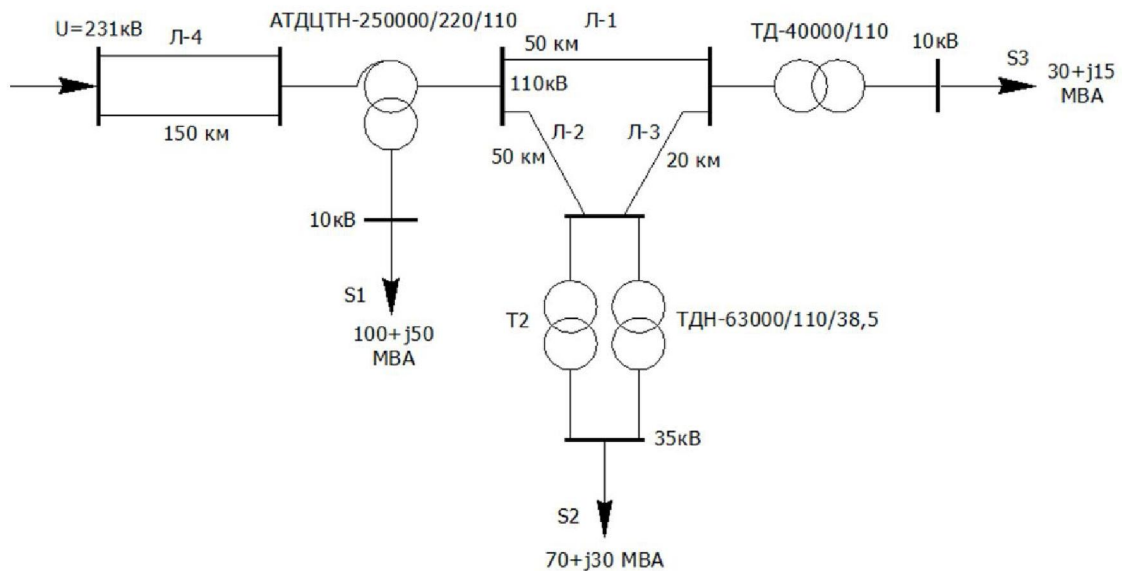


Рисунок 1.4 – Однолінійна схема мережі

Знайдемо параметри схеми заміщення трансформаторів.

Для тансформатора Т-1 втрати потужності:

$$\Delta P_{КВ} = 0,5(\Delta P_{КВС} + \Delta P_{КВН} - \Delta P_{КСН}) = 0,5(520 + 430 - 390) = 280 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{КС} = 0,5(\Delta P_{КВС} - \Delta P_{КВН} + \Delta P_{КСН}) = 0,5(520 - 430 + 390) = 240 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{КН} = 0,5(-\Delta P_{КВС} + \Delta P_{КВН} + \Delta P_{КСН}) = 0,5(-520 + 430 + 390) = 150 \text{ кВт};$$

$$U_{КВ} = 0,5(U_{КВС} + U_{КВН} - U_{КСН}) = 0,5(11 + 32 - 20) = 11,5\%;$$

$$U_{КС} = 0,5(U_{КВС} - U_{КВН} + U_{КСН}) = 0,5(11 - 32 + 20) \approx 0\%;$$

$$U_{КН} = 0,5(-U_{КВС} + U_{КВН} + U_{КСН}) = 0,5(-11 + 32 + 20) = 20,5\%.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

БР 5.6.141.488 ПЗ

Лист

9

Знаходимо опір обмоток:

$$R_{OB} = \frac{\Delta P_{KB} \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} = \frac{280 \cdot 230^2}{250000^2} \cdot 10^3 = 0,237 \text{ Ом};$$

$$R_{OC} = \frac{\Delta P_{KC} \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} = \frac{240 \cdot 230^2}{250000^2} \cdot 10^3 = 0,203 \text{ Ом};$$

$$R_{OH} = \frac{\Delta P_{KH} \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} = \frac{150 \cdot 230^2}{250000^2} \cdot 10^3 = 0,127 \text{ Ом};$$

$$X_{OB} = \frac{U_{KB} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}^2} = \frac{11,5 \cdot 230^2}{100 \cdot 250000} \cdot 10^3 = 24,334 \text{ Ом};$$

$$X_{OC} = \frac{U_{KC} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}^2} = 0 \text{ Ом};$$

$$X_{OH} = \frac{U_{KH} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}^2} = \frac{20,5 \cdot 230^2}{100 \cdot 250000} \cdot 10^3 = 43,378 \text{ Ом};$$

$$\Delta S_{XX} = 0,145 + j1,25.$$

Для двох паралельних трансформаторів Т-2 опір обмоток:

$$R_o = \frac{\Delta P_{KBH} \cdot U_{НОМ}^2}{2 \cdot S_{НОМ}^2} = \frac{245 \cdot 110^2}{2 \cdot 63^2} = 3,73 \text{ Ом};$$

$$X_o = \frac{U_{KBH} \cdot U_{НОМ}^2}{2 \cdot 100 \cdot S_{НОМ}^2} = \frac{10,5 \cdot 110^2}{2 \cdot 100 \cdot 63} = 10,85 \text{ Ом};$$

$$\Delta S_{XX} = 0,05 + j0,315.$$

Аналогічно для трансформатора Т-3:

$$R_T = 1,46 \text{ Ом}; \quad X_T = 38,4 \text{ Ом}; \quad \Delta S_{XX} = 0,16 + j0,26.$$

### 1.3 Розрахунок нормального режиму роботи мережі

Напругу на всіх вузлових точках приймають рівній номінальній. На цій умові знаходиться розподіл потужності з урахуванням втрат в мережі.

Втрату потужності на ділянці знаходимо за формулою:

$$\Delta S_n = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{НОМ}^2} \cdot (R_n + jX_n);$$

Потужність на ділянці знаходимо так:

$$S_n = (P_n + \Delta P_n) + j(Q_n + \Delta Q_n - \sum \Delta Q_n).$$

Знаходимо потужність на всіх ділянках мережі (рис. 1.5).

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

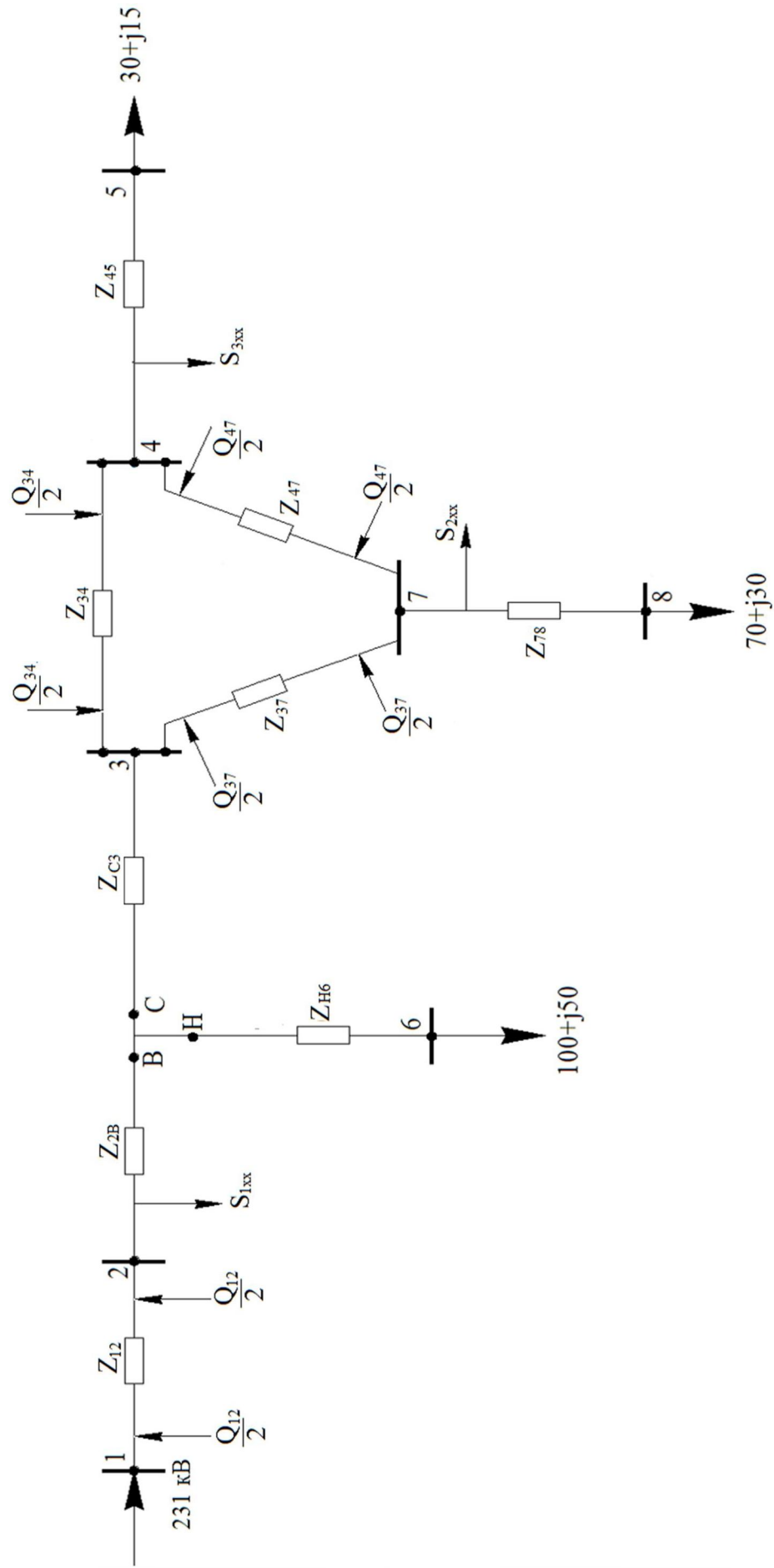


Рисунок 1.5 - Схема заміщення для розрахунку мережі

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

БР 5.6.141.488 ПЗ

Лист

11

Потужність в лінії на кінці ділянки будемо позначати із штрихом, а на початку ділянки – без штриха. Вітка намагнічування трансформаторів враховується в схемі заміщення повністю.

$$\Delta S_{xx} = \Delta P_{xx} + j\Delta Q_{xx} = \Delta P_{xx} + j \frac{I_{xx}^2 \%}{100} \cdot S_{ном}$$

$$S_{45} = \frac{30^2 + 15^2}{220^2} \cdot (1,46 + j38,4) = 0,034 + j0,883 \text{ МВА};$$

$$\Delta S_{78} = \frac{70^2 + 30^2}{220^2} \cdot (3,73 + j10,85) = 0,488 + j1,302 \text{ МВА};$$

$$S_{78} = 70 + j30 + 0,448 + j1,302 + 0,5 + j0,315 = 70,498 + j31,617 \text{ МВА};$$

$$S_{i6} = \frac{100^2 + 50^2}{220^2} \cdot (0,127 + j43,378) = 0,33 + j1,192 \text{ МВА};$$

$$S_{H6} = 100 + j50 + 0,33 + j1,192 = 100,33 + j61,192 \text{ МВА}.$$

Тепер проведемо розрахунок замкнутої ділянки мережі.

