

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

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

на тему: **«Розрахунок електричної мережі та підстанції з вибором релейного захисту трансформатора»**

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав студент  
групи ЕТдн-61Гл

П.С. Хиль

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

\_\_\_\_\_ Хиля Павла Сергійовича \_\_\_\_\_

1. Тема роботи: «Розрахунок параметрів електричної мережі та вибір обладнання підстанції напругою 110/10 кВ»  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

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

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розрахунок електричної мережі	01.03.2020 р.	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	25.03.2020 р.	
3	Релейний захист трансформатора	10.04.2020 р.	
4	Охорона праці	01.05.2020 р.	
5	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	01.06.2020 р.	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

**Бібліографічний опис:** Хиль П.С. Розрахунок параметрів електричної мережі та вибір обладнання підстанції напругою 110/10 кВ: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / П.С. Хиль; керівник С.М. Лебедка. – Суми: СумДУ, 2020. – 47 с.

**Ключові слова:** розрахунок параметрів ЛЕП, трансформаторів, вибір підстанційного обладнання, РЗА;

расчет параметров ЛЭП, трансформаторов, выбор подстанционного оборудования, РЗА

calculation of parameters of power lines, transformers, choice of substation equipment, relay protection devices

**Короткий огляд** – розраховано параметри електричної мережі, виконаний розрахунок електричної частини підстанції, здійснений вибір комутаційного й вимірювального обладнання, виконаний основний релейний захист трансформатора.

## Зміст

Вступ	5
1. Розрахунок електричної мережі	6
2. Розрахунок електричної частини підстанції	16
3. Розрахунок релейного захисту трансформатора	33
4. Охорона праці	38
Висновки	46
Список літератури	47

					<i>БР 5.6.141.909 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Хиль</i>				<i>Розрахунок параметрів електричної мережі та вибір обладнання підстанції напругою 110/10 кВ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Лебедка</i>						2	47
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТдн-61Гл</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Лебединський</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 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

# 1 Розрахунок електричної мережі

Вихідні дані для виконання роботи:

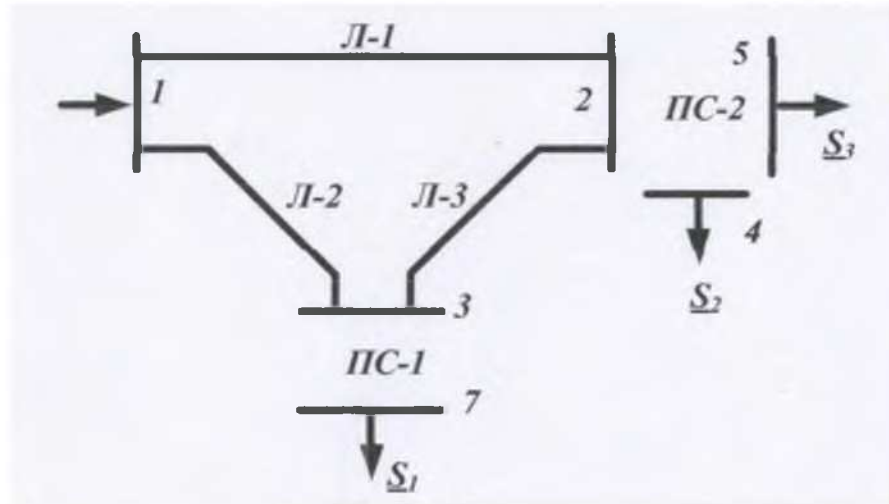


Рисунок 1 – Вихідна однолінійна електрична схема з'єднань заданої електричної мережі

Таблиця 1 Вихідні данні електричної мережі

Довжина ВЛ, км			Потужність навантажень вузлів, МВА		
Л-1	Л-2	Л-3	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$
60	30	20	$\frac{90+j90}{I}$	$\frac{40+j25}{II}$	$\frac{20+i20}{III}$

Приймемо навантаження вузла 1 рівним навантаженню вузла 3 навантаження, вузла 7 рівною сумі навантажень вузлів 5 та 6. Зобразимо замкнуту мережу, що складається з ліній Л1, Л2 , Л3 (рис. 2). Знайдемо розрахункові навантаження вузлів 3 та 2.

$$\underline{S}_{2p} = \underline{S}_2 + \underline{S}_3 = 60 + j45 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{3p} = \underline{S}_1 = 90 + j90 \text{ МВА}$$

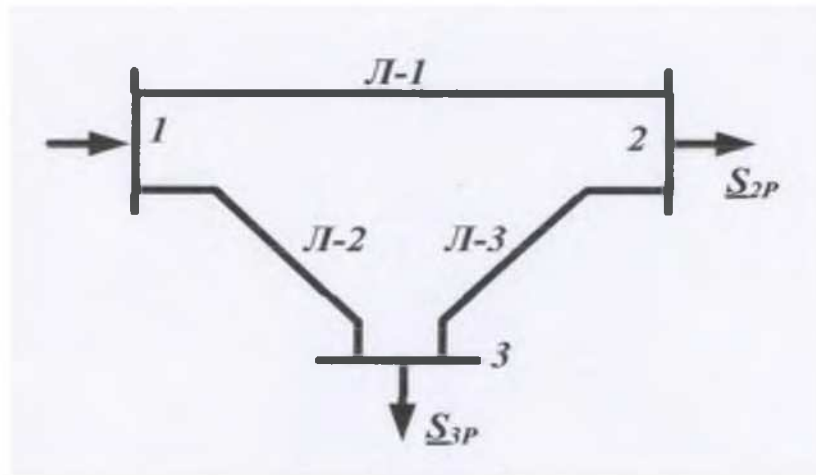


Рисунок 2 – Замкнута мережа.

Розімкнемо замкнуту мережу, що представлена на малюнку 2, по вузлу 1 (рис. 3) и позначимо потужності на ділянках мережі.

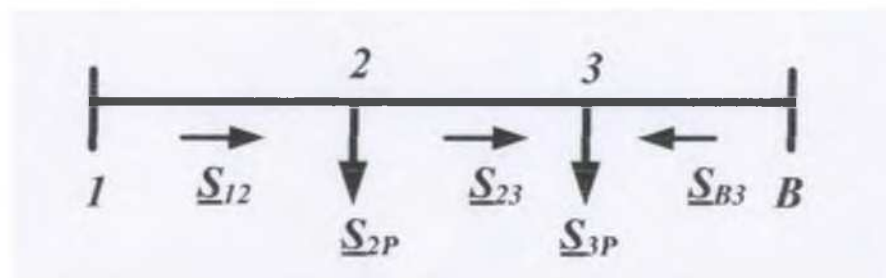


Рис. 3 – Розімкнена мережа

Визначимо потужності на ділянках розімкненої мережі

$$\underline{S}_{12} = ( (\underline{S}_{2P} * (L_{23} + L_{3B}) + \underline{S}_{3P} * (L_{3B}) ) / (L_{23} + L_{3B} + L_{12}) = 51,42 + j45,83 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_{12} - \underline{S}_{2P} = 8 + j0 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{B3} = ( \underline{S}_{2P} * (L_{12}) + \underline{S}_{3P} * (L_{23} + L_{12}) ) / (L_{23} + L_{3B} + L_{12}) = 98,58 + j9,173 \text{ МВА}$$

Складемо рівняння балансу потужності

$$\underline{S}_{3P} + \underline{S}_{2P} = \underline{S}_{12} + \underline{S}_{B3}$$

$$150 + j135 = 150 + j135$$

Баланс потужності зійшовся. Потужність ділянки 2-3 вийшла додатною, тому точка 3 являється точкою поточкорозділу.

