

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

Робота допущена до захисту  
Завідувач кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_І.Л. Лебединський  
"\_\_\_" \_\_\_\_\_2020 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

Тема: “ Розрахунок параметрів, режимів та обладнання електричних мереж та заходів по енергозбереженню в них”

**Спеціальність** : 141- Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**Освітня програма** Електротехнічні системи електроспоживання

Виконав студент гр. ЕТ-61\_\_\_\_\_Денисенко Д.В.

Керівник: к.т.н., доцент\_\_\_\_\_Василега П.О.

Захищена на засіданні ДЕК

“\_\_\_” \_\_\_\_\_2020 р.

Голова ДЕК

Горбуль В.Ю.

Сумський державний університет

Факультет ЕлІТ Кафедра електроенергетики

Спеціальність : 141- Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою електроенергетики

І.Л. Лебединський

“     ”     20    р.

### ЗАВДАННЯ

#### до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Денисенко Денис Вадимович

1. Тема роботи: «Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання»

затверджена наказом по університету №     від    

2. Термін здачі студентом закінченої роботи    

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

- схеми релейного захисту.

**БР 3.6.141.531 ПЗ**

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Денисенко Д.В.			Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник		Василега П.О.					2	67
Консульт.						СумДУ ЕТ-61		
Н. контр.								
Затверд.		Лебединський І.Л.						

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розрахунок електричної мережі	До 04.05.2020	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	До 10.05.2020	
3	Релейний захист трансформатора	До 17.05.2020	
4	Охорона праці	До 23.05.2020	
5	Оформлення графічного матеріалу	До 29.05.2020	
6	Оформлення пояснювальної записки	До 31.05.2020	
7	Здача роботи на перевірку	До 01.06.2020	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Денисенко Д.В.			<i>Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання</i>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Акрушів</b>
Керівник		Василега П.О.					3	67
Консульт.						<b>СумДУ ЕТ-61</b>		
Н. контр.								
Затверд.		Лебедитський І.Л						

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 67стр, 35табл, 11рис, 23 джерела.

Тема роботи: Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання.

Calculation of parameters of electrical networks and selection of electrical equipment.

Об'єкт дослідження – електрична мережа з встановленими силовими трансформаторами.

Мета роботи – потрібно розрахувати параметри електричної мережі, виконати розрахунок електричної частини підстанції, зробити вибір вимірювального встаткування, виконати основний релейний захист трансформатора та розглянути охорону праці.

Графічні матеріали: схема заміщення електричної мережі; схема первинних з'єднань підстанції, схеми релейного захисту.

Ключові слова: Розрахунок параметрів ЛЕП, правила улаштування електроустановок (ПУЕ), навантаження, розподільні пристрої, вибір підстанційного обладнання, РЗА, джерело живлення.

Расчет параметров ЛЭП, правила устройства электроустановок (ПУЭ), нагрузка, распределительные устройства, выбор подстанционного оборудования, РЗА, источник питания.

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Денисенко Д.В.			<i>Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник		Василега П.О.					4	67
Консульт.						<b>СумДУ ЕТ-61</b>		
Н. контр.								
Затверд.		Лебедиський І.Л						

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ПЛ – повітряна лінія;
- ВН – висока напруа;
- ДЖ – джерело живлення;
- КЛ – кабельна лінія;
- ЛЕП – лінія електропередач;
- НН – низька напруга;
- ПС – підстанція;
- РПН – регулювання напруги під навантаження;
- СН – середня напруга;
- ТП – трансформаторна підстанція.
- СП – само утриманий ізольований провід
- К.З. – коротке замикання
- ГОСТ – державний стандарт
- РП – розподільний пристрій

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Денисенко Д.В.</i>			<i>Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Керівник</i>		<i>Василега П.О.</i>				5	67	
<i>Консульт.</i>						<i>СумДУ ЕТ-61</i>		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Лебедипський І.Л.</i>						

## ЗМІСТ

Вступ .....	8
<b>1. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЛІНІЙ І ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Вихідні дані .....	9
1.2 Вибір схеми електропостачання .....	10
1.3 Визначення максимальних і мінімальних потужностей споживачів ....	11
1.4 Визначення довжини ліній .....	11
1.5 Розрахунок струмів та напруг на ділянках без урахування втрат та вибір проводів.....	12
1.6 Вибір трансформаторів.....	15
1.7 Розрахунок потужностей та падіння напруги на ділянках мережі .....	17
1.8 Аварійний режим роботи електричної схеми .....	22
1.9 Режим мінімального навантаження електричної мережі схеми .....	25
<b>2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДСТАНЦІЇ .....</b>	<b>28</b>
2.1 Вибір силових трансформаторів та перевірка за графіком навантаження	29
2.2 Розрахунок струмів короткого замикання .....	30
2.3 Вибір ошинковки розподільних пристроїв (РП). . . . .	35
2.4 Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги.....	39
2.5 Вибір схеми електричних з'єднань підстанції.....	46
<b>3 . РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА. ....</b>	<b>47</b>
3.1 Визначення параметрів, необхідних для розрахунку захисту трансформатора .....	49
3.2. Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту .....	51
3.3 Визначається чутливість захисту при КЗ на стороні НН при мінімальному регулюванні.....	52

<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>				
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>
Розроб.		Денисенко Д.В.		
Керівник		Василега П.О.		
Консульт.				
Н. контр.				
Затверд.		Лебедиський І.Л.		
<i>Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання</i>				
		<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Акрушів</b>
		6	67	
<b>СумДУ ЕТ-61</b>				

3.3 Вибір уставок реле ДЗТ.....	52
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОСНОВНІ ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК.....	55
4.1 Організація служби охорони праці на підприємстві .....	55
4.2 Основні вимоги охорони праці з техніки безпеки при експлуатації технологічного обладнання .....	56
4.3 Порядок допуску до електромонтажних робіт.....	57
4.4 Обов'язки працівників щодо додержання вимог нормативно-правових актів з охорони праці.....	61
4.5 Здійснення робіт в діючих електроустановках.....	61
Висновок .....	63
Список літератури .....	64
Додатки .....	67

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Денисенко Д.В.			<i>Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання</i>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Акрушів</b>
Керівник		Василега П.О.					7	67
Консульт.						<b>СумДУ ЕТ-61</b>		
Н. контр.								
Затверд.		Лебедипський І.Л.						

## ВСТУП

Процес проектування електричних мереж в наш час складається з ряду послідовних етапів, першим з яких є складання технічно конкурентно спроможних варіантів схем, а надалі – порівняння цих варіантів за техніко-економічними показниками і вибір з них найкращого. Оцінці техніко-економічних показників варіантів передуює визначення їх технічних параметрів, якими є номінальна напруга, кількість ланцюгів та перерізи струмоведучих елементів ліній електропередач, кількість та потужність трансформаторів на знижувальних підстанціях, показники схем їх електричних з'єднань, а також місця встановлення і потужності компенсуючих установок.