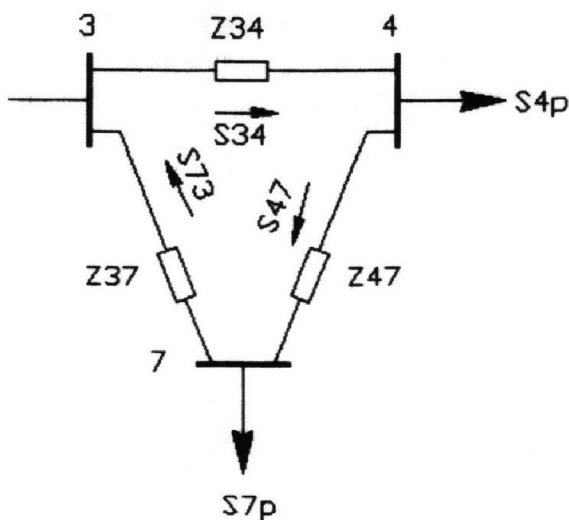


Рисунок 1.6 – Схема для розрахунку потужності в замкнутому контурі

$$S_{4p} = S_{45} = 30,194 + j16,143 \text{ МВА};$$

$$S_{7p} = S_{78} = 70,498 + j31,617 \text{ МВА}.$$

Розраховуємо потекорозподіл в контурі, що з'єднує вузли 3, 4, 7 без врахування втрат, використовуючи узагальнене контурне рівняння:

$$\sum S_{ij} \cdot Z_{ij}^* = U_0(1 - \Pi k_{ij}).$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Задаємося невідомим потоком потужності  $S_{34}$  і знаходимо інші потоки через цю потужність.

$$S_{47} = S_{34} - S_{45};$$

$$S_{73} = S_{47} - S_{78} = S_{34} - S_{45} - S_{78}.$$

$$S_{34}^* Z_{34} + S_{47}^* Z_{47} + S_{73}^* Z_{73} = S_{34}^* (Z_{34} + Z_{47} + Z_{73}) - S_{45}^* (Z_{47} + Z_{73}) - S_{78}^* Z_{73},$$

Звідси:

$$S_{34} = \frac{S_{45}(Z_{47} + Z_{73}) + S_{78}Z_{73}}{Z_{34} + Z_{47} + Z_{73}} =$$

$$= \frac{(30,194 + j16,143)((12,96 + j33,04) + (70,498 + j31,617))}{12,96 - j33,04} = \frac{1176,103 - j668,997}{12,96 - j33,04} = 30,57 + j18,988$$

МВА;

$$S_{47} = 30,57 + j18,988 - (30,194 + j16,43) = 0,376 + j2,558 \text{ МВА};$$

$$S_{73} = 0,376 + j2,588 - (70,498 + j31,617) = -70,122 - j29,59 \text{ МВА}.$$

Розраховуємо поточкорозподіл в контурі 3-4-7 з урахуванням втрат. Для цього знаходимо точки поточкорозділу активної і реактивної потужності (рис. 1.7).

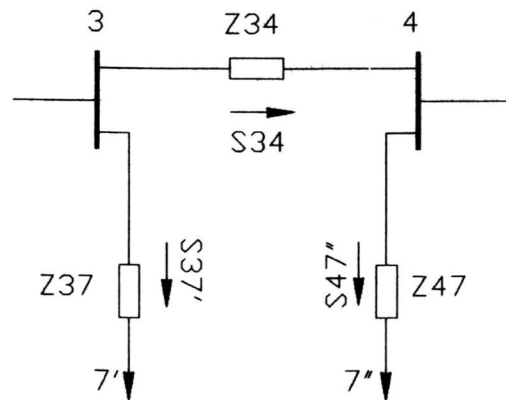


Рисунок 1.7 – Точка поточкорозділу потужності

$$\Delta S'_{37} = \frac{70,122^2 + 29,59^2}{220^2} \cdot 0,625 = 0,074 \text{ МВА};$$

$$S'_{37} = 70,122 + j29,059 + 0,074 = 70,196 + j29,392 \text{ МВА};$$

$$\Delta S''_{47} = \frac{0,376^2 + 2,558^2}{220^2} \cdot (3,24 + j8,26) = 0,0003 + j0,0008 \text{ МВА};$$

$$S''_{47} = 0,376 + j2,558 + 0,0003 + j0,0008 = 0,376 + j1,893 \text{ МВА};$$

$$S'_{34} = S_{4P} + S''_{47} = 30,194 + j16,143 + 0,376 + j1,893 = 30,57 + j18,036 \text{ МВ}$$

$$\Delta S_{34} = \frac{30,57^2 + 18,036^2}{220^2} \cdot 0,625 = 0,016 \text{ МВА};$$

$$S_{34} = 30,057 + j18,036 + 0,016 = 30,586 + j18,036 \text{ МВА};$$

$$S'_{C3} = S_{34} + S'_{37} = 30,586 + j18,036 + 70,196 + j29,392 = 100,782 + j47,428 \text{ МВА};$$

$$\Delta S_{C3} = \frac{100,782^2 + 47,482^2}{220^2} \cdot 0,203 = 0,052 \text{ МВА};$$

$$S_{C3} = 100,782 + j47,482 + 0,052 = 100,834 + j47,428 \text{ МВА};$$

$$S'_{2B} = S_{C3} + S_{H6} = 100,834 + j47,428 + 100,033 + j61,192 = \\ = 200,867 + j108,62 \text{ МВА};$$

$$\Delta S_{2B} = \frac{200,867^2 + 108,62^2}{220^2} \cdot (0,237 + j24,334) = 0,255 + j26,208 \text{ МВА};$$

$$S_{2B} = S'_{2B} + \Delta S_{2B} + \Delta S_{XX1} = 200,867 + j108,62 + 0,255 + j26,208 + 0,145 + \\ + j1,25 = 201,267 + j136,078 \text{ МВА};$$

$$\Delta S_{12} = \frac{201,267^2 + 136,078^2}{220^2} \cdot 2,55 = 3,11 \text{ МВА};$$

$$S_{12} = 201,267 + j136,078 + 3,11 = 204,377 + j136,078 \text{ МВА}.$$

#### 1.4 Розрахунок напруги у всіх вузлових точках мережі.

Вихідними даними при цьому є напруга на шинах джерела живлення і знайдені на попередньому етапі розрахунку потужності на початку кожної з ділянок.

Напруга в кінці першої ділянки (рахуючи від джерела живлення) і на початку другої:

$$\dot{U}_1^{(k)} = U_2^{(H)} = U_1^{(H)} - \frac{P_1^{(H)} R_1 + Q_1^{(H)} X_1}{U_1} - j \frac{P_1^{(H)} X_1 - Q_1^{(H)} R_1}{U_1}.$$

Розрахунок напруги в інших вузлових точках мережі виконують аналогічно.

Під час розрахунку напруги будемо враховувати лише продольну складову:

$$\Delta U_{12} = \frac{204,37 \cdot 2,55 + 136,078 \cdot 0}{231} = 2,256 \text{ кВ};$$

$$U_2 = 231 - 2,256 = 228,744 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{2B} = \frac{201,267 \cdot 0,237 + 136,078 \cdot 24,334}{228,774} = 14,685 \text{ кВ};$$

$$U_B = 228,774 - 14,685 = 214,059 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{H6} = \frac{100,033 \cdot 0,127 + 61,192 \cdot 43,378}{214,059} = 12,46 \text{ кВ};$$

$$U_6 = \frac{214,059 - 12,46}{20,95} = 9,623 \text{ кВ};$$

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$\Delta U_{C3} = \frac{100,834 \cdot 0,203 + 47,428 \cdot 0}{214,059} = 0,096 \text{ кВ};$$

$$U_3 = \frac{214,059 - 0,096}{2} = 106,982 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{34} = \frac{30,586 \cdot 0,625 + 18,036 \cdot 0}{106,982} = 0,18 \text{ кВ};$$

$$U_4 = 106,982 - 0,18 = 106,802 \text{ кВ};$$

$$\Delta U'_{47} = \frac{0,376 \cdot 3,24 + 1,893 \cdot 8,26}{106,802} = 0,158 \text{ кВ};$$

$$U_7 = 106,802 - 0,158 = 106,644 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{37} = \frac{70,169 \cdot 0,625 + 29,392 \cdot 0}{106,982} = 0,41 \text{ кВ};$$

$$U_7 = 106,644 - 0,41 = 106,234 \text{ кВ}.$$

Різниця між знайденими значеннями напруги у вузлі 7 складає:

$$\frac{U_7'' - U_7'}{U_7''} = \frac{106,644 - 106,234}{106,644} \cdot 100 = 0,384\%, \text{ що менше допустимих } 2\%.$$

Приймаємо напругу  $U_7 = 106,6 \text{ кВ}$ .

$$\Delta U_{78} = \frac{70,498 \cdot 3,73 + 31,617 \cdot 10,85}{106,6} = 5,685 \text{ кВ};$$

$$U_8 = \frac{106,6 - 5,685}{2,857} = 35,322 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{45} = \frac{30,194 \cdot 1,46 + 16,143 \cdot 38,4}{106,802} = 6,217 \text{ кВ};$$

$$U_5 = \frac{106,802 - 6,217}{10,476} = 9,601 \text{ кВ}.$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 1.6:

Таблиця 1.6 – Розрахункові параметри

S <sub>12</sub> , МВА	S <sub>2В</sub> , МВА	S <sub>С3</sub> , МВА	S <sub>34</sub> , МВА	S <sub>45</sub> , МВА	S <sub>47</sub> , МВА	S <sub>Н6</sub> , МВА	S <sub>37</sub> , МВА	S <sub>78</sub> , МВА
204,3+	201,3+	100,8+	30,6+	30,2+	0,4+	100+	71,2+	70,5+
+j136,1	+j136,1	+j47,4	+j18	+j16,1	+j1,9	+j61,2	+j29,34	+j31,7
U <sub>1</sub> , кВ	U <sub>2</sub> , кВ	U <sub>3</sub> , кВ	U <sub>4</sub> , кВ	U <sub>5</sub> , кВ	U <sub>6</sub> , кВ	U <sub>7</sub> , кВ	U <sub>8</sub> , кВ	
231	228,7	106,98	106,8	9,6	9,6	106,6	35,3	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР 5.6.141.488 ПЗ

Лист

15

## 2 Розрахунок електричної частини підстанції

В даному розділі буде проведено вибір схеми електричних з'єднань та основного обладнання підстанції, а також перевірку силових трансформаторів на перевантаження.