Визначимо напруги на ділянках мережі за формулою Ілларіонова.



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

Таблиця 2 Напруги на ділянках мережі

Номер ділянки	Л-1	Л-2	Л-3
Довжина ділянки, км	50	40	30
Напруга ділянки, кВ	151	139	45

Визначаємо струми провідників ліній

$$I = S / \sqrt{3} * U$$

Таблиця 3 Струми на ділянках мережі

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3
Струм, кА	0,466	0,356	0,029

Приймаємо для ліній провід марки АС-240/32.

Таблиця 4 Марка и параметри проводів

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3
Марка и переріз провода	АС-240/32	АС-240/32	АС-240/32

Всі лінії двох ланцюгові.

Знайдемо параметри ліній електричної мережі

Значення активних і реактивних опорів ліній, а також значення ємнісної потужності, наведені а таблиці 5.

$$R_{л} = R_0 * L ; X_{л} = X_0 * L_{л} ; \frac{j * Q_{л}}{2} = U_{ном} * \frac{b_{л} * L_{л}}{2}$$

Таблиця 5 Розрахункові параметри повітряної лінії мережі

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3
Ділянки	1-2	В-3	2-3

$R_{\Sigma}$	Ом	3,6	1,8	1,2
$X_{\Sigma}$	Ом	12,15	6,075	4,05
$Q_{\Sigma}/2$	МВАр	0,99	0,5	0,33

По напругам мережі і навантаженням вибираємо трансформатори

Для ПС-3

$$S_T = \frac{S_2 + S_3}{1,4} = \frac{\sqrt{60^2 + 45^2}}{1,4} = 53,75 \text{ МВА}$$

По напрузі і потужності навантаження вибираємо два трансформатора ТДТН-63000/110

Визначимо коефіцієнт завантаження

$$K_3 = \frac{S_2 + S_3}{2S_T} = 0,6$$

Так як коефіцієнт завантаження менше 0,75, то вибрані трансформатори підходять під наші умови.

Таблиця 6 Каталогні дані трансформатора ТДТН-63000/110

Тип	$S_{\text{НОМ}}$ , МВА	Каталожні дані					
		$U_{\text{НОМ}}$ обмоток, кВ			$U_K$ , %		
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н
ТДТН-63000/110	63	115	38,5	6,6 ; 11	10,5	17	6,5

Продовження таблиці 6

Тип	Каталожні дані			Розрахункові дані						
	$\Delta P_K$ , кВт	$P_X$ , кВт	$I_X$ , %	$R_T$ , Ом			$X_T$ , Ом			$\Delta Q_X$ , кВАр
				ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
ТДТН-63000/110	290	56	0,7	0,5	0,5	0,5	22	0	13,6	441

Для ПС-1

					БР 5.6.141.909 ПЗ				Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Навантаження  $\underline{S}_1$  відноситься до другої категорії, тому для забезпечення надійності електрозабезпечення вибираємо два трансформатора.

$$S_{T=1,4} = \frac{\underline{S}_1 \cdot \sqrt{90^2 + 90^2}}{1,4} = 90,1 \text{ МВА}$$

По напрузі та потужності навантаження вибираємо трансформатор ТДЦ-125000/110

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформатора

$$K_3 = \frac{\underline{S}_1}{2 \cdot S_T} = \frac{\sqrt{90^2 + 90^2}}{2 \cdot 125} = 0,51$$

Таблиця 7 каталожні дані трансформатора ТДЦ-125000/110

Тип	S <sub>ном</sub> , МВА	Каталожні дані						Розрахункові дані		
		U <sub>ном</sub> , кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> , Ом	X <sub>т</sub> , Ом	ΔQ <sub>х</sub> , кВАр
		ВН	НН							
ТДЦ- 125000/110	125	181	10,5;13,8	10,5	400	120	0,55	0,37	12,3	687,5

Складаємо однолінійну схему електричної мережі з урахуванням трансформаторів підстанцій

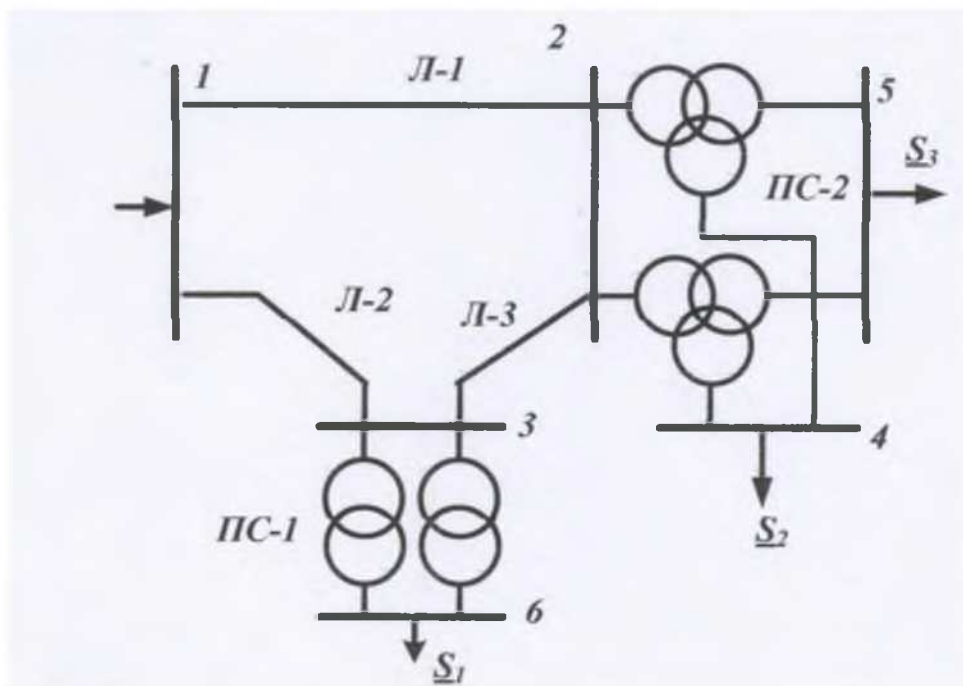


Рисунок 4 – Однолінійна схема електричної мережі

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

Визначаємо розрахункову потужність в вузлі ЗПС-1 з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів при максимальному навантаженні. Малюємо схему заміщення двох обмоточних трансформаторів, ввімкнених паралельно і розраховуємо потужність.

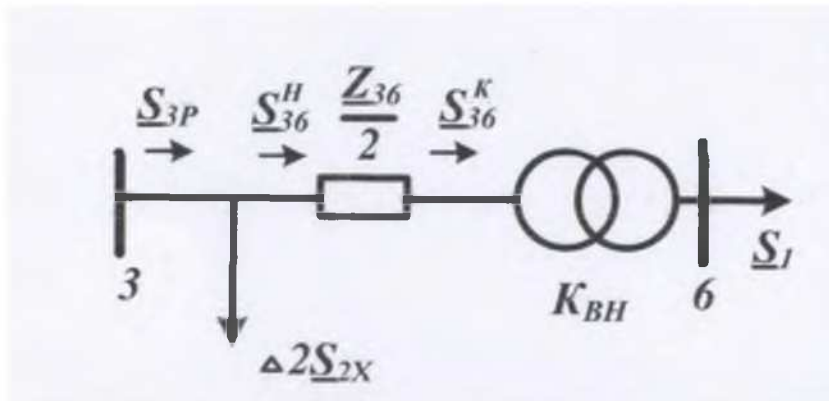


Рисунок 5 – Схема заміщення підстанції ПС-1

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{36}^K$ :

$$\underline{S}_{36}^K = \underline{S}_1 = 90 + j90 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{36}^H$ :

$$\underline{S}_{36}^H = \underline{S}_{36}^K + \frac{(P_{36}^K) + (Q_{36}^K)}{U_{\text{н}}^2} * \frac{Z_{36}}{2} = 90,16 + j94,01 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність :

$$\underline{S}_{3P} = \underline{S}_{36}^H + \Delta 2S_x = 90,36 + j95,53 \text{ МВА}$$

Визначаємо розрахункову потужність в вузлі 2 ПС-2 з урахування втрат в обмотках трансформаторів при максимальному навантаженні. Намалюємо схему заміщення трьохобмоточного трансформатора.