У зв'язку з труднощами при розрахунках режимів районних мереж, передбачається широке використання персональних комп'ютерів. Необхідно забезпечити електропостачання споживачів, розташованих в 6 пунктах, від потужного джерела електроенергії. Чотири споживачі характеризуються досить великою потужністю, що забезпечує необхідність вибору для них районної підстанції або головної знижувальної підстанції великого підприємства. Для цієї групи споживачів отримана електроенергія має бути перетворена на напругу 10 кВ. Два споживачі мають відносно невелику потужність і розташовані недалеко від одного з великих споживачів. Ними можуть бути невеликі промислові, сільськогосподарські і житлові райони та населені пункти. Електропостачання цих споживачів передбачається здійснити від підстанцій відповідних великих споживачів і забезпечити напругою 380 В.

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Денисенко Д.В.			<i>Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання</i>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Керівник		Василега П.О.					8	67
Консульт.						<i>СумДУ ЕТ-61</i>		
Н. контр.								
Затверд.		Лебединський І.Л.						



# 1. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЛІНІЙ І ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ

## 1.1 Вихідні дані

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблицях 1.1 та 1.2

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунків

Параметр	1-й спож.	2-й спож.	3-й спож.	4-й спож.	5-й спож.	6-й спож.
X, мм	22	26	17	-20	22	-14
Y, мм	49	21	35	6	12	16
$P_{max}$ , МВт*	28	43	32	23	654	627
cos f	0,88	0,95	0,80	0,88	0,95	0,88
$T_{нб}$ , годин	5610	4530	5280	5540	6580	4390
Категорія	III	III	III	III	I	I

Додаткова початкова інформація про споживачів та їх розміщення приведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Інформація про споживачів та їх розташування

Характеристика споживачів	Параметри
Масштаб для споживачів 1–4, км/мм	1
Масштаб для споживачів 5 і 6 щодо точки прив'язки, км/мм	0,1
Споживач, до якого прив'язані споживачі 5 і 6	3
Частка всіх навантажень у мінімальному режимі $P_{min}$ щодо максимального	0,52

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Денисенко Д.В.</i>			<i>Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Керівник</i>		<i>Василега П.О.</i>					9	67
<i>Консульт.</i>						<i>СумДУ ЕТ-61</i>		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський І.Л</i>						

## 1.2 Вибір схеми електропостачання

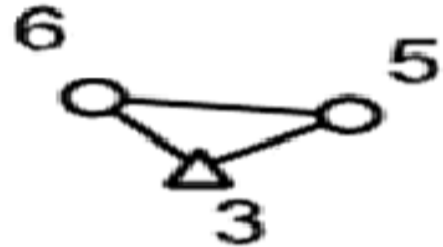
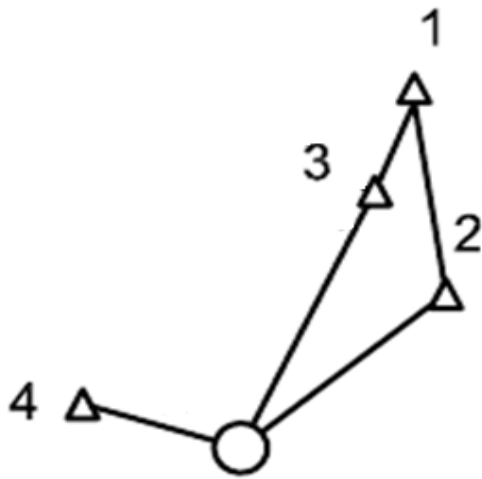
Вибір економічно доцільних схем мережі є одним з основних завдань проекту. Схема мережі і знаходяться в тісній техніко-економічній взаємозалежності. Так зміна схеми мережі може призвести до необхідності зміни номінальної напруги мережі в цілому чи її окремих частин. Має місце і обернена залежність схеми мережі і номінальної напруги мережі. Через те вибір схеми і номінальної напруги мережі повинні проводитись одночасно. Створення варіантів не повинне мати характер випадкових рішень, а, навпаки, підпорядковуються певним логічним вимогам. Основні з них такі:

- надійність роботи;
- якість енергії;
- економічність;
- можливість подальшого розвитку.

Конфігурація електричної мережі, що проектується, також у значній мірі визначається умовами надійності електропостачання. У відповідності з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [4] навантаження I категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних джерел живлення. Для такого роду споживачів необхідно в більшості випадків передбачати живлення по двох окремих лініях, так як двоколова ЛЕП при пошкодженні опор через вітер, ожеледь і т.п. не забезпечує необхідної міри надійності. Для споживачів II категорії допускається живлення по двоколовій лінії, а для електроприймачів III категорії досить передбачити споживання від однієї лінії електропередачі.

Слід відзначити, що у багатьох випадках потрібно здійснювати передачу електричної енергії в район її споживання по лініях більш високої напруги, а всередині цього району розподіляти енергію по лініях більш низької номінальної напруги. За можливий післяаварійний режим при такій попередній оцінці варіантів достатньо розглянути тільки випадок відключення або пошкодження однієї із ліній мережі, що призводить до найбільшого зниження напруги на шинах у найбільш віддаленого споживача.

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		10



Масштаб(5:1)

Масштаб (1:1)

Рисунок 1.1 – Схема електричної мережі

### 1.3 Визначення максимальних та мінімальних потужностей споживачів

Розраховуємо повну максимальну потужність споживачів за формулою

[1]:

$$S_{max} = P_{max} + jP_{max} \operatorname{tg}(\arccos(f)) \quad (1.1)$$

де  $P_{max}$  – максимальна активна потужність споживача.

Повну мінімальну потужність споживачів розраховуємо за формулою:

$$S_{min} = [P_{max} + jP_{max} \operatorname{tg}(\arccos(f))] \cdot K_{min} \quad (1.2)$$

де  $K_{min}$  – частка всіх навантажень в номінальному режимі  $P_{min}$  по відношенню до максимального  $P_{max}$ .

Характеристики споживачів із розрахованою повною потужністю зане-  
семо до табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Дані про споживачів із розрахованою повною потужністю

### 1.4 Визначення довжин ліній

Пара- метри	1-й спож.	2-й спож.	3-й спож.	4-й спож	5-й спож.	6-й спож.
$S_{max}$ , МВА	28+15j	43+14j	32+24j	23+12j	0,654+0,215j	0,627+0,338j
$S_{min}$ , МВА	14,6+7,8j	22+7,3j	16,6+12,5j	11,9+6,5j	0,340+0,112j	0,326+0,176j

Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата
------	----	----------	--------	------

БР 3.6.141.531 ПЗ

Арк.