### 2.1 Вибір силових трансформаторів

Перевірку трансформаторів проведемо на прикладі ПС-2, де були вибрані трансформатори ТДН 63000/110/38,5. Його параметри та добовий графік навантаження наведені в табл. 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Параметри трансформатора

Тип тр-ра	Потужність S, МВА	Напруга U, кВ	X <sub>T</sub> , Ом	l, W <sub>1</sub> , км	X <sub>л</sub> , W <sub>1</sub> , Ом	l, W <sub>2</sub> , км	X <sub>л</sub> , W <sub>2</sub> , Ом	S <sub>с</sub> , кВА	X <sub>с</sub> , Ом
ТДН 63000/110	63	110	10,85	30	0,375	70	9,5	2300	5,26

Таблиця 2.2 – Навантаження споживачів впродовж доби

Год	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
МВА	28,35	34,65	37,8	56,7	56,7	50,4	50,4	63	56,7	81,9	88,2	63

Для перевірки правильності вибору трансформатора реальний графік навантаження перетворимо в двоступінчастий. Початкове навантаження еквівалентного графіка визначається:

$$k_1 = \frac{1}{S_{\text{ном}}} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 \cdot t_2 + \dots + S_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Манжос				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Волохін					16	53
Реценз.					СумДУ гр. ЕТдн-74гл		
Н. Контр.							
Утверд.	Лебединський						

Розробка конфігурації електричної мережі та розрахунок її параметрів

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, година.

Звідси:

$$k_1 = \frac{1}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 \cdot t_2 + S_3^2 \cdot t_3 + S_4^2 \cdot t_4 + S_5^2 \cdot t_5 + S_6^2 \cdot t_6 + S_7^2 \cdot t_7 + S_9^2 \cdot t_9}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_9}};$$

$$k_1 = \frac{1}{63} \cdot \sqrt{\frac{28,35^2 \cdot 2 + 34,65^2 \cdot 2 + 37,8^2 \cdot 2 + 56,7^2 \cdot 2 + 56,7^2 \cdot 2 + 50,4^2 \cdot 2 + 50,4^2 \cdot 2 + 56,7^2 \cdot 2}{2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2}} = 0,756$$

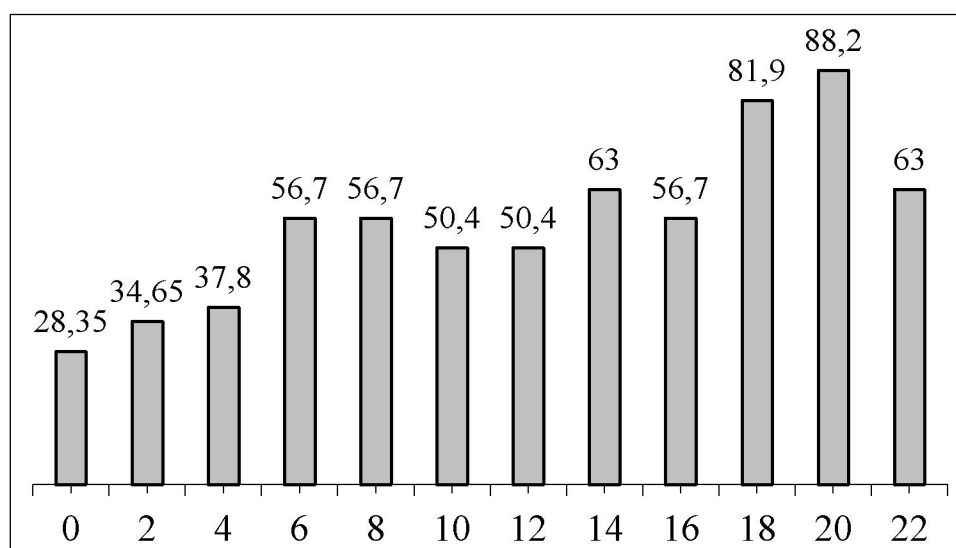


Рисунок 2.1 – Графік навантаження підстанції

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

$$k_2 = \frac{1}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \sqrt{\frac{S_8^2 \cdot t_8 + S_{10}^2 \cdot t_{10} + S_{11}^2 \cdot t_{11} + S_{12}^2 \cdot t_{12}}{t_8 + t_{10} + t_{11} + t_{12}}}$$

$$k_2 = \frac{1}{63} \cdot \sqrt{\frac{63^2 \cdot 2 + 81,9^2 \cdot 2 + 88,2^2 \cdot 2 + 63^2 \cdot 2}{2 + 2 + 2 + 2}} = 1,188$$

Максимальне перевантаження трансформатора складає:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$k_{\max} = \frac{S_{\max}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{88,2}{63} = 1,4$$

Попереднє значення  $k_2'$  необхідно порівняти із значенням  $k_{\max}$  :

$$k_2' = k_2 \cdot 0,9k_{\max} = 1,188 \cdot 0,9 \cdot 1,4 = 1,5$$

Якщо  $k_2' = 1,5 > k_2 = 1,188$ , приймаємо  $k_2 = 1,5$ . Значення  $k_2$  за ГОСТом більше, ніж реальне, значить трансформатор обраний правильно.

## 2.2 Вибір трансформаторів власних потреб

Приймачами власних потреб є:

- оперативні кола;
- електродвигуни, системи охолодження силових трансформаторів, висвітлення і електроопалення приміщень;
- електропідігрівання комутаційної апаратури і т.д.

Сумарна розрахункова потужність приймача власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту. Розрахунок потужності приймача власних потреб наведений у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок потужності приймача власних потреб

№ п/п	Найменування споживача	Кількість одиниць	Потужність одиниць, кВт	Коеф. попиту	cosφ	Споживана потужність
1.	Охолодження трансформаторів	2	3	0,82	0,86	4,23
2.	Підігрів високовольтних вимикачів зовнішньої установки	2	2	1	1	4
3.	Підігрів приводів роз'єднувачів зовнішньої установки	6	0,5	1	1	3
4.	Опалення, висвітлення, вентиляція закритого РУ	1	6	0,65	0,95	3,7
5.	Висвітлення РУ	1	2	0,65	0,93	1,2
Сумарне навантаження власних потреб без урахування ремонту, $S_{\text{CH}}$ кВА						16,13

На підстанції передбачається установка двох трансформаторів власних потреб. Номінальна потужність вибирається з умов:  $S_{\text{ТСН}} \geq S_{\text{СН}}$ , де  $S_{\text{ТСН}}$  - потужність трансформатора власних потреб, кВ·А;  $S_{\text{СН}}$  – потужність споживачів власних потреб, кВ·А.

Так як  $S_{\text{СН}}=16,13$  кВА, потужність трансформатора власних потреб беремо рівній 20 кВА.

Ремонтну потужність на підстанції беремо 20 кВА. Під час ввімкнення цього навантаження на один трансформатор допускається його перевантаження на 20%. Потужність трансформатора для забезпечення живлення навантаження власних потреб з урахуванням ремонтних навантажень:  $S_{\text{ТСН}} = \frac{20 + 16,13}{1,2} = 30,1$  кВА.

Беремо стандартну потужність трансформатора  $S_{\text{ТСН}}=40$ кВА. Остаточо для живлення споживача власних потреб беремо два живлення за двома тупиковими лініями: схеми заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 2.3. трансформатори ТМ-40/10 потужністю по 40 кВА.

### 2.3 Вибір основної схеми електричних з'єднань підстанції

Основна схема електричних з'єднань повинна задовольняти такі вимоги:

- забезпечувати надійність електропостачання в нормальних післяаварійних режимах;
- враховувати перспективи розвитку;
- допускати можливість розширення;
- забезпечувати можливість виконання ремонтних і експлуатаційних робіт на окремих елементах схеми і без відключення преднань.

При цьому варто застосовувати найпростіші схеми. Так як даний РУ має невелике число приєднань, то доцільно застосування спрощеної схеми без збірних шин або з короткими перемичками між приєднаннями.

Спрощена принципова схема електричних з'єднань приведена на рис. 2.2.