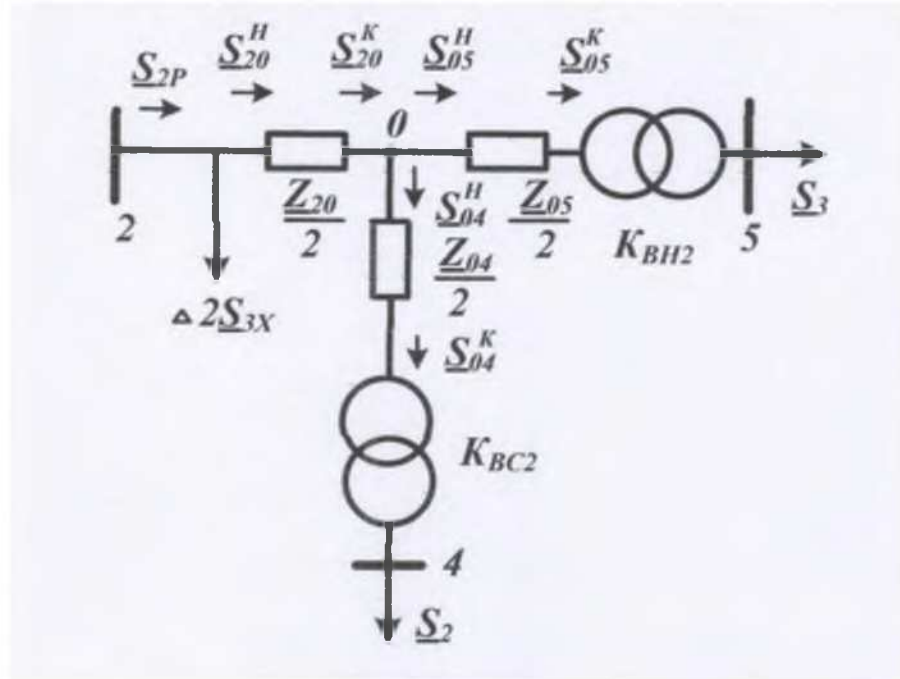


Рисунок 7 – Схема заміщення підстанції ПС-2

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

$$\underline{S}_{05}^K = \underline{S}_3 = 20 + j20 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність:

$$\underline{S}_{05}^H = \underline{S}_{05}^K + \frac{(P_{05}^K) + (Q_{05}^K)}{U_{\text{н}}^2} * \frac{Z_{05}}{2} = 20,01 + j20,22 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{04}^K$ :

$$\underline{S}_{04}^K = \underline{S}_2 = 40 + j25 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність:

$$\underline{S}_{04}^H = \underline{S}_{04}^K + \frac{(P_{04}^K) + (Q_{04}^K)}{U_{\text{н}}^2} * \frac{Z_{04}}{2} = 40,02 + j25 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{20}^K$ :

$$\underline{S}_{20}^K = \underline{S}_{05}^H + \underline{S}_{04}^H = 60,04 + j45,28 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{20}^H$ :

$$\underline{S}_{20}^H = \underline{S}_{20}^K + \frac{(P_{20}^K) + (Q_{20}^K)}{U_{\text{н}}^2} * \frac{Z_{20}}{2} = 60,15 + j50,36 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{2P}$ :

$$\underline{S}_{2P} = \underline{S}_{20}^H + 2\Delta\underline{S}_X = 60,2 + j50,8 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужності на ділянках розімкненої мережі з урахуванням втрат потужності в трансформаторах.

$$\underline{S}_{12} = \frac{S_{2P} * (L_{23} + L_{3B}) + S_{3P} * (L_{3B})}{(L_{23} + L_{3B} + L_{12})} = 52,1 + j57,26 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_{12} - \underline{S}_{2P} = 8,19 - j6,46 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{B3} = \frac{S_{2P} * (L_{12}) + S_{3P} * (L_{23} + L_{12})}{(L_{23} + L_{3B} + L_{12})} = 98,6 + j97,16 \text{ МВА}$$

Складемо рівняння балансу потужності:

$$\underline{S}_{3P} + \underline{S}_{2P} = \underline{S}_{12} + \underline{S}_{B3}$$

$$150,54 + j145,46 = 150,54 + j145,46$$

Баланс потужності зійшовся.

Потужність ділянки 2-3 вийшла позитивною, тому точка 3 являється точкою потокорозділу. Складемо схему заміщення електричної мережі з урахуванням потокорозділу.

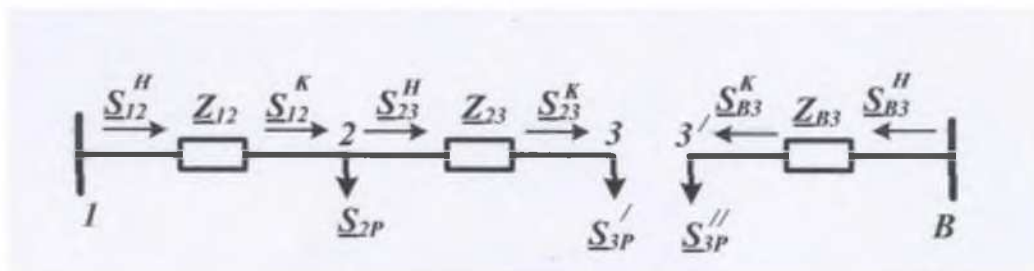


Рис. 9 Розімкнена мережа

Визначимо потокорозділення в двох схемах заміщення, приведених на рис. 9, з урахуванням втрат в лініях.

Визначимо потужність джерела  $\underline{S}_{12}$

Приймаємо  $\underline{S}_{23}^K = \underline{S}_{3P}' = 8,2 + j6,46 \text{ МВА}$

$$\underline{S}_{23}^H = \underline{S}_{23}^K + \frac{(P_{23}^K)^2 + (Q_{23}^K)^2}{U_{\text{н}}^2} * \underline{Z}_{23} = 8,23 + j7,26 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{12}^K = \underline{S}_{23}^H + \underline{S}_{2P} = 68,4 + j58,064 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{12}^H = \underline{S}_{12}^K + \frac{(P_{12}^K)^2 + (Q_{12}^K)^2}{U_{\text{н}}^2} * \underline{Z}_{12} = 70,83 + j66,15 \text{ МВА}$$

Визначимо потужність джерела  $\underline{S}_{B3}$

$$\underline{S}_{B3}^K = \underline{S}_{3P} // = 98,568 + j97,169 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{B3}^H = \underline{S}_{B3}^K + \frac{(P_{B3}^K)^2 + (Q_{B3}^K)^2}{U_H^2} * \underline{Z}_{B3} = 101,1 + j106,46 \text{ МВА}$$