11

Довжина ділянки мережі визначається за формулою:

$$L = l \cdot k_L \quad (1.3)$$

де  $l$  – довжина на карті, мм;

$k_L$  – коефіцієнт збільшення довжини мережі по відношенню з повітряною прямою  $k_L \approx 1,25$ . [1, ст. 9]

Результати розрахунку наведені у таблиці. 1.4

Таблиця 1.4 – Дійсні довжини ліній

№	Лінія	Довжина, км	Коефіцієнт провисання
1	0-2	42	1,25
2	2-1	35	1,25
3	3-1	19	1,25
4	3-0	49	1,25
5	4-0	26	1,25
6	3-5	3	1,25
7	3-6	2,6	1,25
8	5-6	4,5	1,25

#### 1.5 Розрахунок струмів та напруг на ділянках без урахування втрат та вибір проводів для схеми

Для розрахунку струмів та напруг на всіх ділянках мережі необхідно визначити орієнтовні потоки потужності. Для схеми, зображеної на рисунку 1.1, з урахуванням умовних позначень розрахунок потужностей визначаємо за такими формулами:

Для мережі високої напруги:

$$S_{L1} = \frac{S_2(L_2+L_3+L_4)+(S_1)(L_3+L_4)+S_3(L_4)}{L_1+L_2+L_3+L_4} \quad (1.4)$$

$$S_{L5} = \frac{S_1(L_3+L_2+L_1)+(S_3)(L_2+L_1)+S_2L_1}{L_1+L_2+L_3+L_4} \quad (1.4a)$$

$$S_{L2} = S_{L1} - S_2 \quad (1.5)$$

$$S_{L3} = S_{L5} - S_3 \quad (1.5a)$$

$$S_{L4} = S_1 + S_5 + S_6 \quad (1.56)$$

де  $S_3, S_2, S_1, S_4$  – відповідні потужності споживачів, МВА;

$L_1, L_2, L_3, L_4, L_5$  – відповідні лінії, які з'єднують споживачів  $S_3, S_2, S_1, S_4$ ,

км

Для мережі низької напруги:

Якщо мережа низької напруги замкнута:

$$S_{L6} = S_5 \quad (16a)$$

$$S_{L7} = S_6 \quad (1.66)$$

де  $S_5, S_6$  – відповідні потужності споживачів, МВА;

$L_6, L_7, L_8$  – відповідні лінії, які з'єднують споживачів  $S_5, S_6$ , км.

Виходячи із довжин ліній і потужностей яка йде по них визначаємо напругу по емпіричній формулі Ілларіонова[1]:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} \quad (1.7)$$

де  $U$  – напруга відповідної лінії, кВ;

$L$  – довжина відповідної лінії, км;

$P$  – активна потужність відповідної лінії, МВт.

Також визначаємо струм в лініях за формулою:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (1.8)$$

де  $I$  – струм у відповідній лінії, А;

$S$  – повна потужність лінії, МВА;

$U_n$  – обрана номінальна напруга.

Згідно методу економічної густини струму, економічний переріз розраховуємо за формулою:

$$F_e = \frac{I_m}{j_e} \quad (1.9)$$

де  $F_e$  – економічний переріз проводу, мм<sup>2</sup>;

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		13

$I_m$  – струм в лінії в режимі максимальних навантажень, що відповідає нормальному режиму роботи мережі, А;

$j_e$  – економічна густина струму, А/мм<sup>2</sup>.

У таблиці. 1.5 наведено результати розрахунку орієнтовних потоків потужності в лініях, струмів при напрузі 110 та 220 кВ.

Таблиця 1.5 – Потоки потужності та струми в лініях

Лінія	S, МВА	U, кВ	Струм, А		
			при U=10 кВ	при U=110 кВ	при U=220 кВ
0-2	55+j25	132	-	317	158
2-1	22,8+13,5j	89	-	120	60
3-1	21,5+13,3j	83	-	133	66
3-0	49,5+j28,5	128	-	300	150
4-0	23+j12,4	88	-	137	68
3-5	0,617+j0,237	15	35	-	-
3-6	0,551+j0,255	15	32	-	-
5-6	0,371+j0,219	4	2,2		

При оцінці перерізу проводу бачимо, що при  $U_{ном}=110$  кВ втрати потужності у проводах зростають більше ніж у 4 рази. Крім того при аварійному режимі проводи ділянок можуть мати значення струмів, вищі ніж допустимі. Тому для мережі обираємо напругу  $U_{ном}=220$  кВ.

У таблиці. 1.6 приведено результати розрахунку струмів при номінальній напрузі, економічного перерізу, обраний номінальний переріз провідників та номінальний тривало допустимий струм провідників.

Таблиця 1.6 – Вибір проводів мережі

Лінія	Струм, А	Напруга, кВ	Переріз, мм <sup>2</sup>		Допустимий струм, А
			Fe	марка проводу	
0-2	158	220	144	АС-240/32	605
2-1	60	220	55	АС-240/32	605
3-1	66	220	60	АС-240/32	605
3-0	150	220	136	АС-240/32	605
4-0	68	220	62	АС-240/32	605
3-5	35	10	32	АС-35/6,5	175
3-6	32	10	29	АС-35/6,5	175
5-6	2,2	10	2	АС-35/6,5	175

### 1.6 Вибір трансформаторів

Визначаємо потужність кожного із трансформаторів. При цьому на однотрансформаторній підстанції потужність трансформатора повинна бути не менше максимальної потужності споживачів, що постачається від нього.

$$S_{T_{\text{НОМ}}} \geq S_{\text{розр}} = S_{i_{\text{max}}} \quad (1.10)$$

де  $S_{T_{\text{НОМ}}}$  – номінальна потужність обраного трансформатора, МВА

$S_{\text{розр}}$  – потужність однотрансформаторної підстанції, МВА (кВА);

$S_{i_{\text{max}}}$  – максимальна потужність і-го споживача. МВА (кВА)

Потужність трансформаторів на двотрансформаторній підстанції повинна забезпечити навантаження споживачів у випадку аварії одного з них. Тому потужність кожного трансформатора вибирається з обліком його перевантажувальної здатності за умовою:

$$S_T \geq S_{\text{розр}} = \frac{S_{i_{\text{max}}}}{1,4} \quad (1.11)$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора розраховується за формулою:

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
						15
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_3 = \frac{S_{розр}}{S_{ТНОМ}} \quad (1.12)$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора дозволяє визначити можливість збільшення потужності споживачів та розширення мережі.