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

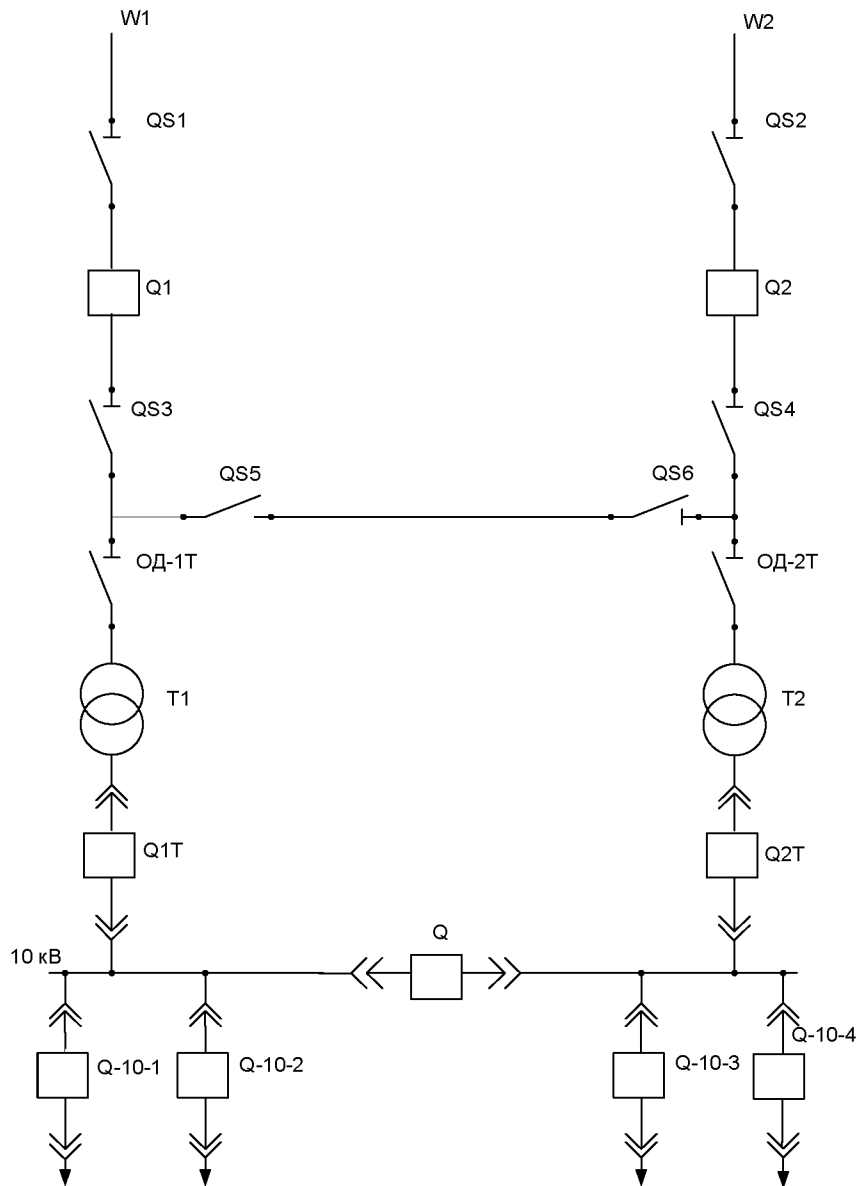


Рисунок 2.2 – Спрощена схема електричних з'єднань підстанції

## 2.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору устаткування на стороні 110 кВ і 35 кВ. Підстанція

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 110кВ центра живлення складає  $S_c=2300$  кВА.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

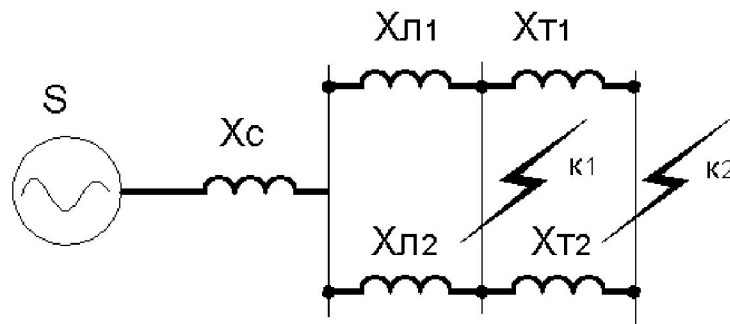


Рисунок 2.3 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Опір системи дорівнює:

$$X_c = \frac{U_{л}^2}{S_c} = \frac{110^2}{2300} = 5,26 \text{ Ом};$$

Опір працюючих ліній  $X_{л}=0,361 \text{ Ом};$

Періодична складова СКЗ у точці  $k_1$ :

$$I_{k1} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3(X_c + X_{л})}} = \frac{110}{\sqrt{3(5,26 + 0,361)}} = 11,29 \text{ кА};$$

у точці  $k_2$ , приведена до напруги вищої сторони:

$$I_{k2}^B = \frac{U_{л}}{\sqrt{3(X_c + X_{л} + X_{т})}} = \frac{110}{\sqrt{3(5,26 + 0,361 + 10,85)}} = 3,85 \text{ кА};$$

Реальний СКЗ у точці  $k_2$ :

$$I_{k2} = I_{k2}^B \frac{110}{35} = 3,85 \frac{110}{35} = 12,1 \text{ кА}.$$

Ударний струм:

$$\text{у точці } k_1 = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot 11,29 = 25,7 \text{ кА};$$

$$\text{у точці } k_2 = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot 12,1 = 27,5 \text{ кА}.$$

Допустимо, що амплітуда ЕДС і періодична складова СКЗ незмінні за часом, тому через час, який дорівнює часу відключення:

$I_{нт1}=I_{k1}=11,29$  кА для точки  $k_1$  ;

$I_{нт2}=I_{k2}=12,1$  кА для точки  $k_2$  .

Аперіодична складова СКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}, \text{ де}$$

$T_a$  = постійна часу загасання аперіодичної складової :

для  $k_1$ -  $T_a=0,025$  с, для  $k_2$ -  $T_a=0,05$  с;

$t$  – розрахунковий час розходження контактів після початку КЗ. Для вимикачів на вищій стороні  $t_1=0,06$ с, на нижчій стороні  $t_2=0,1$ с.

в точці  $k_1$   $i_{a1} = \sqrt{2} \cdot 11,29 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,025}} = 1,47$  кА;

в точці  $k_2$   $i_{a2} = \sqrt{2} \cdot 12,1 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,05}} = 2,4$  кА;

Інтеграл Джоуля:

для  $k_1$ :  $V_{k1} = I_{k1}^2(t+T_{a1}) = 11,29^2(0,06+0,025) = 10,83$  кА<sup>2</sup>·с;

для  $k_2$ :  $V_{k2} = I_{k2}^2(t+T_{a2}) = 12,1^2(0,1+0,05) = 21,9$  кА<sup>2</sup>·с.

Результати розрахунків зведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Струми короткого замикання

Струми короткого замикання	СКЗ у початковий момент часу, кА	Ударний СКЗ; $i_{уд}$ , кА	СКЗ у момент розбіжності контактів вимикача, кА	Аперіодична складова СКЗ, кА	Інтеграл Джоуля; $V_k$ , кА <sup>2</sup> ·с
Шини 110кВ( $k_1$ )	11,29	25,7	11,29	1,47	10,83
Шини 35кВ( $k_2$ )	12,1	27,5	12,1	2,4	21,9

## 2.5 Вибір електричних апаратів РУ і струмопровідних частин

Високовольтні електричні апарати вибираються за умовою тривалого режиму роботи і перевіряються за умовами коротких замикань. При цьому для апаратів виконується:

- вибір за напругою;

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР 5.6.141.488 ПЗ				



- вибір за нагріванням при тривалих струмах;
- перевірка на електродинамічну стійкість;
- перевірка на термічну стійкість;
- вибір з виконання (для зовнішньої або внутрішньої установи).

Вибору підлягають:

- вимикачі на боці вищої напруги;
- вступні вимикачі на боці 35 кВ;
- секційні вимикачі на боці 35 кВ;
- вимикачі ліній, що відходять, 35 кВ;
- роз'єднувачі вищої напруги;
- трансформаторі струму і напруги 110 кВ і 35 кВ.4
- ошиновка розподільних пристроїв 110 кВ і 35 кВ.

Для вибору апаратів і струмоведучих частин необхідно визначити струми нормального і післяаварійного режимів. Визначення струмів виконується для випадку установки на підстанції силового трансформатора, розрахованого відповідно до графіка навантаження підстанції (63 МВА).

Максимальний струм на вищій стороні:

$$I_{\max}^{110} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot 110} = \frac{1,4 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 462,93 \text{ А.}$$

Струм в колі вступних вимикачів на боці 35 кВ:

$$I_{\max}^{\text{НВ}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 2} = \frac{1,4 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 2} = 727,461 \text{ А.}$$

Струм в колі секційного вимикача:

$$I_{\max}^{\text{СВ}} = \frac{0,7 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot 35} = \frac{1,4 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 727,461 \text{ А.}$$

Струм в колі лінії, що відходить (якщо на одне приєднання приходить 3 МВА):

$$I_{\max}^{\text{ЛВ}} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 49,487 \text{ А.}$$

На боці вищої напруги рекомендується установка електрогазових вимикачів типу S1-145-F3/4031. Вибір вимикача наведений у таблиці 2.5.

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Таблиця 2.5 – Вибір вимикача на стороні 110 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{ном}$	110 кВ	123 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	462 А	3150 А
$I_{по} \leq I_{пр.скв}$	11,29 кА	40 кА
$I_{уд} \leq I_{скв}$	25,7 кА	100 кА
$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	11,29 кА	40кА
$I_{ат} \leq I_{а ном}$	1,47 кА	14,2 кА
$B_k \leq I_T^2 t_\gamma$	10,83 кА <sup>2</sup> ·с	48 кА <sup>2</sup> ·с

Вимикач S1-145-F3/4031 цілком задовольняє умові вибору.

Останнім часом помітна тенденція в заміні частини повітряних вимикачів елегазовими. Так, наприклад, повітряні вимикачі 110 і 220 кВ нормального або автоматичного виконання зняті з виконання і замінені елегазовими. Елегаз (SF<sub>6</sub> шестифториста сірка) являє собою інертний газ, щільність якого перевищує щільність повітря в 5 разів. Електрична міцність елегазу в 2-3 рази вище міцності повітря; при тиску 0,2 МПа електрична міцність елегазу порівнянна з міцністю оливи. У елегазі при атмосферному тиску може бути погашена дуга зі струмом, який в 100 разів перевищує струм, що відключається в повітрі при тих же умовах. Здатність елегазу гасити дугу пояснюється тим, що його молекули вловлюють електрони дугового стовпа і утворюють щодо нерухомі негативні струми. Втрата електронів робить дугу нестійкою, і вона легко гасне.

На боці низької напруги рекомендується обирати повітряні і вакуумні вимикачі.

Вибір вимикачів з боку низької напруги приведений в таблицях 2.6-2.8.

Таблиця 2.6 – Вибір вимикачів в колі трансформатора на боці 35 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{ном}$	35 кВ	35 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	727,461 А	3150 А
$I_{по} \leq I_{пр.скв}$	12,1 кА	40 кА
$I_{уд} \leq I_{скв}$	27,5 кА	80 кА
$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	12,1 кА	31,5кА
$I_{ат} \leq I_{а ном}$	2,4 кА	-
$B_k \leq I_T^2 t_\gamma$	21,9 кА <sup>2</sup> ·с	3969 кА <sup>2</sup> ·с

Рекомендується установка повітряних вимикачів типу ВВУ-35А-40/3150У.

Таблиця 2.7 – Вибір секційного вимикача на боці 35 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{ном}$	35 кВ	35 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	727,461 А	3150 А
$I_{по} \leq I_{пр.скв}$	12,1 кА	40 кА
$I_{уд} \leq I_{скв}$	27,5 кА	80 кА
$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	12,1 кА	31,5кА
$I_{ат} \leq I_{а ном}$	2,4 кА	-
$B_k \leq I_T^2 t_\gamma$	21,9 кА <sup>2</sup> ·с	3969 кА <sup>2</sup> ·с

Рекомендується брати до установки, як секційний вимикач типу ВВУ-35А-40/3150У.