Розрахункова потужність вузла 1

$$\underline{S}_{1P} = \underline{S}_{12}^H + \underline{S}_{B3}^H = 173,24 + j172,90 \text{ МВА}$$

Приймаємо напругу джерела живлення на 10 % більшою номінального значення мережі  $U_1 = 121 \text{ кВ}$

Лінія 1-2

Визначимо напругу вузла 2

$$U_2 = \sqrt{\left( U_1 - \frac{P_{21}^H * R_{21} + Q_{21}^H * X_{21}}{U_1} \right)^2 + \left( \frac{P_{21}^H * X_{21} - Q_{21}^H * R_{21}}{U_1} \right)^2} = 107,35 \text{ кВ}$$

ПС-2

Визначимо напругу вузла 0

$$U_0 = \sqrt{\left( U_2 - \frac{P_{20}^H * R_{20} + Q_{20}^H * X_{20}}{U_2} \right)^2 + \left( \frac{P_{20}^H * X_{20} - Q_{20}^H * R_{20}}{U_2} \right)^2} = 102,0 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 4 по високій стороні

$$U_4^B = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{04}^H * R_{04} + Q_{04}^H * X_{04}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{04}^H * X_{04} - Q_{04}^H * R_{04}}{U_0} \right)^2} = 100,26 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 4 по низькій стороні

$$U_4 = \frac{U_4^B}{U_B} = 33,7 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 5 по високій стороні

$$U_5^B = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{05}^H * R_{05} + Q_{05}^H * X_{05}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{05}^H * X_{05} - Q_{05}^H * R_{05}}{U_0} \right)^2} = 102,94 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 5 по низькій стороні

$$U_5 = \frac{U_5^B}{U_C} = 9,76 \text{ кВ}$$

ПС-1

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Визначимо напругу вузла 3

$$U_3 = \sqrt{\left( U_1 - \frac{P_{13}^H * R_{13} + Q_{13}^H * X_{13}}{U_1} \right)^2 + \left( \frac{P_{13}^H * X_{13} - Q_{13}^H * R_{13}}{U_1} \right)^2} = 116 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 6 по високій стороні

$$U_6^B = \sqrt{\left( U_3 - \frac{P_{36}^H * R_{36} + Q_{36}^H * X_{36}}{U_3} \right)^2 + \left( \frac{P_{36}^H * X_{36} - Q_{36}^H * R_{36}}{U_3} \right)^2} = 106,2 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 6 по низькій стороні

$$U_6 = \frac{U_6^B}{U_B} = 9,75 \text{ кВ}$$

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15



## 2 Розрахунок електричної частини підстанції

Для підстанції були обрані два трансформатори потужністю 63 МВА типу ТДЦН. Задана еквівалентна температура літнього періоду  $t_{\text{екв}} = -10^{\circ}\text{C}$  та навантаження споживачів протягом доби (табл. 2.1.).

$$S_{\text{ном.нав}} = 50 \text{ МВА}$$

Табл. 2.1. – Вихідні дані для проектування

$S_{\text{ном.нав}}$ , МВА	$X_C$ , Ом	$X_{L1}$ , Ом	$X_{L2}$ , Ом	$S_{\text{кз.с}}$ , МВА	$t$ , $^{\circ}\text{C}$
50	20	14	23	1900	-10

Години	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$S_{\text{нав}}$ , %	45	45	60	95	90	95	75	100	95	125	135	110
$S_{\text{нав}}$ , МВА	22,5	22,5	30	47,5	45	47,5	37,5	50	47,5	62,5	67,5	55

За даними табл. 2.1. побудуємо графік навантаження підстанції:

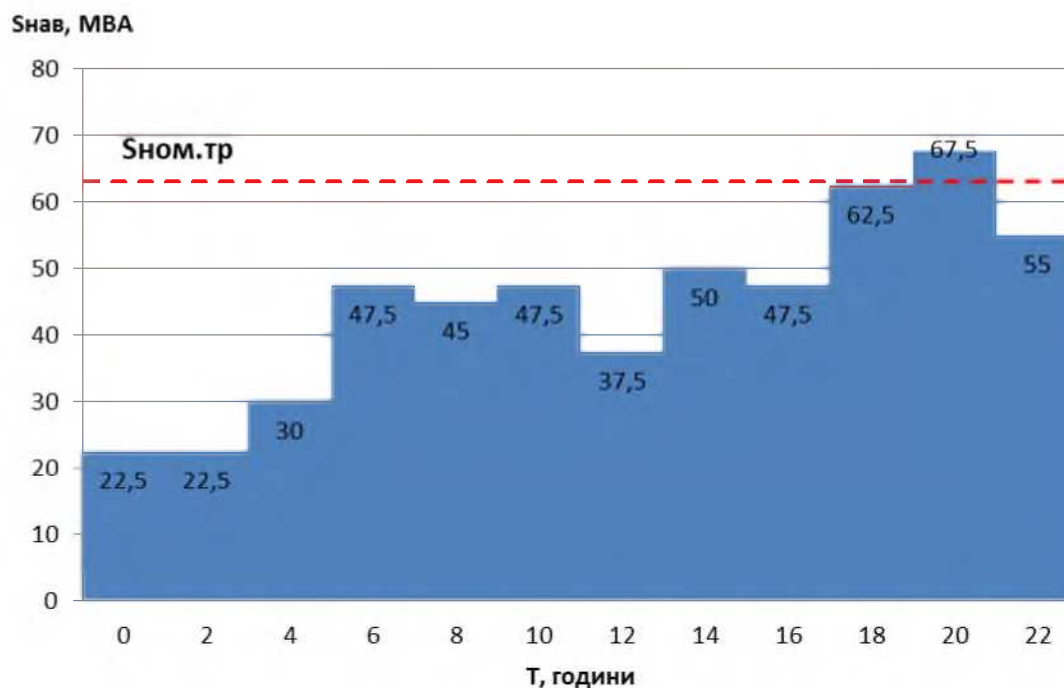


Рис. 2.1 –Графік навантаження підстанції.

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

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

$$K_1 = \frac{1}{63} \times \sqrt{\frac{22.5^2 \times 4 + 30^2 \times 2 + 47.5^2 \times 6 + 45^2 \times 2 + 37.5^2 \times 2 + 50^2 \times 2 + 62.5^2 \times 2 + 55^2 \times 2}{4 + 2 + 6 + 2 + 2 + 2 + 2}}$$

$$K_1 = 0.702$$

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

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

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

$$K_2' = \frac{1}{63} \times \sqrt{\frac{67.5^2 \times 2}{2}} = 1.07$$

Максимальне перевантаження трансформатора складає:

$$K_{МАХ} = \frac{S_{МАХ}}{S_{НОМ.ТР}} = \frac{67.5}{63} = 1.07$$

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

Оскільки  $K_2' > 0.9K_{МАХ} = 0.9 \times 1.07 = 0.963$  то остаточно беремо  $K_2 = 1.07$ . Тривалість систематичних навантажень складає  $h = 2$  години.

За ГОСТом 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду і часу перевантаження 2 години, знаходимо значення перевантаження допустиме  $K_{2ГОСТ}$ . Порівнюємо значення  $K_2 = 1.07$  і  $K_{2ГОСТ} = 1.6$ . Значення  $K_{2ГОСТ}$  більше або дорівнює  $K_2$ , значить трансформатор обраний правильно.

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 2.2.