Для споживачів I категорії необхідно встановити по два трансформатори на підстанцію. Для споживачів II категорії рекомендовано встановити по два трансформатори на підстанцію; припускається можливість живлення від одного трансформатора при наявності централізованого резерву трансформаторів і можливості заміни пошкодженого трансформатора за час не більше однієї доби. Для споживачів III категорії необхідно встановити один трансформатор на підстанцію. Результати вибору трансформаторів показано у таблиці 1.7

Таблиця 1.7 – Вибір трансформаторів

№ ПС	Потужність споживача, МВА	Категорія споживача	Кількість тр-рів	S <sub>НОМ</sub> (1-го тр), МВА	K <sub>з</sub>	Марка тр-ра
1	31	III	1	40	0,80	ТРДН-40000/220
2	45	III	1	63	0,72	ТРДЦН-63000/220
3	41	III	1	63	0,66	ТРДЦН-63000/220
4	23	III	1	40	0,653	ТРДН-40000/220
5	0,63	I	2	0,63	0,55	ТМ-630/10
6	0,65	I	2	0,63	0,57	ТМ-630/10

Запас потужності дозволить в майбутньому розширити мережу та підключити нових споживачів.

Для подальшого розрахунку мережі необхідно розрахувати опір та потужність холостого ходу трансформаторів.

Опір трансформаторів розраховується за формулою:

$$R_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ВН}^2}{S_{НОМ}^2} \quad (1.13)$$



$$X_T = \frac{U_K \cdot U_{BH}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} \quad (1.14)$$

де  $R_T$  та  $X_T$  – активний та реактивний опори трансформатора, Ом;

$\Delta P_K$  - втрати короткого замикання, кВт;

$U_{BH}$  – номінальна лінійна напруга обмотки вищої напруги (ВН), кВ;

$S_{НОМ}$  – номінальна потужність трансформатора, МВА, кВА;

$U_K$  – напруга короткого замикання, %.

Параметри обраних трансформаторів [3] показано у таблицях 1.8 та 1.9.

Таблиця 1.8– Параметри обраних трансформаторів для споживачів 1-4

Тип трансформатора	$S_H$ , МВА	Каталожні дані							Розрахункові дані				
		$U_{НОМ}$ , кВ		$U_K$ , %	$\Delta P_K$ , кВт	$\Delta P_X$ , кВт	$I_X$ , %	Регулювання напруги		$R_T$ , Ом	$X_T$ , Ом	$\Delta Q_X$ , кВАр	пт
		ВН	НН					Кі-льк-ст.	% на ст.				
ТРДН-40000/220	40	230	11	12	170	50	0,9	±8	1,5	2.27	100.8	360	20,9
ТРДЦН-63000/220	63	230	11	12	300	82	0,8	±8	1,5	4	100.8	504	20,9

Таблиця 1.9 – Параметри обраних трансформаторів для споживачів 5 та 6

Тип трансформатора	$S_{НОМ}$ , кВА	Каталожні дані						Розрахункові дані			
		$U_{НОМ}$ , кВ		$U_K$ , %	$\Delta P_K$ , кВт	$\Delta P_X$ , кВт	$I_X$ , %	$R_T$ , Ом	$X_T$ , Ом	$\Delta Q_X$ , кВАр	пт
		ВН	НН								
ТМ-630/10	630	10	0,4	5.5	8.5	1.68	2.5	2.14	8.73	15.8	25

### 1.7 Розрахунок потужності та падіння напруги на ділянках мережі

Проведемо розрахунок активного, реактивного опору ліній та зарядної потужності [2].

Активний та реактивний опір лінії, Ом:

$$R_L = r_0 \cdot l_i \quad (1.15)$$

$$X_{л} = x_0 \cdot l_i \quad (1.16)$$

де  $R_{л}$  та  $X_{л}$  – активний та реактивний опори лінії, Ом;

$l_i$  – довжина лінії, км.

Повний опір лінії, Ом:

$$Z_{л} = R_{л} + j \cdot X_{л} \quad (1.17)$$

Зарядна потужність лінії:

$$Q_{л} = b_0 \cdot l_i \cdot U_{ном}^2 \quad (1.18)$$

де  $b_0$  – питома ємнісна провідність (См/км);

$U_{ном}$  – номінальна напруга мережі, кВ.

Для ліній 10 кВ зарядна потужність має незначне значення, тому нею нехтують. Результати розрахунків показано в таблиці 1.10

Таблиця 1.10 – Параметри ліній

Ділянка	Довжина, км	Марка проводу	Параметри проводу		Q <sub>л</sub> , МВАр	Z <sub>л</sub> , Ом
			Z <sub>0</sub> , Ом/км	b <sub>0</sub> ·10 <sup>-6</sup> , См/км		
0-2	42	АС-240/32	0,121+0,435j	2,6	5,3	5,1+18j
2-1	35	АС-240/32	0,121+0,435j	2,6	4,4	4,3+15j
3-1	19	АС-240/32	0,121+0,435j	2,6	2,3	2,2+8,1j
3-0	49	АС-240/32	0,121+0,435j	2,6	6,1	5,9+21j
4-0	26	АС-240/32	0,121+0,435j	2,6	3,3	3,1+11j
3-5	3	АС-35/6,5	0,790+0,386j	-	-	2,5+1,2j
3-6	2,6	АС-35/6,5	0,790+0,386j	-	-	2,1+1,03j
5-6	4,5	АС-35/6,5	0,790+0,386j			3,6+1,7j

Розрахунок втрат потужності [1] в лініях виконуємо з кінця, також враховуємо втрати холостого ходу у трансформаторах (наведені у таблицях 1.8 та 1.9), при цьому на підстанціях з двома трансформаторами втрати холостого ходу збільшуються вдвічі, а опір обмоток складає половину опору одного трансформатора.

Розрахунок втрат потужності в лінії проводимо за формулою:

$$\Delta S = \frac{P^2 + Q^2}{U_{ном}^2} \cdot Z \quad (1.18)$$

					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		18

де:  $P$  - активна потужність на ділянці, МВА;  
 $Q$  - реактивна потужність на ділянці, МВАр;  
 $Z$  - опір ділянки, Ом.

Розрахунок падіння напруги виконуємо із джерела живлення, при цьому напруга у споживача не повинна відрізнятись більш ніж на 5% від номінальної, у відповідності з правилами [4].

Розрахунок напруги проводимо за формулою:

$$U_{i+1} = \sqrt{\left(U_i - \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_i}\right)^2 + \left(\frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U_i}\right)^2} \quad (1.20)$$

де  $P$  – активна потужність на ділянці, МВА;  
 $Q$  – реактивна потужність на ділянці, МВАр;  
 $R$  та  $X$  – активний та реактивний опір, Ом;  
 $U_{i+1}$  - напруга у вузлі, кВ;  
 $U_i$  - напруга у попередньому вузлі, кВ.

Процентне відхилення напруги в кінці лінії від номінального значення розраховуємо за формулою, %:

$$d = 100\% - \frac{U_n}{U_{\text{вузл}}} \cdot 100\% \quad (1.21)$$

Розраховуємо замкнуту колону мережу, зображену на рисунку 1.1. Розрахунок починаємо з знаходження точки потокорозподілу.

Результати розрахунку потужностей в кінці ліній, початку, та втрати потужності в лініях показано у таблиці 1.11. Результати розрахунку напруг у вузлах мережі показано у таблиці 1.12.