Таблиця 2.8 – Вибір вимикачів на лінію, що відходить, 35 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{ном}$	35 кВ	35 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	49,487 А	2000 А
$I_{по} \leq I_{пр.скв}$	12,1 кА	40 кА
$I_{уд} \leq I_{скв}$	27,5 кА	80 кА
$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	12,1 кА	31,5кА
$I_{ат} \leq I_{а ном}$	2,4 кА	-
$B_k \leq I_T^2 t_\gamma$	21,9 кА <sup>2</sup> ·с	3969 кА <sup>2</sup> ·с

На лінію, що відходить рекомендується встановлення повітряного вимикача типу ВВУ-35А-40/2000У.

В таблиці 2.9 наведений вибір роз'єднувачів на боці 110 кВ. Роз'єднувачі необхідні з одним або з двома комплектами ножів, що заземлюють.

Таблиця 2.9 – Вибір роз'єднувачів 110 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{ном}$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	462,93 А	1000 А
$I_{уд} \leq I_{скв}$	25,7 кА	80 кА
$B_k \leq I_T^2 t_\gamma$	10,83 кА <sup>2</sup> ·с	3969 кА <sup>2</sup> ·с

Рекомендується брати до установки на боці 110 кВ роз'єднувачі типу РНД 31-110/1000 УХЛ1 та РНД 32-10/1000 УХЛ1.

Роз'єднувачі призначені для відключення і включення ланцюгів без струму і для створення видимого розриву ланцюга в повітрі. В установках максимальної потужності дозволяється відключати роз'єднувачем ненавантажені трансформатори, вмикати та вимикати струм до 15А при напрузі 10кВ і нижче. Слід прагнути до застосування роз'єднувачів триполюсного типу. Щоб виключити помилкову дію з роз'єднувачем, встановлюють блокування (механічні, електричні), які дозволяють оперувати з роз'єднувачем тільки в тому випадку, якщо пов'язаний з ним вимикач відключений.

Важливим елементом електричної установки високої напруги є заземлюючі роз'єднувачі. Блокування дозволяє включення заземлюючих роз'єднувачів тільки при відключенні основного і навпаки. Вони виконуються з одним і двома ножами (число ножів вказується цифрою 1 або 2 після першої риси) РНДЗ 1-200 / 2000 або РРНД-2-220 / 1000.

В установках із збірними шинами в якості шинних роз'єднувачів вибирають роз'єднувачі з одним заземлюючим ножом, як лінійних – з двома заземлюючими ножами.

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Вимикачі навантаження використовуються для відключення ланцюга робочого струму.

Роз'єднувачі і вимикачі навантаження обираються по номінальній напрузі  $U_{ном}$ , номінальному тривалому току  $I_{ном}$ , а в режимі КЗ перевіряють на термічну і електродинамічну стійкість.

Вимикачем навантаження перевіряють додатково по струму відключення.

## 2.6 Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги

Для підключення електровимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту необхідна установка трансформаторів струму і напруги. У цьому проекті релейний захист детально не розробляється, тому перевірка трансформаторів по вторинному навантаженні виконується тільки з урахуванням підключення вимірювальних приладів.

У колі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюється амперметр, ватметр, вольтметр, лічильники активної і реактивної енергії, на шини 110 кВ - вольтметр з перемикачем для вимірювання трьох міжфазових напруг, на секційному вимикачі 35 кВ - амперметр, на лініях, що відходять 35 кВ - амперметр, лічильники активної і реактивної енергії.

Розрахунок вторинної навантаження трансформатора струму наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Вторинне навантаження трансформаторів струму

Прилад	Тип	Клас	Навантаження по фазах		
			А	В	С
Амперметр	Э-335	1	0,5	0,5	0,5
Ваттметр	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

продовження таблиці 2.10

Сумарне навантаження струму в колі секц. Вимикать 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 трансформатора струму приведений в таблицях 2.11-2.13.

Таблиця 2.11 – Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на боці вищої напруги

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{ном}$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	462,93 А	2000 А
$I_{уд} \leq I_{скв}$	25,7 кА	100 кА
$B_k \leq I_T^2 t_{\gamma}$	10,83 кА <sup>2</sup> ·с	1156 кА <sup>2</sup> ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	1,25 Ом	4 Ом

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:

$$Z_{тр} = Z_{ном} - Z_{прил} - Z_k = 4 - 0,02 - 0,1 = 3,88 \text{ Ом, де:}$$

$Z_{ном}$  – номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{прил}$  – опір приборів, Ом;

$Z_k$  – опір контактів, Ом.

Переріз сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж 4 мм<sup>2</sup> для алюмінієвих жил.

Переріз жил при довжині кабеля  $l = 160$ м:

$$Z = \rho \frac{l}{F} = 0,028 \frac{160}{4} = 1,13 \text{ Ом,}$$

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

$F$  – переріз жил,  $\text{мм}^2$ .

Загальний опір струмового кола:

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,02 + 0,1 + 1,13 = 1,25 \text{ Ом},$$

що менше ніж 4 Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 1.

Трансформатор струму ТФЗМ 110Б-11 відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.12 – Вибір трансформатора струму в колі трансформатора з боку низької напруги

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{\text{ном}}$	35 кВ	35 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	427,461 А	1000 А
$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{скв}}$	27,5 кА	100 кА
$B_k \leq I_T^2 t_\gamma$	21,9 $\text{кА}^2\cdot\text{с}$	3675 $\text{кА}^2\cdot\text{с}$
$Z_{\text{н}} \leq Z_{\text{н,ном}}$	1,25 Ом	4 Ом

Перевірка по вторинному навантаженню виконується аналогічно. Беремо трансформатор ТПОЛ-35.

Таблиця 2.13 – Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{\text{ном}}$	35 кВ	35 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	49,487 А	800 А
$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{скв}}$	27,5 кА	130 кА
$B_k \leq I_T^2 t_\gamma$	21,9 $\text{кА}^2\cdot\text{с}$	2700 $\text{кА}^2\cdot\text{с}$
$Z_{\text{н}} \leq Z_{\text{н,ном}}$	1,25 Ом	2 Ом

Беремо до установки трансформатор ТФЗМ-35А.

В якості трансформаторів напруги вибираємо на боці 110 кВ трансформатори НКФ-110-58, з боку 35 кВ – НОМ-35.

## 2.7 Вибір шин розподільних пристроїв

Ошиновку в РУ 110кВ виконують, як правило, сталелегалюмінієвими проводами марки АС. Вибір перетину здійснюється за довго допустимим струмом. При максимально робочому 462,93 А вибираємо переріз 185 мм<sup>2</sup> з допустимим струмом 510 А. Мінімальний переріз, виходячи з умови термічної стійкості, визначається за формулою:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} = \frac{\sqrt{32,55}}{91 \cdot 10^{-3}} = 62,7 \text{ мм}^2, \quad \text{де } C = 91 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кА} \cdot \text{с}^{1/2}}{\text{мм}^2}.$$

Переріз 185мм<sup>2</sup> підходить і за термічною стійкістю, тому для ошиновки підстанції приймаємо АС-185.

Ошиновка закритих РУ 35кВ виконується жорсткими шинами. Вибираємо алюмінієві шини перерізом 5 × 0,6 см з тривало припустимим струмом 740 А при розрахунковому робочому струмі 727,461 А.

Жорсткі шини повинні бути перевірені на динамічні дії струмів КЗ і на можливість виникнення резонансних явищ. Зазначені явища не виникають при КЗ, якщо власна частота коливань шини менше 30 і більше 200 Гц. Частота власних коливань для алюмінієвих шин визначається за формулою:

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{\gamma}{q}} = \frac{173,2}{1,5^2} \sqrt{\frac{0,09}{3}} = 13,3 \text{ Гц},$$

де:  $l$  – довжина прольоту між ізоляторами ( $l=1,5$  м);

$\gamma$  – момент інерції поперечного перерізу шини відносно вісі, перпендикулярній до напрямку згинаючої сили, см<sup>2</sup>;

$q = b \cdot h = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ см}^2$  – поперечний переріз шини.

$$\gamma = \frac{bh^3}{12} = \frac{5 \cdot 0,6^3}{12} = 0,09 \text{ см}^4,$$

де:  $b = 0,6 \text{ см}$  – товщина шини;  $h = 5 \text{ см}$  – ширина шини.

Власна частота коливань шини менше 30, що відповідає умові.

Умовою механічної міцності шин є:

$$\sigma_{\text{розр}} \leq \sigma_{\text{доп}},$$

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30



де:  $\sigma_{розр}$  – розрахунково механічна напруга в матеріалі шин;

$\sigma_{доп} = 75$  МПа – припустимо механічна напруга в матеріалі шин для алюмінієвого сплаву ДДЗТ.

Розрахунково механічна напруга визначається за формулою:

$$\sigma_{розр} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{I_{уд}^2 \cdot 1,5^2}{W \cdot a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{27500 \cdot 1,5^2}{2,5 \cdot 0,5} = 71,234 \text{ МПа,}$$

$$\text{де: } W = \frac{hb^2}{6} = \frac{0,6 \cdot 5^2}{6} = 2,5 \text{ см}^3 - \text{момент опору шини;}$$

$a = 0,5$  м – відстань між фазами.

Так як  $71,234 < 75$  МПа, умова виконується. Отже дана шина задовольняє всім умовам вибору.

## 2.8 Компонування розподільних пристроїв 110кВ

Підстанції (ПС) 110 кВ споруджують, як правило, відкритими. Їх рекомендується проектувати переважно комплектними, заводського виготовлення.

Спорудження закритих ПС напругою 110 кВ допускається в наступних випадках:

- розташування ПС з трансформаторами 16 МВА і вище на службовій території міст;
- розташування ПС на території міст, коли це допускається містобудівними міркуваннями;
- розташування ПС з великими сніговими заметами, в зонах сильних промислових викидів і в прибережних зонах з сильно засоленої атмосферою.

На ПС 110 кВ зі спрощеними схемами на боці ВН з мінімальною кількістю апаратури, розміщеної в районах із забрудненою атмосферою, рекомендується відкрита установка обладнання ВН і трансформаторів з посиленою зовнішньою ізоляцією.

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

На ПС електропостачання промислових підприємств передбачається водяне опалення, приєднане до теплових мереж підприємств.

Будівлі ЗРУ (закритих РУ) допускається виконувати як окремі, так і зблоковані з будинками РПУ в тому числі і по вертикалі.