									Лист
									17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центра живлення складає  $S_{КЗ.С} = 1900$  МВА

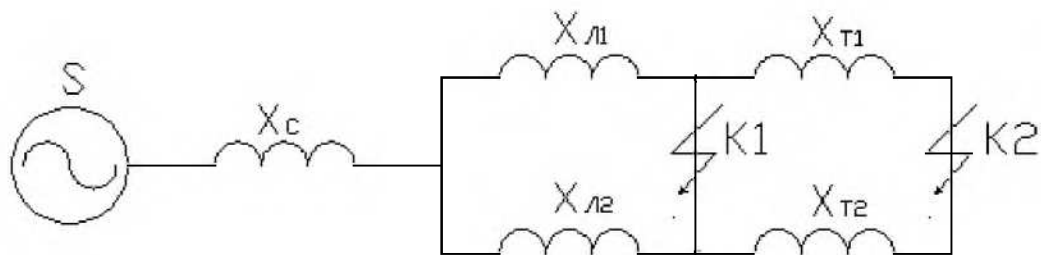


Рис. 2.Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Періодична складова струму КЗ у точці К<sub>1</sub>:

$$I_{K1} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot \left( X_c + \frac{X_{Л1} \cdot X_{Л2}}{X_{Л1} + X_{Л2}} \right)} = \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \left( 20 + \frac{14 \cdot 23}{14 + 23} \right)} = 4.425 \text{ кА}$$

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

$$I_{K2}^B = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot \left( X_c + \frac{X_{Л1} \cdot X_{Л2}}{X_{Л1} + X_{Л2}} + \frac{X_T}{2} \right)} = \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \left( 20 + \frac{14 \cdot 23}{14 + 23} + \frac{100.7}{2} \right)} = 1.606 \text{ кА}$$

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

$$I_{K2} = I_{K2}^B \cdot \frac{220}{10} = 35.33 \text{ кА}$$

Ударний струм:

- у точці К<sub>1</sub> —  $I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot 4.425 = 10.075 \text{ кА}$
- у точці К<sub>2</sub> —  $I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot 35.33 = 80.442 \text{ кА}$

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

$$I_{нт1} = I_{K1} = 4.425 \text{ кА}$$

$$I_{нт2} = I_{K2} = 80.442 \text{ кА}$$

Аперіодична складова струму КЗ до моменту розбіжності контактів вимикача:

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

де  $T_a$  – постійна часу загасання аперіодичної складової

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

Аперіодична складова СКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача:

- для К1 —  $i_a = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 4.425 \cdot e^{-\frac{0.06}{0.025}} = 0.567 \text{ кА}$
- для К2 —  $i_a = \sqrt{2} \cdot I_{K2} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 35.33 \cdot e^{-\frac{0.1}{0.05}} = 6.762 \text{ кА}$

Інтеграл Джоуля:

- для К1 —  $B_R = I_{K1}^2 \cdot (t + T_a) = 4.425^2 \cdot (0.06 + 0.025) = 1.664 \text{ кА}^2 \cdot c$
- для К2 —  $B_R = I_{K2}^2 \cdot (t + T_a) = 35.33^2 \cdot (0.1 + 0.05) = 187.231 \text{ кА}^2 \cdot c$

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 $B_R$ , $\text{кА}^2 \cdot c$
Шини 110 кВ ( $K_1$ )	4.425	10.075	4.425	0.567	1.664
Шини 10 кВ ( $K_2$ )	35.33	80.442	35.33	6.762	187.231

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 110 кВ і 10 кВ;
- ошиновка розподільних пристроїв 110 кВ і 10 кВ.

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

Максимальний струм на боці 110 кВ:

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

Струм у колі ввідних вимикачів на боці 10 кВ:

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

Струм у колі секційного вимикача:

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

Струм у колі лінії 10 кВ:

$$I_{max}^{ПЛ} = \frac{1.4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН} \cdot n} = \frac{1.4 \cdot 63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10} = 0.509 \text{ кА}$$

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

Вибираємо вимикачі на боці напруги 110 кВ і 10 кВ.

Вибір вимикачів наведений у таблиці 2.3–2.8.

Таблиця 2.3. Вибір вимикача на боці 110 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	231 А	1250 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	4.425 кА	40 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	10.075 кА	125 кА
$I_{пз} \leq I_{откном}$	4.425 кА	40 кА
$I_{аз} \leq I_{аном}$	1.103 кА	—
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1.664 кА <sup>2</sup> ·с	4800 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо елегазовий вимикач типу **ЯЭ-110Л-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
$I_{расч} \leq I_{ном}$	5092 А	5600 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	35.33 кА	63 кА
$I_{y0} \leq I_{СКВ}$	80.442 кА	170 кА
$I_{n\tau} \leq I_{ОткНом}$	35.33 кА	63 кА
$I_{a\tau} \leq I_{а ном}$	6.762 кА	—
$B_K \leq I_T^2 t_r$	187.231 кА <sup>2</sup> ·с	16384 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо маломасляний вимикач типу **МГГ-10-5000-63У3**.

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
$I_{расч} \leq I_{ном}$	2546 А	3150 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	35.33 кА	45 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	80.442 кА	120 кА
$I_{n\tau} \leq I_{ОткНом}$	35.33 кА	45 кА
$I_{a\tau} \leq I_{а ном}$	6.762 кА	—
$B_K \leq I_T^2 t_r$	187.231 кА <sup>2</sup> ·с	8100 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо секційний маломасляний вимикач типу **МГГ-10-3150-45У3**.

Таблиця 2.6. Вибір вимикачів на лініях 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	509 А	1600 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	35.33 кА	40 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	80.442 кА	100 кА
$I_{n\tau} \leq I_{ОткНом}$	35.33 кА	40 кА
$I_{a\tau} \leq I_{а ном}$	6.762 кА	—
$B_K \leq I_T^2 t_r$	187.231 кА <sup>2</sup> ·с	4800 кА <sup>2</sup> ·с

Обираємо електромагнітний вимикач **ВЭ-10-40/1600У3**.

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
$I_{расч} \leq I_{ном}$	231 А	630 А
$i_{уд} \leq I_{прСКВ}$	10.075 кА	100 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1.664 кА <sup>2</sup> ·с	4800 кА <sup>2</sup> ·с

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

В РП напругою 110 кВ застосовують збірні шини, які виконуються сталелеюмінієвими проводами, при цьому перетин повинен бути не менше 70 мм<sup>2</sup> (за умовою коронування АС-70). Вибираються ці шини за наступними умовами:

- перевірка за допустимим струмом  $I_{max} \leq I_{доп}$   
 $231 \text{ А} \leq 605 \text{ А}$ , 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:  $I_{КЗ}^{ВН} = 4.425 < 20 \text{ кА}$
- перевірка за умовами коронування: для напруги 110 кВ за умовами корони повинні використовуватися одиночні проводи марки АС-600/72, або 3×АС-150/24.

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

Струмopровідні частини від виводів 110 кВ блочного трансформатора до збірних шин виконуються гнучкими проводами. Їх переріз вибирається за економічною густиною струму. При  $T_{макс} = 4800$  годин,  $j_e = 1.1 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$

$$\text{Економічний переріз: } q_e = \frac{I_{max}}{j_e} = \frac{231}{1.1} = 210 \text{ мм}^2$$

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

Перевіряємо проводи за допустимим струмом:

$$I_{max} \leq I_{доп}$$

										Лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$231 \leq 450 \text{ A}$ , 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.