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 1.11– Результати розрахунку потужностей

Ділян-ка	Скінцева, МВА*	$\Delta S$ , МВА*	Спочаткова, МВА*	Ірозр, А	Ідоп, А
0-2	55,4+24,1j	0,381+1,37j	55,8+22,8j	158	605
2-1	12,1+10,3j	0,022+0,080j	12,2+8,1j	38	605
3-1	16+3,75j	0,013+0,045j	16,1+2,63j	43	605
3-0	50,2+28,5j	0,405+1,46j	50,9+27,9j	299	605
4-0	23,1+12,4j	0,045+0,162j	23,2+10,9j	67	605
3-5	0,625+0,293j	0,0118+0,006j	0,637+0,298j	41	175
3-6	1,28+0,699j	0,045+0,022j	1,32+0,721j	87	175
5-6	0,625+0,293j	0,017+0,008j	0,642+0,301j	41	175
1-1'	28+15,1j	0,107+1,93j	28,2+17,4j		
2-2'	43+14,1j	0,151+3,9j	43,2+18,5j		
3-3'	33,9+25,1j	0,131 +3,39j	34,2+28,9j		
4-4'	23+12,4j	0,072+1,30j	23,1+14,1j		
5-5'	0,654+0,215j	0,005+0,020j	0,662+0,273j		
6-6'	0,627+0,338j	0,005+0,022j	0,635+0,398j		
А	179+87,6j				

Таблиця 1.12– Результати розрахунку напруг у вузлах мережі

Вузол	U <sub>ном</sub> , кВ	U, кВ	Ступінь РПН
А	230	230	
1	220	224	
2	220	227	
3	220	223	
4	220	229	
5	10	9,4	
6	10	9,5	
1'	10	10,1	-6
2'	10	10,1	-7
3'	10	9,8	-8
4'	10	10,1	-8
5'	0,38	0,375	
6'	0,38	0,378	

На рисунку 1.2 показано схему заміщення мережі.

					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		20

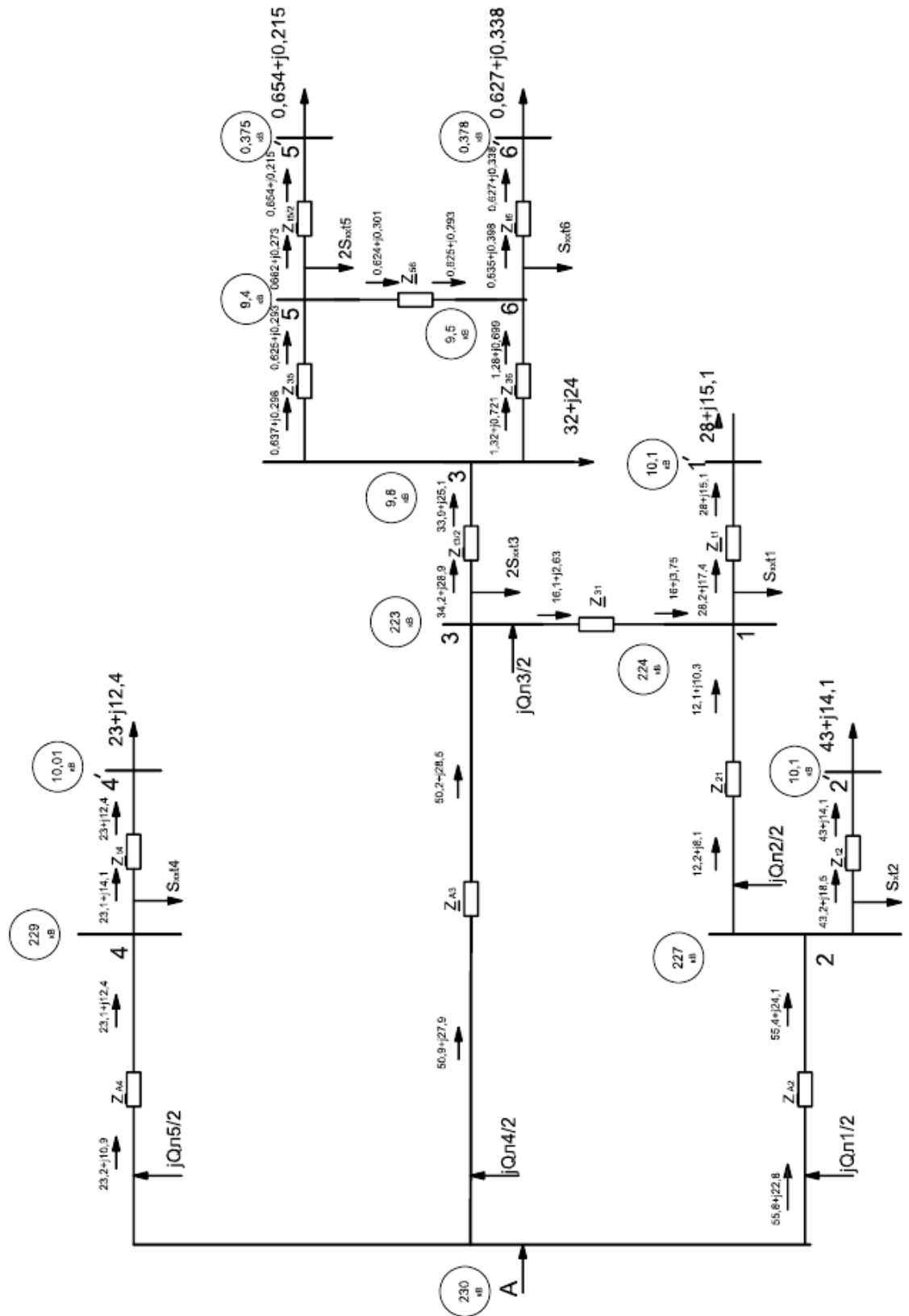


Рисунок 1.2 – Схема заміщення мережі

Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата
------	----	----------	--------	------

БР 3.6.141.531 ПЗ

Арк.

21

## 1.8 Аварійний режим роботи мережі

При аварійному режимі роботи перерва в електропостачанні споживачів I категорії може бути припустима лише на час автоматичного відновлення живлення. Перерва в електропостачанні споживачів II категорії при може бути припустима на час, необхідний для ввімкнення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади. Для електроспоживачів III категорії перерва в електропостачанні, необхідна для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, повинна не перевищувати однієї доби.

У аварійному режимі у відповідності з правилами [4] дозволяється відхилення від номінальної напруги  $\pm 10\%$ .

Розрахунок виконуємо аналогічно пункту 1.6. Результати розрахунку потужностей під час аварійного режиму показано у таблиці 1.13.