КРПЕ напругою 110 кВ і вище беруть при техніко-економічному обґрунтуванні при обмежених умовах, а також в районах із забрудненою атмосферою. Трансформатори 110 кВ слід встановлювати відкритими, а в районах із забрудненою атмосферою – з посиленою ізоляцією. В ЗРУ 110 кВ і в закритих камерах трансформаторів необхідно передбачати стаціонарні вантажопідйомні пристрої або можливість застосування вантажопідіймальних машин (самохідних, пересувних) для механізації ремонту і технічного обслуговування.

## **2.9 Компонування розподільних пристроїв 6-35 кВ**

РУ 6-35 кВ для комплектних трансформаторів ПС виконується у вигляді КРУН або КРУ, встановлюваних в закритих приміщеннях.

РУ 6-35 кВ закритого типу (в будинках, в тому числі з УТБ або полегшених конструкцій типу панелі «сендвіч» і ін.) можуть застосовуватися:

а) в районах, де за кліматичними умовами (забруднення атмосфери або наявність снігових заметів або запорошених забирає) неможливе застосування КРУН;

б) при кількості шаф більше 25;

в) при наявності техніко-економічного обґрунтування.

В ЗРУ 6-35кВ рекомендується встановлювати шафи КРУ заводського виготовлення. Для їх ремонту і зберігання викочування візка в ЗРУ слід передбачати спеціальне місце.

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

### 3. Розрахунок релейного захисту

Розрахувати захист трифазного триобмоткового автотрансформатора:

Тип трансформатора	Реле захисту
АТДЦТН-250000/220/110	РНТ-560

Таблиця 3.1 – Технічні дані трансформатора

Тип	Номінальна потужність, МВА	Номінальна напруга обмоток, кВ			Втрати, кВт		Напруга			Струм XX %
		ВН	СН	НН	XX	КЗ	ВН	ВС	СН	
АТДЦТН-250000/220/110	250	230	121	10,5	190	670	11	32	20	0,4

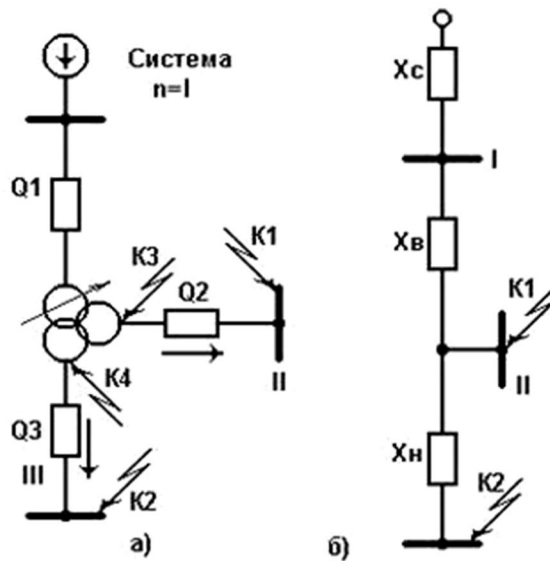


Рисунок 3.1 – Пояснювальна схема (а) і схема заміщення (б) для розрахунку захисту понижувального трансформатора

#### 3.1 Розрахунок опору трансформатора

Для складання схеми заміщення (рис.3.1б) розраховуються опори трансформатора:

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Манжос				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Волохін					33	53
Реценз.					СумДУ гр. ЕТдн-74гл		
Н. Контр.							
Утверд.	Лебединський						
					Розробка конфігурації електричної мережі та розрахунок її параметрів		

$$U_{кВ} = 0,5(U_{кВН} + U_{кВС} - U_{кСН}) = 0,5(11+32-20) = 11,5\%;$$

$$U_{кС} = 0\%;$$

$$U_{кН} = 0,5(-U_{кВН} + U_{кВС} + U_{кСН}) = 0,5(-11+32+20) = 20,5\%.$$

$$X_B = \frac{U_{кВ} \cdot U_{ср.ном}^2}{100 \cdot S_H} = \frac{11,5 \cdot 230^2}{100 \cdot 250} = 24,3 \text{ Ом};$$

$$X_H = \frac{U_{кН} \cdot U_{ср.ном}^2}{100 \cdot S_H} = \frac{20,5 \cdot 230^2}{100 \cdot 250} = 43,4 \text{ Ом};$$

### 3.2 Розрахунок струму КЗ для захисту трансформатора

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

$$I_{к.макс(К1)}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot X_B} = \frac{230}{\sqrt{3} \cdot 24,3} = 5,5 \text{ кА};$$

$$I_{к.макс(К1)}^{(2)} = \frac{U_{ср.ном}}{2X_B} = \frac{230}{2 \cdot 24,3} = 4,7 \text{ кА}.$$

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

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

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

### 3.3 Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту

Попередній розрахунок диференційного захисту та вибір типу реле.

1. Струм спрацьовування захисту реле визначається за більшим з двох розрахункових умов:

а) відбудування від кидка струму намагнічування:

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

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

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

б) відбудування від струму небалансу:

$$I_{c.3} = k_3 (k_{\text{одн}} \varepsilon) I_{K.\text{макс}(K1)}^{(3)} = 1,3(1 \cdot 0,1) \cdot 5500 = 715 \text{ A} .$$

Беремо  $I_{c.3} = 715 \text{ A}$ .

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

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{K.\text{мин}(K2)}^{(2)}}{I_{c.3}} = \frac{1690}{715} = 2,4 > 2 .$$

3. 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  $n$  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:

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

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

Визначаємо вторинні номінальні струми плечей захисту:

а) сторона ВН:

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

б) сторона СН:

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

в) сторона НН:

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

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

$K_{I.n}$  – 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 3.2

Таблиця 3.2 – Розрахунок первинних і вторинних струмів сторін трансформатора.

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

За основну сторону беремо сторону основного живлення 230 кВ.

Струм спрацьовування реле для основної сторони визначаємо за виразом:

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

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

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

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  $I_{\text{с.р.осн}} = \frac{100}{18} = 5,55 \text{ А}$ .

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 38,5 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 спрацювання реле визначається за виразом:

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

Оскільки уточнений розрахунковий струм спрацювання реле (5,1А) менший за фактичний (5,6А), то вибір робочих витків закінчено.

Таким чином, до установки на реле приймаються наступні витки  $w_{\text{ВН}} = 18$ ,  $w_{\text{СН}} = 16$ ,  $w_{\text{НН}} = 25$ .

### 3.4 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 по напрузі.

1. Першочергово визначаємо струм спрацьовування МСЗ без пуску за напругою у відповідності з виразом:

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

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 рухової навантаження після відновлення напруги  $k_c=(1,5-2,5)$ ;

$I_{нагрмакс}$  – максимальний струм навантаження (приймається рівним номінальному струму трансформатора).

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

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мин(K1)}^{(2)}}{I_{с.з}} = \frac{4700}{1701} = 2,6 \quad \text{і} \quad k_{ч} = \frac{I_{к.мин(K2)}^{(2)}}{I_{с.з}} = \frac{1690}{1701} = 1,01 > 1.$$

Чутливість МСЗ без пуску по напрузі виявляється достатньою.

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38



## 4. Охорона праці.

### Вимоги до персоналу, який працює з електроустановками.

#### 4.1 Види персоналу та його підготовка

Відповідно до вимог Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС) в організації (у Споживача) повинна бути створена енергослужба, укомплектована кваліфікованим електротехнічним персоналом з числа осіб, які досягли 18-річного віку, що пройшли медичний огляд і не мають протипоказань. Для цих цілей можуть залучатися працівники спеціалізованих організацій.

Весь персонал, що здійснює експлуатацію електроустановок або за специфікою роботи має контакт з ними, поділяють на:

- електротехнічний персонал;
- електротехнологічний персонал;
- неелектротехнічний персонал.

Електротехнічний персонал поділяють на:

- адміністративно-технічний (керівники та фахівці, що здійснюють організацію робіт в електроустановках);
- оперативний, який здійснює оперативне управління та обслуговування електроустановок (огляд, оперативне переключення, підготовку робочого місця, допуск і нагляд за працюючими, виконання робіт в порядку поточної експлуатації);
- ремонтний (що забезпечує технічне обслуговування та ремонт, монтаж, наладку, випробування електроустаткування);
- оперативно-ремонтний (спеціально навчений і підготовлений для оперативного обслуговування в затвердженому обсязі закріплених за ним електроустановок).

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Манжос</i>			<i>Розробка конфігурації електричної мережі та розрахунок її параметрів</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Волохін</i>					39	53
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ гр. ЕТдн-74гл</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		<i>Лебединський</i>						

Електротехнологічний персонал – це персонал, що обслуговує електротехнологічні установки (електрозварювання, електроліз, електротермія, електрокари і т.п.), а також установки, при роботі яких потрібне постійне технічне обслуговування і регулювання електроапаратури, електроприводів. Це так само персонал, що працює з ручними, переносними, пересувними електроприймачами, включаючи переносні електроінструменти. У своїх правах і обов'язках електротехнологічний персонал прирівнюється до електротехнічного, повинен мати групу з електробезпеки не нижче II.

Неелектротехнічний персонал не підпадає під визначення електротехнічного і електротехнологічного. Це персонал, який обслуговує виробниче обладнання, що живиться електричним струмом (металообробні верстати, електроінструменти, будь-які інші електрофіковані машини і агрегати), а також особи, які за специфікою роботи можуть мати контакт з таким обладнанням (слюсарі, прибиральниці і т.п.).

Керівники, в чиєму підпорядкуванні перебуває електротехнологічний персонал, повинні мати групу з електробезпеки не нижче ніж у підлеглого персоналу.

Перелік посад і професій електротехнічного і електротехнологічного персоналу, представникам яких необхідно мати відповідну групу з електробезпеки, затверджує керівник організації. Самому керівнику організації, головному інженеру, технічному директору присвоєння групи не обов'язково, але якщо вони бажають її мати, то отримують на загальних підставах.

Працівники, що приймаються для виконання робіт в електроустановках, повинні мати професійну підготовку, що відповідає характеру роботи. При її відсутності вони повинні бути навчені (до допуску до самостійної роботи) в спеціалізованих центрах підготовки персоналу (навчальних комбінатах, навчально-тренувальних центрах і т.п.). Програми підготовки електротехнічного персоналу із зазначенням у них необхідних розділів правил та інструкцій, які підлягають вивченню, складають керівники (відповідальні за електрогосподарство) структурних підрозділів. Їх можуть затверджувати

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпись</i>	<i>Дата</i>		40

відповідальні за електрогосподарство Споживача (організації). Програма підготовки повинна передбачати також стажування, перевірку знань, дублювання.