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

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

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

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.ном}} \sqrt{\frac{v_{\text{доп}} - v_{\text{о.ф}}}{v_{\text{доп}} - v_{\text{о.н}}}} = 5500 \sqrt{\frac{70 - (-10)}{70 - 25}} = 7333.33 \text{ A}$$

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

- перевірка на термічну стійкість при КЗ

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

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{187.231}}{170 \cdot 10^{-3}} = 80.5 \text{ мм}^2$$

$$80.5 \leq 2 \times 1370$$

- перевірка на електродинамічну стійкість

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23



При проектуванні нових конструкцій РП з жорсткими шинами знаходиться

частота власних коливань для мідних шин:  $f_0 = \frac{125.2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}}$

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

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

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

Оскільки  $f_0 > 200$ , механічного резонансу не виникне.

- механічний розрахунок шин

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

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

де  $a$  – відстань між шинами, м;

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

$$W_{\phi} = W_{y0-y0} = 100 \text{ см}^3)$$

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{(80.442 \cdot 10^3)^2 \cdot 2^2}{100 \cdot 0.8} = 5.6 \text{ МПа}$$

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

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

$$f_c = 0.5 \cdot \frac{80.442^2 \cdot 10^6}{0.125} \cdot 10^{-7} = 2588.4 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

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

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

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

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

$$l_{п.мах} = \sqrt{\frac{12 \cdot (172 - 5.6) \cdot 9.5}{2588.4}} = 2.71 \text{ м}$$

$$\sigma_c = \frac{2588.4 \cdot 2^2}{12 \cdot 9.5} = 90.82 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{розр} = 90.82 + 5.6 = 96.42 \text{ МПа} \leq \sigma_{доп} = 172 \text{ МПа}$$

Отже, умова механічної міцності коробчастої шини виконується.

У колі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюється амперметр, вольтметр, ватметр, лічильники активної і реактивної енергії, на шинах 110 кВ – вольтметр із перемикачем для виміру трьох міжфазних напруг, на секційному вимикачі 10 кВ – амперметр, на лініях, що відходять, 10 кВ – амперметр, лічильники активної і реактивної енергій. Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму наведений у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9. 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 2.10– 2.15.

Таблиця 2.9 – Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на боці вищої напруги. Вибираємо трансформатор струму **ТФЗМ 110-У1**. Заносимо його каталожні дані таблицю:

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	231 А	400 А
$i_y \leq I_{прСКВ}$	10.075 кА	30 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1.664 кА <sup>2</sup> ·с	1200 кА <sup>2</sup> ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	0.87 Ом	1.2 Ом

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

$Z_{прил}$  – опір приладів, Ом;

$Z_K$  – опір контактів, Ом.

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

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

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

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

$q$  – перетин жил, мм<sup>2</sup>.

Вибираємо переріз з'єднувальних проводів рівний 2.5 мм<sup>2</sup> 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 110-У1** відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.11 – Вибір трансформатора струму у колі силового трансформатора на боці нижчої напруги. Вибираємо трансформатор **ТЛШ-10-2У3**. Заносимо його каталожні дані в таблицю:

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	5092 А	6000 А
$i_y \leq i_{\text{оин}}$	80.442 кА	175 кА
$B_k \leq I_T^2 t_r$	187.231 кА <sup>2</sup> ·с	91875 кА <sup>2</sup> ·с
$Z_n \leq Z_{n, \text{ном}}$	0.797 Ом	0.8 Ом

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:

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

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист 27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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  $0.8 \text{ Ом}$ , припустимих при роботі трансформатора в класі точності  $0.5$ , отже трансформатор струму **ТЛШ-10-2У3** відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.12 – Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить. Вибираємо трансформатор **ТЛМ10-У3**. Заносимо його каталожні дані в таблицю:

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	509 А	800 А
$i_y \leq i_{\text{дин}}$	80.442 кА	100 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	187.231 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	1587 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
$Z_H \leq Z_{H \cdot \text{ном}}$	0.362 Ом	0.4 Ом

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

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

$Z_{\text{К}}$  – опір контактів, Ом.

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

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

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

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.

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

Загальний опір струмового кола:

$$Z_{\text{Н}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{прил}} + Z_{\text{К}} = 0.292 + 0.02 + 0.05 = 0.362 \text{ Ом}$$

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

Таблиця 2.13 – Вибір трансформатора струму в колі секційного вимикача. Вибираємо трансформатор **ТЛШ-10-2У3**. Заносимо його каталожні дані в таблицю:

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{\text{с}} \leq U_{\text{н}}$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	2546 А	4000 А
$i_{\text{γ}} \leq i_{\text{дин}}$	80.442 кА	140 кА
$B_{\text{К}} \leq I_{\text{T}}^2 t_{\text{r}}$	187.231 кА <sup>2</sup> ·с	58800 кА <sup>2</sup> ·с
$Z_{\text{Н}} \leq Z_{\text{Н.ном}}$	0.77 Ом	0.8 Ом

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

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

$Z_{\text{к}}$  – опір контактів, Ом.

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

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,  $\text{мм}^2$ .

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:

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} = 0.7 + 0.02 + 0.05 = 0.77 \text{ Ом}$$

що менше ніж  $0.8$  Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності  $0.5$ , отже трансформатор струму **ТЛШ-10-2У3** відповідає умовам вибору.

Обираємо трансформатори напруги за заданими значеннями напруги та за потужністю.

На боці високої напруги ( $110$  кВ) обираємо трансформатори **НКФ-110-58У1**, на боці  $10$  кВ – **НОМ-10-66У2**, використовуючи дані із таблиць наведених у довідниках.

Таблиця 2.14. Трансформатор напруги  $110$  кВ

Тип	Номінальна напруга обмоток			Номінальна потужність, В·А, в класі точності				Максимальна потужність, В·А
	Первинної, кВ	Основної вторинної, В	Додаткової, В	0,2	0,5	1	3	
НКФ-110-58	$220/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100	-	400	600	1200	2000

Таблиця 2.15 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

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

Сумарна розрахункова потужність приймачів власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту. Розрахунок потужності приймачів власних потреб наведений у табл. 6.1.

Таблиця 2.16. Розрахунок потужності приймача власних потреб

Види споживачів	Встановлена потужність		Коефіцієнт попиту	cos φ	Навантаження
	одиниці, кВт*к-сть	Всього, кВт			S, кВА
Охолодження ТДЦН-63000/110	2*29,6	59,2	0,82	0,86	56,45
Підігрів вимикачів на напрузі 110 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					84,7

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

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



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:

$$S_{ТСН} = \frac{S_{СН} + S_{ТСНР}}{1.2} = \frac{84.7 + 20}{1.2} = 87.3 \text{ кВА}$$

Остаточно для живлення споживачів власних потреб беремо два трансформатора ТМ-100/10/0.4.