Таблиця 1.13-Результати розрахунку потужностей під час аварійного режиму

Ділянка	Скінцева, МВА*	$\Delta S$ , МВА*	Спочаткова, МВА*	Ірозр, А	Ідоп, А
0-2	-	-	-	-	605
2-1	43,2+16,3j	0,189+0,678j	43,4+14,8j	120	605
3-1	71,4+34,8j	0,293+1,05j	71,7+34,6j	209	605
3-0	106+60,5j	1,808+6,49j	107+60,1j	601	605
4-0	23,1+12,4j	0,045+0,162j	23,2+10,9j	67	605
3-5	0,625+0,293j	0,0118+0,006j	0,637+0,298j	41	175
3-6	1,28+6,99j	0,045+0,022j	1,32+0,721j	87	175
5-6	0,625+0,293j	0,017+0,008j	0,642+0,301j	41	175
1-1'	28+15,1j	0,107+1,93j	28,2+17,4j		
2-2'	43+14,1j	0,151+3,9j	43,2+18,5j		
3-3'	33,9+25,1j	0,131 +3,39j	34,2+28,9j		
4-4'	23+12,4j	0,072+1,30j	23,1+14,1j		
5-5'	0,654+0,215j	0,005+0,020j	0,662+0,273j		
6-6'	0,627+0,338j	0,005+0,022j	0,635+0,398j		
А		170+98j			

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		22

Результати розрахунку напруг у вузлах мережі під час аварійного режиму показано у таблиці 1.14.

Таблиця 1.14 – Результати розрахунків напруг у вузлах під час аварійного режиму

Вузол	U <sub>ном</sub> , кВ	U, кВ	Ступінь РПН
0	230	230	
1	220	213	
2	220	211	
3	220	215	
4	220	229	
5	10	9,01	
6	10	9,09	
1'	10	9,57	-6
2'	10	9,38	-7
3'	10	9,45	-8
4'	10	10,1	-8
5'	0,38	0,361	
6'	0,38	0,364	

Трансформатори з РПН, встановлені на підстанціях 1-4, дозволяють для кожного характерного режиму вибрати найбільш прийнятне регулювальне відгалуження. Трансформатори на підстанціях 5 і 6, які, як правило, не мають пристроїв РПН, але вони знаходяться на невеликій відстані, що зменшує втрати напруги в лінії, і практично не потребує регулювання.

Схема заміщення для аварійного режиму роботи мережі показана на рисунку 1.3.

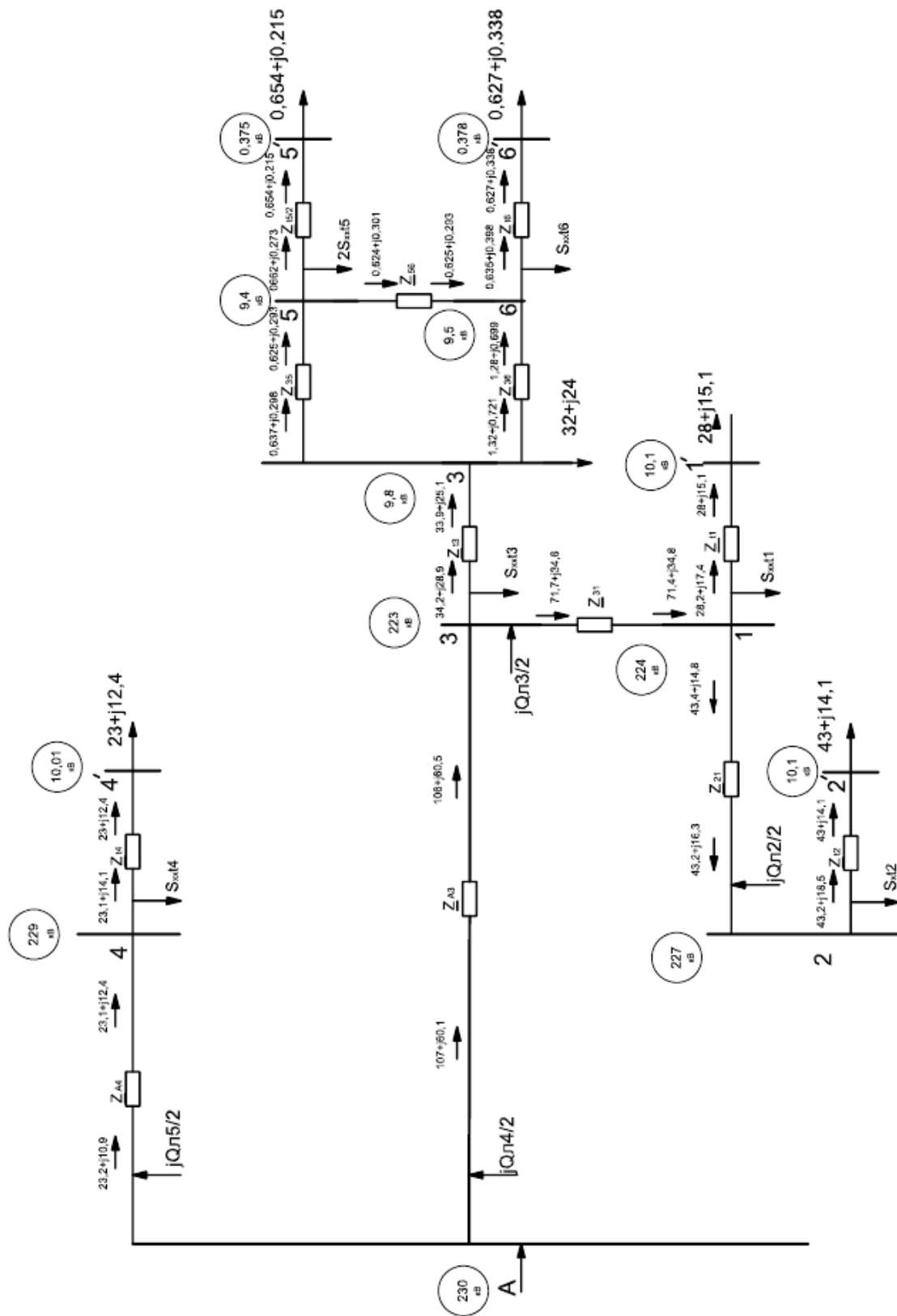


Рисунок. 1.3 – Схема заміщення мережі при аварійному режимі роботи

Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата

БР 3.6.141.531 ПЗ

Арк.

24



### 1.9 Режим мінімального навантаження електричної мережі

При мінімальному режимі, у відповідності із завданням за табл. 1.3 потужність споживачів дорівнює:

$$P_{min} = P_{max} \cdot K_{min} \quad (1.22)$$

де  $P_{max}$  – потужність максимального режиму;

$K_{min}$  – частка всіх навантажень в номінальному режимі  $P_{min}$  по відношенню до максимального  $P_{max}$ .