Електротехнічний персонал до призначення на самостійну роботу або при переході на іншу роботу (посаду), пов'язану з експлуатацією електроустановок, а також при перерві в роботі в якості електротехнічного персоналу понад рік зобов'язаний під керівництвом відповідального навчального працівника (призначеного розпорядчим документом) пройти стажування – практичне освоєння на робочому місці навичок виконання роботи, придбаних при професійній підготовці. Термін стажування становить від 2 до 14 змін. Її проводять за затвердженими в установленому порядку програмами, розробленими для кожної посади (робочого місця). Керівник організації або структурного підрозділу може звільнити від стажування працівника, що має стаж за фахом не менше трьох років, що переходить з одного цеху в інший, якщо характер його роботи та тип обладнання, на якому він працював раніше, не змінюється.

Допуск до стажування оформляють відповідним документом керівника організації або структурного підрозділу. У ньому вказують календарні терміни стажування та прізвища працівників, відповідальних за її проведення. Тривалість стажування встановлюється індивідуально залежно від рівня професійної освіти, досвіду роботи, професії (посади), кого навчають.

Крім стажування, оперативний та оперативно-ремонтний персонал зобов'язаний проходити дублювання, спеціальну підготовку, контрольні протиаварійні та протипожежні тренування, професійну додаткову освіту для безперервного підвищення кваліфікації.

Дублювання – це управління енергоустановкою або несення інших функцій на робочому місці під управлінням особи, відповідальної за підготовку дублера. Допуск до дублювання для оперативного персоналу і до самостійної роботи – для адміністративно-технічного та ремонтного персоналу оформляють відповідним розпорядчим документом. Тривалість дублювання – від 2 до 12 робочих змін (для конкретного працівника встановлюється рішенням комісії з перевірки знань в залежності від рівня його професійної підготовки, стажу і досвіду роботи). Під

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

час дублювання учень може проводити оперативні переключення, огляди та інші роботи в електроустановках тільки з дозволу та під наглядом навчального.

У період дублювання працівник повинен взяти участь у контрольних протиаварійних та протипожежних тренуваннях з оцінкою результатів і оформленням у відповідних журналах. Кількість тренувань і їх тематика визначаються програмою підготовки дублера. Допуск до самостійної роботи після дублювання оформляють документом керівника Споживача. Відповідальність за правильність дій учня і дотримання ним правил несуть як сам учень, так і працівник, що його навчає.

Спеціальна підготовка – це форма підтримки кваліфікації працівника шляхом його систематичного тренування в управлінні виробничими процесами на учбово-тренувальних засобах, формуванні його знань, умінь і навичок, опрацювання організаційно-розпорядчих документів та ін.

## 4.2 Групи з електробезпеки

Електротехнічний, електротехнологічний, а також неелектротехнічний персонал, по роду роботи дотичний з електроустановками і за певних умов може отримати електротравму, повинен володіти певним рівнем знань і практичних навичок і мати відповідну групу з електробезпеки. Всього передбачено п'ять груп: група I – нижча за рівнем знань і практичних навичок в електробезпеки, група V – вища.

Групу I привласнюють тільки неелектротехнічному виробничому персоналу, який обслуговує електрофіковане технологічне обладнання, верстати, електроінструменти або виконує роботи, при яких може виникнути небезпека ураження електричним струмом (токарі, слюсарі, прибиральники виробничих приміщень тощо).

Перелік професій, робочих місць, що вимагає віднесення виробничого персоналу до групи I, визначає керівник організації. Присвоєння групи I проводить призначений керівником організації працівник з числа

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		42

електротехнічного персоналу, що має групу III. Він проводить інструктаж даного виробничого персоналу, перевіряє знання шляхом проведення усного опитування, а при необхідності – і набуті навички безпечних прийомів роботи і надання першої допомоги при ураженні електричним струмом. Присвоєння групи I реєструють у журналі встановленої форми. Посвідчення особам з групою I не видають.

Відповідно до Правил з охорони праці при експлуатації електроустановок, для одержання групи I необхідно мати загальні уявлення про небезпеку електричного струму, умовах його появи на корпусах устаткування, інструментах, приладах і т.п., про елементарні заходи обережності і про найпростіші прийомах надання першої допомоги постраждалим. Присвоєння групи I з електробезпеки повторюють щорічно.

Групи II–V привласнюють електротехнічному (електротехнологічному) персоналу.

Для отримання групи II працівник повинен пройти навчання за 72-годинною програмою, володіти елементарними технічними знаннями про електроустановки, мати чітке уявлення про небезпеку електричного струму і наближення до струмоведучих частин, знати основні запобіжні заходи, мати практичні навички надання першої допомоги потерпілому від електричного струму.

Для отримання групи III працівник повинен мати елементарні знання в загальній електротехніці, знати електроустановки, вміти їх обслуговувати, знати загальні правила техніки безпеки, вміти забезпечувати безпечне ведення робіт і вести нагляд за працюючими, вміти звільняти потерпілого від електричного струму і надавати йому першу допомогу.

Для отримання групи IV необхідно знати електротехніку в обсязі профтехучилища, правила безпеки при експлуатації електроустановок в обсязі займаної посади, знати схеми електроустановок, вміти проводити інструктаж, організовувати безпечне проведення робіт, вести нагляд за членами бригади, вміти навчати персонал правилам техніки безпеки.

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Для отримання групи V необхідно знати схеми електроустановок, правила безпеки при експлуатації електроустановок, вміти здійснювати безпосереднє керівництво роботами в електроустановках будь-якої напруги, вміти чітко викладати вимоги заходів безпеки при проведенні інструктажу працівників, вміти навчати персонал правилам техніки безпеки, практичним прийомам надання першої медичної допомоги.

Присвоєнню чергової групи повинен передувати певний стаж роботи в попередній групі. Він залежить від наявності та рівня базової і спеціальної освіти працівника і коливається від 1 до 24 міс.

Групи III–V привласнюють працівникам старше 18 років.

Державні інспектори, фахівці з охорони праці, які контролюють електроустановки, не відносяться до електротехнічного (електротехнологічного) персоналу. Вони повинні мати групу IV. Інспектори з енергетичного нагляду, фахівці з охорони праці енергопостачальних організацій можуть мати групу V.

#### **4.3 Перевірка знань електротехнічного персоналу**

Перевірку знань норм і правил роботи в електроустановках у електротехнічного і електротехнологічного персоналу здійснюють за затвердженими керівником організації календарними графіками, з якими цей персонал знайомлять заздалегідь.

Перевірка знань працівників розділяється на первинну і періодичну (чергову та позачергову). Первинну перевірку знань проводять у працівників, які вперше потрапили на роботу, пов'язану з обслуговуванням електроустановок, або при перерві в перевірці знань більше трьох років.

Згідно ПТЕЕС періодичну (чергову) перевірку знань особи з числа електротехнічного персоналу, що безпосередньо обслуговують діючі електроустановки, а також особи, які мають право видачі нарядів, розпоряджень, ведення оперативних переговорів, проходять один раз на рік; особи з адміністративно-технічного персоналу, що не відносяться до зазначеної групи, а

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

також фахівці з охорони праці, допущені до інспектування електроустановок, – один раз на три роки.

Позачергову перевірку знань проводять: при введенні нових норм і правил, при порушенні працівником вимог нормативних актів, на вимогу органів державного нагляду, при перевірці знань для одержання більш високої групи, при перерві в роботі більше 6 міс.

Перевірку знань у відповідальних за електрогосподарство, у їхніх заступників, а також у фахівців з охорони праці, в обов'язки яких входить контроль за електроустановками, проводять в комісії органів Держенергонагляду.

Для перевірки знань електротехнічного та електротехнологічного персоналу керівник організації створює наказом комісію у складі не менше п'яти осіб. При проведенні процедури перевірки знань повинно бути присутні не менше трьох членів комісії, у тому числі (обов'язково) голова (заступник голови) комісії.

Голова комісії повинен мати групу IV, якщо в організації немає електроустановок напругою понад 1000 В, і групу V, якщо такі є. Головою комісії, як правило, призначають відповідального за електрогосподарство. Члени комісії повинні мати групу з електробезпеки і пройти перевірку знань у відповідних органах Держнагляду. Допускається перевірка знань окремих членів комісії на місці, за умови, що голова і не менше двох членів комісії пройшли перевірку знань в комісії органів Держенергонагляду.

За результатами перевірки знань привласнюють відповідну групу з електробезпеки і видають посвідчення встановленої форми. Результати перевірки знань заносяться в журнал встановленої форми і підписуються всіма членами комісії.

#### **4.4 Відповідальні за електрогосподарство**

Для безпосереднього виконання обов'язків з організації експлуатації електроустановок керівник організації відповідним документом призначає з числа керівників підрозділів або фахівців відповідальної за електрогосподарство та його

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45

заступника (заступник може не призначатися, якщо встановлена потужність електроустановок в організації не перевищує 10 кВА). Якщо в організації є головний енергетик, то обов'язки відповідального за електрогосподарство покладають на нього. В організаціях, які не займаються виробничою діяльністю, у яких електрогосподарство включає в себе тільки ввідний (ввідно–розподільний) пристрій, освітлювальні установки, переносне електрообладнання напругою не вище 380 В, відповідальний за електрогосподарство може не призначатися. Його обов'язки керівник організації може покласти на себе.

Призначення відповідальної за електрогосподарство проводять після перевірки знань в комісії органів Держенергонагляду та присвоєння групи з електробезпеки: V – в електроустановках напругою вище 1000 В, IV – до 1000 В. У структурних підрозділах можуть бути також призначені відповідальні за електрогосподарство.

Відповідальний за електрогосподарство зобов'язаний:

- організовувати розробку та ведення необхідної документації з питань експлуатації електроустановок;
- організовувати навчання, інструктування, перевірку знань і допуск до самостійної роботи електротехнічного персоналу;
- організовувати безпечне проведення всіх видів робіт в електроустановках, в тому числі за участю відрядженого персоналу;
- контролювати наявність, своєчасність перевірок та випробувань засобів захисту в електроустановках, засобів пожежогасіння та інструменту;
- організовувати оперативне обслуговування електроустановок та ліквідацію аварійних ситуацій;
- забезпечувати перевірку відповідності схем електропостачання фактичним експлуатаційним з відміткою на них про перевірку (не рідше одного разу на два роки); перегляд інструкцій і схем (не рідше одного разу на три роки); контроль замірів показників якості електричної енергії (не рідше одного разу на два роки); підвищення кваліфікації електротехнічного персоналу (не рідше одного разу на п'ять років);

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46



- контролювати правильність допуску персоналу будівельно–монтажних і спеціалізованих організацій до робіт в діючих електроустановках і в охоронній зоні ліній електропередачі, а також виконувати інші функції, встановлені ПТЕЕС.