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

### 3 Розрахунок релейного захисту трансформатора

Таблиця 3.1 Каталожні дані трансформатора ТДЦН-63000/220

$S_H, \text{MVA}$	$U_{\text{НОМ}}, \text{kV}$	$U_{\text{КВС}}, \%$	$U_{\text{КВН}}, \%$	$U_{\text{КСН}}, \%$	$X_{\text{сmax}}, \text{OM}$	$X_{\text{с min}}, \text{OM}$
63	$230 \pm 12\%$	12,5	20	6,5	12	18

Розрахунок опору обмоток трансформатора

$$U_{\text{КВ}} = 0,5(U_{\text{КВС}} + U_{\text{КВН}} - U_{\text{КСН}}) = 0,5(12,5 + 20 - 6,5) = 13 \%$$

$$U_{\text{КС}} = 0,5(U_{\text{КВС}} + U_{\text{КСН}} - U_{\text{КВН}}) = 0,5(12,5 + 6,5 - 20) = 0$$

$$U_{\text{КН}} = 0,5(U_{\text{КСН}} + U_{\text{КВН}} - U_{\text{КВС}}) = 0,5(6,5 + 20 - 12,5) = 7 \%$$

Опір в обмотках трансформатора

$$X_B = \frac{U_{\text{КВ}} \times U_{\text{НОМ}}^2}{100 \times S_{\text{тр.ном}}} = 275 \text{ OM}$$

$$X_H = \frac{U_{\text{КН}} \times U_{\text{НОМ}}^2}{100 \times S_{\text{тр.ном}}} = 148 \text{ OM}$$

$$X_{\text{В.тр.мах}} = \frac{U_{\text{КВ}} \times U_H^2}{100 \times S_{\text{тр.ном}}} = 346 \text{ OM}$$

$$X_{\text{Н.тр.мах}} = \frac{U_{\text{КН}} \times U_H^2}{100 \times S_{\text{тр.ном}}} = 185 \text{ OM}$$

$$X_{\text{В.тр.мін}} = \frac{U_{\text{КВ}} \times U_H^2}{100 \times S_{\text{тр.ном}}} = 213 \text{ OM}$$

$$X_{\text{Н.тр.мін}} = \frac{U_{\text{КН}} \times U_H^2}{100 \times S_{\text{тр.ном}}} = 114 \text{ OM}$$

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

- максимальний режим ( $X = 12 \text{ OM}$ )

$$\sum X_{\text{тр}} = X_{\text{с.мах}} + X_{\text{В.тр.мін}} = 12 + 213 = 364 \text{ OM}$$

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

- 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)

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

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

- мінімальний режим (X=18 Ом)

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

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

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 $i = I_n \times \frac{K_{cx}}{K_{mt}}$	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

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

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

Розраховуємо струм небалансу:

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

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

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

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

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

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 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

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

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

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

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

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

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

Розрахуємо уточнений струм спрацювання для головної сторони

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

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

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

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

Число витків гальмівної обмотки

$$W_{\text{гальм}} = \frac{K_{\text{з}} \times I_{\text{нб.розр}} \times W_{\text{II}}}{I_{\text{кз.max}(K1)}} = 15,9 \text{ W}$$

Беремо 20 витків

На реле виставляємо наступні витки

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

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

## 4 Охорона праці

### 4.1. Електротравматизм та дія електричного струму на організм людини

З кожним роком зростає виробництво та споживання електроенергії, а відтак і кількість людей, які в процесі своєї життєдіяльності використовують (експлуатують) електричні пристрої та установки. Тому питання електробезпеки набувають особливої ваги.

Електробезпека — це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Аналіз виробничого травматизму показує, що кількість травм, які спричинені дією електричного струму є незначною і складає близько 1 %, однак із загальної кількості смертельних нещасних випадків частка електротравм вже складає 20—40% і займає одне з перших місць. Найбільша кількість випадків електротравматизму, в тому числі із смертельними наслідками, стається при експлуатації електроустановок напругою до 1000 В, що пов'язано з їх поширенням і відносною доступністю практично для кожного, хто працює на виробництві. Випадки електротравматизму, під час експлуатації електроустановок напругою понад 1000 В нечасті, що обумовлено незначним поширенням таких електроустановок і обслуговуванням їх висококваліфікованим персоналом.

Основними причинами електротравматизму на виробництві є: випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування; використання несправних ручних електроінструментів; застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220 чи 127 В; робота без надійних захисних засобів та запобіжних пристосувань; доторкання до незаземлених корпусів електроустаткування, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції; недотримання правил улаштування, технічної експлуатації та правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок та ін.

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Електроустаткування, з яким доводиться мати справу практично всім працівникам на виробництві, становить значну потенційну небезпеку ще й тому, що органи чуття людини не здатні на відстані виявляти наявність електричної напруги. В зв'язку з цим захисна реакція організму проявляється лише після того, як людина потрапила під дію електричної напруги. Проходячи через організм людини електричний струм справляє на нього термічну, електролітичну, механічну та біологічну дію.

Термічна дія струму проявляється опіками окремих ділянок тіла, нагріванням кровоносних судин, серця, мозку та інших органів, через які проходить струм, що призводить до виникнення в них функціональних розладів.

Електролітична дія струму характеризується розкладом крові та інших органічних рідин, що викликає суттєві порушення їх фізико-хімічного складу.

Механічна дія струму проявляється ушкодженнями (розриви, розшарування тощо) різноманітних тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту.

Біологічна дія струму на живу тканину проявляється небезпечним збудженням клітин та тканин організму, що супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів. Таке збудження може призвести до суттєвих порушень і навіть повного припинення діяльності органів дихання та кровообігу.

Подразнення тканин організму внаслідок дії електричного струму може бути прямим, коли струм проходить безпосередньо через ці тканини, та рефлекторним (через центральну нервову систему), коли тканини не знаходяться на шляху проходження струму.

Електротравма — це травма, яка спричинена дією електричного струму чи електричної дуги. За наслідками електротравми умовно підрозділяють на два види: місцеві електротравми, коли виникає місцеве ушкодження організму, та загальні електротравми (електричні удари), коли уражається весь організм внаслідок порушення нормальної діяльності життєво важливих органів і систем. Приблизний розподіл електротравм за їх видами має такий вигляд: місцеві електротравми — 20%; електричні удари — 25%; змішані травми (сукупність місцевих електрот-

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39



равм та електричних ударів) — 55%.

Характерними місцевими електричними травмами є електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні ушкодження та електроофтальмія.

Електричний опік — найбільш поширена місцева електротравма (близько 60%), яка, в основному, спостерігається у працівників, що обслуговують діючі електроустановки.

Електричні опіки залежно від умов їх виникнення бувають двох видів: струмові (контактні), коли внаслідок проходження струму електрична енергія перетворюється в теплову, та дугові, які виникають внаслідок дії на тіло людини електричної дуги. Залежно від кількості виділеної теплоти та температури, а також і розмірів дуги електричні опіки можуть уражати не лише шкіру, але й м'язи, нерви і навіть кістки. Такі опіки називаються глибинними і заживають досить довго.

Електричні знаки (електричні позначки) являють собою плями сірого чи блідо-жовтого кольору у вигляді мозоля на поверхні шкіри в місці її контакту із струмопровідними частинами.

Металізація шкіри — це проникнення у верхні шари шкіри найдрібніших часточок металу, що розплавляється внаслідок дії електричної дуги. Такого ушкодження, зазвичай, зазнають відкриті частини тіла — руки та лице. Ушкоджена ділянка шкіри стає твердою та шорсткою, однак за відносно короткий час вона знову набуває попереднього вигляду та еластичності.

Механічні ушкодження — це ушкодження, які виникають внаслідок судомних скорочень м'язів під дією електричного струму, що проходить через тіло людини. Механічні ушкодження проявляються у вигляді розривів шкіри, кровоносних судин, нервових тканин, а також вивихів суглобів і навіть переломів кісток.

Електроофтальмія — це ураження очей внаслідок дії ультрафіолетових випромінювань електричної дуги.

Найбільш небезпечним видом електротравм є електричний удар, який у більшості випадків (близько 80%, включаючи й змішані травми) призводить до

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

смерті потерпілого.

Електричний удар — це збудження живих тканин організму електричним струмом, що супроводжується судомним скороченням м'язів. Залежно від наслідків ураження електричні удари можна умовно підрозділити на чотири ступеня:

I — судомні скорочення м'язів без втрати свідомості;

II — судомні скорочення м'язів з втратою свідомості, але зі збереженням дихання та роботи серця;

III — втрата свідомості та порушення серцевої діяльності чи дихання (або одного і другого разом);

IV — клінічна смерть.