Розрахунок виконуємо аналогічно пункту 1.6. Результати розрахунку потужностей під час мінімального режиму показано у таблиці 1.15

Таблиця 1.15 – Результати розрахунків потужностей під час мінімального режиму

Ділянка	Скінцева, МВА	$\Delta S$ , МВА*	Спочаткова, МВА	Ірозр, А	Ідоп, А
0-2	28,8+8,2j	0,094+0,034j	28,9+5,9j	77	605
2-1	6,29+4,14j	0,005+0,002j	6,29+1,93j	17	605
3-1	8,35+1,2j	0,003+0,012j	8,35+0,049j	22	605
3-0	26,1+11,5j	0,099+0,356j	52,2+19,8j	146	605
4-0	12,1+5,53j	0,011+0,041j	12,1+3,92j	33	605
3-5	0,325+0,165j	0,0033+0,0016j	0,328+0,166j	21	175
3-6	0,661+0,387j	0,012+0,006j	0,673+0,393j	45	175
5-6	0,325+0,165j	0,0047+0,0023j	0,329+0,167j	21	175
1-1'	14,6+7,8j	0,029+0,521j	14,6+8,74j		
2-2'	22,4+7,3j	0,041+1,06j	22,5+8,9j		
3-3'	17,6+13,1j	0,035 +0,916j	17,7+14,5j		
4-4'	11,9+6,5j	0,019+0,352j	12,03+7,17j		
5-5'	0,340+0,112j	0,0013+0,0054j	0,344+0,155j		
6-6'	0,326+0,176j	0,0014+0,0058j	0,331+0,219j		
0	93,1+29,7j				

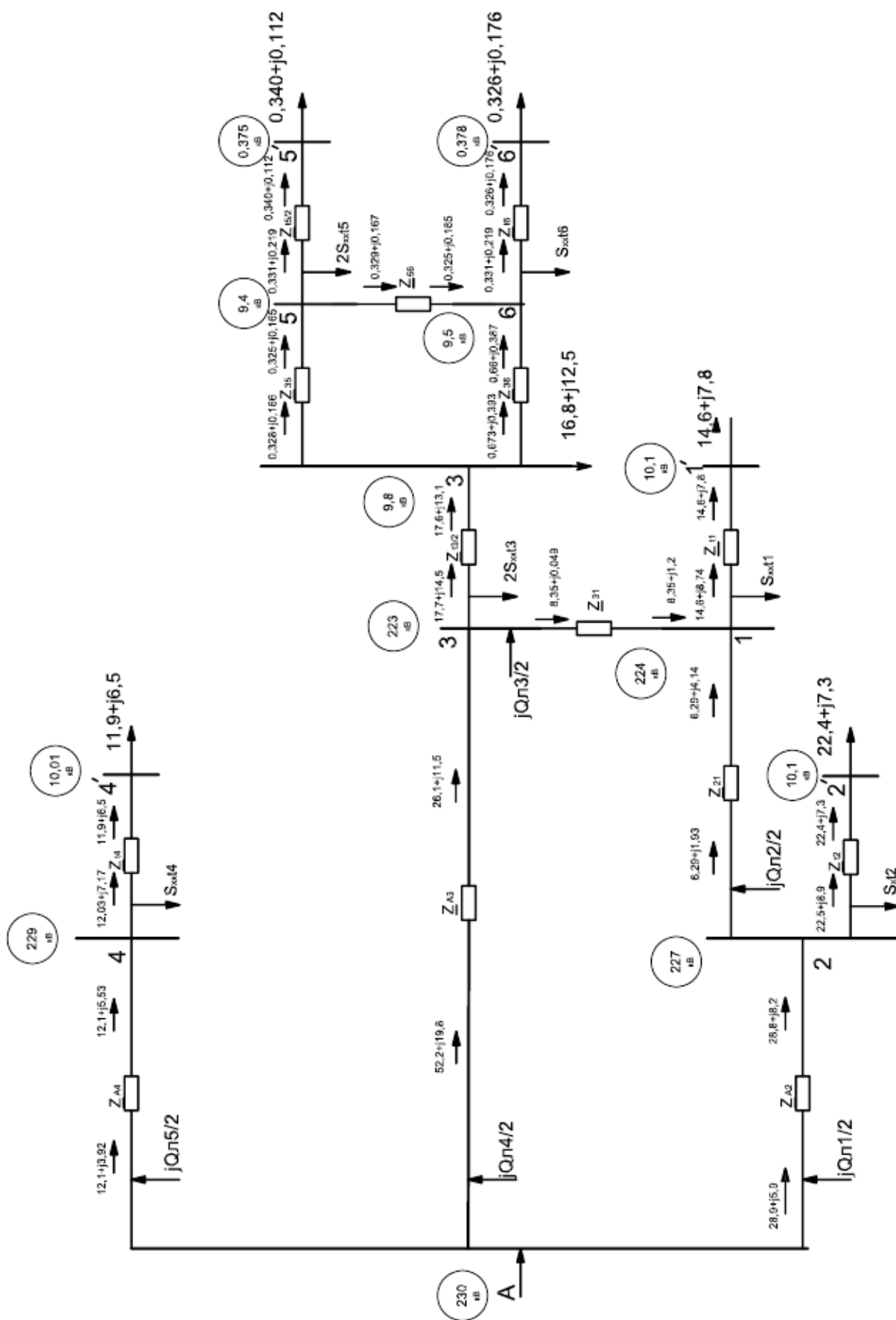
Результати розрахунку напруг у вузлах мережі під час мінімального режиму показано у таблиці 1.16.

Таблиця 1.16 – Результати розрахунку напруг у вузлах при мінімальному режимі

Вузол	U <sub>ном</sub> , кВ	U, кВ	Ступінь РПН
0	230	230	
1	220	228	
2	220	229	
3	220	227	
4	220	229	
5	10	9,8	
6	10	9,8	
1'	10	10,2	-6
2'	10	10,1	-7
3'	10	9,98	-8
4'	10	10,1	-8
5'	0,38	0,390	
6'	0,38	0,392	

Схема заміщення для мінімального режиму роботи мережі приведена на рисунку 1.4.

Рисунок. 1.4 – Схема заміщення мережі при мінімальному режимі



Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата
------	----	----------	--------	------

БР 3.6.141.531 ПЗ

Арк.

27

## 2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДСТАНЦІЇ

Користуючись вихідними даними, номінальні напруги  $U_{ВН}=220$  кВ,  $U_{НН}=10$  кВ, тип підстанції – прохідна, живиться від енергосистеми двома повітряними лініями.

### Вихідні дані

Вихідними даними є:

1. Номінальне навантаження споживачів, приєднаних на боці низької напруги (НН) підстанції.
2. Потужність КЗ системи.
3. Реактивні опори ліній зв'язку із енергосистемою.
4. Добовий графік навантаження споживачів підстанції.