В інструкції відповідальної за електрогосподарство додатково слід вказувати його права і передбачати відповідальність.

Слід ще раз підкреслити, що відповідальними за електрогосподарство можуть бути призначені лише особи з числа керівників структурних підрозділів або фахівців, тобто особи, що володіють певним базовим рівнем знань і досвідом роботи. На жаль, в сільськогосподарських підприємствах часом можна зустріти призначених відповідальних з числа робітників, скотарів і навіть пастухів, які не проходили ніякого навчання і не мають групи з електробезпеки, що, безумовно, неприпустимо.

#### **4.5 Охорона праці при ремонті обладнання електроустановок**

До роботи в якості електрика по ремонту електроустановок допускаються особи, що пройшли навчання, інструктаж з охорони праці, стажування на робочому місці, здали екзамен на допуск до самостійної роботи і на групу по електробезпеці.

Під час роботи електрик повинен користуватися спецодягом, спецвзуттям і індивідуальними засобами захисту. Перед використанням він повинен перевірити їх стан. Спецодяг треба носити в застебнутому виді, він не повинен мати кінців, що звисають.

Забороняється прати спецодяг і мити руки в легкозаймистих рідинах.

При роботі необхідно користуватися справним інструментом і контрольними приладами, що виключають іскроутворення і враження електричним струмом.

Забороняється складати інструмент, прилади і деталі на електродвигуни, які працюють, насоси та інше технологічне обладнання.

Використаний матеріал (ганчір'я) необхідно складати в спеціально відведене для цього місце.

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

Палити і приймати їжу треба тільки в спеціально відведених для цієї мети місцях.

Електромонтер повинен знати способи надання першої (долікарської) допомоги.

Електричні машини повинні бути розміщені так, щоб їх експлуатація, огляд і ремонт були зручними і безпечними. Корпуси електричних машин, пускові і регулюючі пристрої обов'язково заземлюють. Частина електричних машин, які обертаються (вентилятори, відкриті частини валів, муфти) надійно огороджують.

Вимоги безпеки перед початком робіт.

Всі роботи, які виконуються електромонтером з ремонту електрообладнання фіксуються в спеціальному журналі.

Приступати до роботи з електрообладнанням можна тільки після виконання необхідних організаційно-технічних заходів, що передбачені правилами техніки безпеки і правилами технічної експлуатації електроустановок, тобто одержання наряду або розпорядження, а також допуску до роботи.

Перед використанням захисних засобів персонал повинен:

- перевірити справність захисного засобу,
- перевірити відсутність зовнішніх пошкоджень,
- перевірити чистоту.

При використанні захисних засобів (штанг, кліщів, покажчиків) необхідно перевірити за клеймом, в установках якої напруги допускається використання даного засобу, чи не минув термін його дії.

Вимоги безпеки під час виконання робіт.

Електричні машини або частини вагою до 40 кг дозволяється підіймати і переносити вручну. Більш важкі машини і деталі необхідно переміщати спеціальними підйомними засобами.

При внутрішньому огляді, вимірюванні зазорів, центруванні, заміні змазки, регулюванні щіток, перевірки опору ізоляції електричну машину треба

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

відключити від мережі.

При огляді не допускається використовувати переносну електролампу напругою більше 42В без захисної сітки.

Розборку електродвигунів рекомендується проводити в рукавицях, щоб уберегти руки від травм.

Перед пуском машину перевіряють: кріплення шківів у муфти та інші частини, які обертаються, наявність заземлення.

При роботі агрегату не можна торкатися частин, які обертаються.

В місцях, де промиваються деталі електричних машин займистими речовинами, забороняється курити.

Частину трансформаторів, що виймається, підіймати тільки за допомогою підймальних пристосувань.

Підлога робочого місця для зборки і розборки трансформаторів не повинна бути залита маслом, так як працівник може впасти і одержати травму об гострі частини електричних машин і апаратів.

Працювати в баках трансформаторів забороняється, пари трансформаторного масла отруйні. При роботі в баках, які покриті шаром масла, категорично забороняється користуватися вогнем. Гасити масло вуглекислотними вогнегасниками.

Забороняється розбирати і ремонтувати електропроводку, електричні рубильники, кабель та інше електраобладнання, що знаходиться під напругою.

Під час роботи не дозволяється допускати до свого робочого місця сторонніх осіб, підходити до працюючого товариша, відволікати його сторонніми розмовами, а також відволікатися самому.

Обхід ліній напругою вище 1000В проводиться особами з групою з електробезпеки не нижче II.

При обході треба вважати, що лінії знаходяться під напругою. Особа, яка проводить обхід, навіть знаючи заздалегідь, що лінія відключена, повинна зважати, що в будь-який момент вона може бути включена для випробування в роботі.

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

При виявленні обірваного проводу, що лежить на землі або провисає, особа, яка проводить обхід, повинна прийняти заходи для запобігання можливого наближення до проводу людей, які проходять. Забороняється наближатися до проводу ближче ніж на 10м.

На трансформаторних підстанціях повинні бути чіткі написи, які вказують порядковий номер трансформатора, його потужність і напругу. Повинні бути прикріплені плакати «Стій – небезпечно для життя», «Під напругою».

Трансформаторні підстанції повинні бути забезпечені протипожежними засобами у відповідності з нормами.

При всіх роботах, які виконуються в житловому секторі, необхідно урахувати безпосередню близькість проживання людей, і суворо виконувати всі організаційно-технічні заходи.

Вимоги безпеки по закінченню робіт.

Необхідно переконатися в справності обладнання, приладів. Привести у порядок своє місце, інструмент і пристосування. Доповісти керівникові робіт і начальнику зміни про закінчення робіт, про несправності в обладнанні, приладах.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

При появі небезпеки, яка загрожує аварією або нещасним випадком, електрик зобов'язаний припинити роботу, повідомити про це майстру або іншому ІТП дільниці і прийняти негайно заходи по ліквідації аварійної ситуації.

При нещасному випадку необхідно зупинити роботу, викликати негайно швидку допомогу, повідомити майстра, виконроба або начальника дільниці, надати першу допомогу потерпілому, зберегти на робочому місці обстановку і стан устаткування такими, якими вони були на момент події, нещасного випадку. Під час аварії дії аналогічні.

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

## Висновки

В процесі виконання бакалаврської роботи було проведено попередній розрахунок мережі з метою визначення класу напруг, вибору типу проводів, числа та типу силових трансформаторів підстанцій. Складено схему заміщення мережі і розраховані параметри ліній та трансформаторів. Виконано розрахунок нормального режиму замкнутої мережі (всі лінії включені в роботу) та визначено напруги в вузлах мережі.

Силові трансформатори перевірені на предмет перевантаження. Основою цієї перевірки є добовий графік завантаження підстанції.

Також в роботі проведено вибір головної схеми електричних з'єднань підстанцій, розраховано струми короткого замикання, що дозволило вибрати захисне та комутаційне обладнання:

– роз'єднувачів та вимикачів в розподільчих пристроях усіх класів напруги підстанцій;

– релейного захисту трансформатора.

Диференціальний струмовий захист від усіх видів замикань виконано на реле типу РНТ–560, яке задовольняє умовам вибору. В якості резервного захисту використовуємо МСЗ на реле РТ–40. МСЗ також перевірено на чутливість, яка була достатньою.

Було здійснено вибір трансформаторів власних потреб, вимірювальних трансформаторів струму і напруги на стороні високої та низької напруги.

В розділі Охорона праці були розглянуті основні вимоги до персоналу, який працює з електроустановками, та проаналізовані заходи при ремонті обладнання електроустановок.

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

## Список літератури

1. Електричні системи та мережі : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми: Сумський державний університет, 2018. – 214 с.
2. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 141–Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Освітня програма «Електротехнічні системи електроспоживання»/ укладачі: І.Л. Лебединський, І.І. Борзенков – Суми: СумДУ, 2019. – 40 с.
3. Загальна характеристика та розрахунок режимів розподільних мереж: навч. посібник / В.А. Лушкін, І.Г. Абраменко, І.В. Барбашов та ін.; за ред. І.Г. Абраменка; Харк. нац. акад. міськ. госп–ва. – Х. :ХНАМГ, 2013. – 193 с.
4. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) / В. М. Гаряжа, А. О. Карюк; Харків. нац. ун–т міськ. госп–ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 149 с.
5. Методичні вказівки до виконання розрахунково–графічної роботи на тему „Визначення поточкорозподілення і напруги в електричних районних мережах“ з дисципліни „Електричні системи і мережі“: у 2 ч. / укладачі: І. Л. Лебединський, В. В. Волохін, В. І. Романовський. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – Ч. 2. – 33 с..
6. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему "Розрахунок замкнутої електричної мережі "з курсу " Електричні системи та мережі "/ укладачі І.Л. Лебединський, С.М. Лебедка, В.І. Романовський, В.В. Волохін. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 40 с.
7. Електрична частина станцій та підстанцій : навч. посіб. / В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала. – Івано–Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 243 с.
8. Навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямом «Електротехніка », з курсу «Основи релейного захисту електричних систем».

					БР 5.6.141.488 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		52

Частина III. Розрахунок захистів трансформаторів і автотрансформаторів.  
Маріуполь: ПДТУ, 2001.

9. Електричні мережі та системи. Режими роботи розімкнених мереж / НТУУ «КПІ»; уклад. В. В. Кирик. – Київ : Політехніка, 2014. – 130 с.

10. Правила улаштування електроустановок, вид. сьоме, 736с. 2017.

11. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: третє видання. 2013. – 152 с.

12. ДНАОП 1.1.10–1.07–01 "Правила експлуатації електрозахисних засобів".

13. ДНАОП 0.00–4.12–99 Типове положення про навчання з питань охорони праці.

14. Курс лекцій дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів енергетичних спеціальностей за освітньо-кваліфікаційними рівнями «спеціаліст» і «магістр» / Укл.: Л. Д. Третьякова. – К.: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2016. – 110 с.

					<b>БР 5.6.141.488 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