Клінічна смерть — це перехідний період від життя до смерті, що настає з моменту зупинки серцевої діяльності та легенів і триває 6—8 хвилин, доки не загинули клітини головного мозку. Після цього настає біологічна смерть, внаслідок якої припиняються біологічні процеси у клітинах і тканинах організму і відбувається розпадання білкових структур.

Якщо при клінічній смерті негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму та терміново розпочати надання необхідної допомоги (штучне дихання, масаж серця), то існує висока імовірність щодо збереження йому життя.

Причинами летальних наслідків від дії електричного струму можуть бути: зупинка серця чи його фібриляція (хаотичне скорочення волокон серцевого м'яза); припинення дихання внаслідок судомного скорочення м'язів грудної клітки, що беруть участь у процесі дихання; електричний шок (своєрідна нервово-рефлекторна реакція організму у відповідь на подразнення електричним струмом, що супроводжується розладами кровообігу, дихання, обміну речовин і т. п.). Можлива також одночасна дія двох або навіть усіх трьох вищеназваних причин. Слід зазначити, що шоківий стан може тривати від кількох десятків хвилин до діб. При тривалому шоківому стані, зазвичай, настає смерть.

Характер впливу електричного струму на організм людини, а відтак і наслідки ураження, залежать від цілої низки чинників, які умовно можна підрозділи-

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

ти на чинники електричного (сила струму, напруга, опір тіла людини, вид та частота струму) та неелектричного характеру (тривалість дії струму, шлях проходження струму через тіло людини, індивідуальні особливості людини, умови навколишнього середовища тощо).

Сила струму, що проходить через тіло людини є основним чинником, який обумовлює наслідки ураження. Різні за величиною струми справляють і різний вплив на організм людини. Розрізняють три основні порогові значення сили струму:

— пороговий відчутний струм — найменше значення електричного струму, що викликає при проходженні через організм людини відчутні подразнення;

— пороговий невідпускаючий струм — найменше значення електричного струму, яке викликає судомні скорочення м'язів руки, в котрій затиснутий провідник, що унеможлиблює самостійне звільнення людини від дії струму;

— пороговий фібриляційний (смертельно небезпечний) струм — найменше значення електричного струму, що викликає при проходженні через тіло людини фібриляцію серця.

Струм (змінний та постійний) більше 5 А викликає миттєву зупинку серця, минаючи стан фібриляції.

Чим більший струм проходить через тіло людини, тим більшою є небезпека ураження. Однак необхідно зазначити, що це твердження не є безумовним, оскільки небезпека ураження залежить також і від інших чинників, наприклад від індивідуальних особливостей людини.

Значення прикладеної напруги впливає на наслідки ураження, оскільки згідно закону Ома визначає силу струму, що проходить через тіло людини, та його опір.

Чим вище значення напруги, тим більша небезпека ураження електричним струмом. Умовно безпечною для життя людини прийнято вважати напругу, що не перевищує 42 В (в Україні така стандартна напруга становить 36 та 12 В), при якій не повинен статися пробій шкіри людини, що призводить до різкого змен-

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

шення загального опору її тіла.

Електричний опір тіла людини залежить, в основному, від стану шкіри та центральної нервової системи. Загальний електричний опір тіла людини можна представити як суму двох опорів шкіри та опору внутрішніх тканин тіла. Найбільший опір проходженню струму чинить шкіра, особливо її зовнішній ороговілий шар (епідерміс), товщина якого становить близько 0,2 мм. Опір внутрішніх тканин тіла незначний і становить 300—500 Ом. В цьому можна переконатися, коли до язика прикласти контакти батарейки, при цьому відчувається легке поціпування. Коли ці ж контакти прикласти до шкіри тіла, то відчутних подразнень не виникає, оскільки опір сухої шкіри (епідермісу) значно більший.

Загальний опір тіла людини змінюється в широких межах — від 1 до 100 кОм, а іноді й більше. Для розрахунків опір тіла людини умовно приймають рівним 1 кОм. При зволоженні, забрудненні та пошкодженні шкіри (потовиділення, порізи, подряпини тощо), збільшенні прикладеної напруги, площі контакту, частоти струму та часу його дії опір тіла людини зменшується до певного мінімального значення (0,5-0,7 кОм).

Опір тіла людини зменшується також при захворюваннях шкіри, центральної нервової та серцевосудинної систем, проявах алергічної реакції тощо. Тому нормативні акти про охорону праці передбачають обов'язкові попередній та періодичні медичні огляди працівників (кандидатів у працівники) для встановлення їх придатності щодо обслуговування діючих електроустановок за станом здоров'я.

Вид та частота струму, що проходить через тіло людини, також впливають на наслідки ураження. Постійний струм приблизно в 4—5 разів безпечніший за змінний. Це пов'язано з тим, що постійний струм у порівнянні зі змінним промислової частоти такого ж значення викликає більш слабші скорочення м'язів та менш неприємні відчуття. Його дія, в основному, тепла. Однак, слід зауважити, що вищезазначене стосовно порівняльної небезпеки постійного та змінного струму є справедливим лише для напруги до 500 В. При більш високих напругах постійний струм стає небезпечнішим ніж змінний.

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Частота змінного струму також відіграє важливе значення стосовно питань електробезпеки. Так найбільш небезпечним вважається змінний струм частотою 20—100 Гц. При частоті меншій ніж 20 або більшій за 100 Гц небезпека ураження струмом помітно зменшується. Струм частотою понад 500 кГц не може смертельно уразити людину, однак дуже часто викликає опіки.

Тривалість дії струму на організм людини істотно впливає на наслідки ураження: чим більший час проходження струму, тим швидше виснажуються захисні сили організму, при цьому опір тіла людини різко знижується і важкість наслідків зростає. Наприклад, для змінного струму частотою 50 Гц гранично допустимий струм при тривалості дії 0,1 с становить 500 мА, а при дії протягом 1 с - вже 50 мА.

Шлях проходження струму через тіло людини є важливим чинником. Небезпека ураження особливо велика тоді, коли на шляху струму знаходяться життєво важливі органи — серце, легені, головний мозок.

Індивідуальні особливості людини значною мірою впливають на наслідки ураження електричним струмом. Струм, ледь відчутний для одних людей може бути невідпускаючим для інших. Для жінок порогові значення струму приблизно в півтора рази є нижчими, ніж для мужчин. Ступінь впливу струму істотно залежить від стану нервової системи та всього організму в цілому. Так, у стані нервового збудження, депресії, сп'яніння, захворювання (особливо при захворюваннях шкіри, серцево-судинної та центральної нервової систем) люди значно чутливіші до дії на них струму. Важливе значення має також уважність та психічна готовність людини до можливої небезпеки ураження струмом. В переважній більшості випадків несподіваний електричний удар призводить до важчих наслідків, ніж при усвідомленні людиною існуючої небезпеки ураження.

Умови навколишнього середовища можуть підвищувати небезпеку ураження людини електричним струмом. Так у приміщеннях з високою температурою та відносною вологістю повітря наслідки ураження можуть бути важчими, оскільки значне потовиділення для підтримання теплобалансу між організмом та навколи-

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

шнім середовищем, призводить до зменшення опору тіла людини.

Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту людей від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг доторкання та струмів, що проходять через тіло людини.

					БР 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

## 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 5.6.141.909 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

## 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. Идельчик В. И. Электрические системы и сети. – Учебник для вузов. М. Энергоатомиздат 1989, 592 с.

										Лист
										47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						