Живильні лінії ( $L_1$  та  $L_2$ ) прокладені проводом марки АС-240/32.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані ПС згідно якої виконуємо розрахунок

№ ПС	Категорія споживачів	$S_{Т.розр},$ МВА	$S_{Т.ном},$ МВА	$K_3$	Кількість трансформаторів
2	III	45	ТРДЦН- 63000/220	0,72	1

Таблиця 2.2 - Вихідні дані опір ліній, системи та трансформатора

$X_T,$ Ом	$X_{L1},$ Ом	$X_{L2},$ Ом	$S_C,$ МВА	$t,$ °С
100.8	18	15	2400	+20

Таблиця 2.3 - Вихідні дані для графіку навантаження

t	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$S_i(\%)$	40	50	65	80	100	80	90	100	100	120	140	110
$S_{ном},$ МВА	63											
$S_i,$ МВА	18, 09	22, 61	29, 39	36, 18	45, 22	36, 18	40, 70	45, 22	45, 22	54, 27	63, 31	49, 74

<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Денисенко Д.В.						
Керівник		Василега П.О.					28	67
Консульт.						СумДУ ЕТ-61		
Н. контр.								
Затверд.		Лебединський І.Л.						

## 2.1 Вибір силових трансформаторів та перевірка за графіком навантаження

Повна потужність навантаження підстанції це те значення яке відповідає потужності приймача в нашому випадку це 43 МВт та 14 МВАр, що загалом становить 45,22 МВА ( $S_{max}$ ).

Не ділимо на 1,4% оскільки в нас III категорія споживачів.

Отже виконуємо перевірку чи витримує ТРДЦН-63000/220 данне навантаження:

Знаходимо значення навантажень для кожного періоду часу.

$$S_i = \frac{S_{max} \cdot S_i (\%) }{100} \quad (2.1)$$



Рисунок 2.1 – Графік навантаження

Коефіцієнт початкового навантаження еквівалентного графіка визначається за формулою:

$$K_1 = \frac{1}{S_{ном.тр}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^k S_n^2 \cdot t_n}{\sum_{n=1}^k t_n}} = 0.862 \quad (2.2)$$

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		29

де  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – потужність навантаження відповідного ступеня графіку ( $S_1, S_2, \dots, S_n \leq S_{\text{ном.тр.}}$ );  $t_1, t_2, \dots, t_n$  – тривалість відповідного ступеня, год.

Попереднє значення коефіцієнта перевантаження визначається за формулою:

$$K_2' = \frac{1}{S_{\text{ном.тр.}}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^k S_n'^2 \cdot h_n}{\sum_{n=1}^k h_n}} = \frac{1}{63} \sqrt{\frac{63.31^2 \cdot 2}{2}} = 1.4 \quad (2.3)$$

де  $S_1', S_2', \dots, S_n'$  – потужність навантаження відповідного ступеня графіка ( $S_1', S_2', \dots, S_n', S_{\text{ном.тр.}}$ );  $h_1, h_2, \dots, h_n$  – тривалість відповідних ступенів перевантаження, год.

Визначене попереднє значення  $K_2'$  порівнюється зі значенням  $K_{\text{max}} = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном.тр.}}} = \frac{63.31}{63} \approx 1.00$  вихідного графіка.  $K_2 = 0.9 \cdot K_{\text{max}} = 0.9$ . Оскільки

$K_2' > K_2$ , то приймаємо  $K_{2\text{реал}} = K_2' = 1.4$ .

Згідно значень  $K_1 = 0.862$  та часу перевантаження  $h = 2$  знаходимо у ГОСТ 14209-85 при температурі охолодження  $t_{\text{охол}} = +20^\circ\text{C}$ , значення  $K_{2\text{гост}} = 1.7$ . Значення  $K_{2\text{гост}} > K_{2\text{реал}}$ , тобто ТРДЦН-63000/220 витримує наведене електричне навантаження.

Так як наступним є розрахунок струмів КЗ і очікується що кількість трансформаторів буде 2 шт, тому для надійності не дивлячись на те що III категорія беремо два трансформатори.

## 2.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Шляхом поступового перетворення схеми до більш простого вигляду – так, щоб кожне джерело живлення з еквівалентною ЕРС були зв'язані з точкою короткого замикання одним опором (рисунок 2.2).

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		30

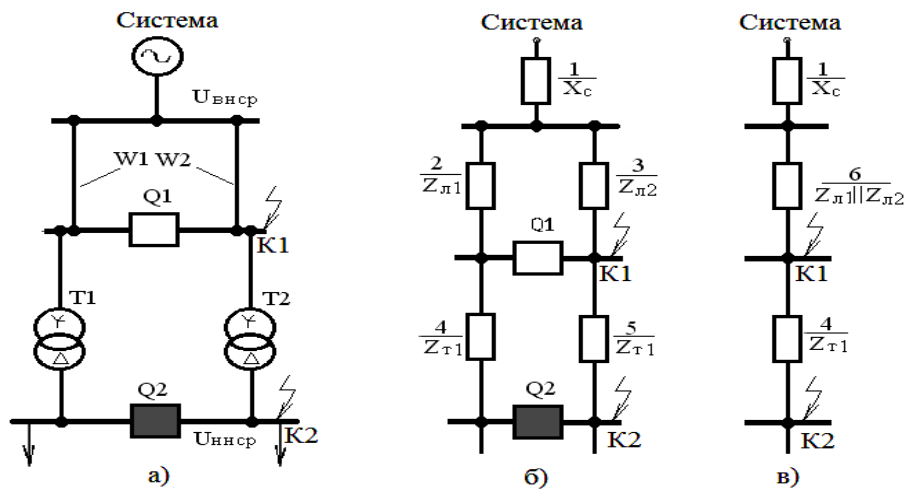


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема (а) і схеми заміщення (б) і (в) для тупикової чи відгалуджувальної (відпаєчної) підстанції (зафарбовані вимикачі означають їх вимкнутий стан)

Розрахунок струмів КЗ виконується в іменованих одиницях з точним приведенням.  $U_{ОСН}=U_{ВН}=220$  кВ.

Опір ліній:

$$X_L = \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} = \frac{18 \cdot 15}{18 + 15} = 8.182 \text{ Ом} \quad (2.4)$$

Опір трансформаторів:

$$X_T = \frac{100.8}{2} = 50.4 \text{ Ом} \quad (2.5)$$

Опір системи:

$$X_C = \frac{U_{ВН}^2}{S_{КЗ.С}} = \frac{220^2}{2400} = 20.167 \text{ Ом} \quad (2.6)$$

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

$$I_{K1} = \frac{U_{ВН}}{\sqrt{3} \cdot (X_L + X_C)} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot (8,182 + 20,167)} = 4,481 \text{ кА} \quad (2.7)$$

Періодична складова струму КЗ в точці К<sub>2</sub>

$$I_{K2} = \frac{U_{ВН}}{\sqrt{3} \cdot (X_L + X_C + X_T)} \cdot \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot (8,182 + 20,167 + 50,4)} \cdot \frac{220}{10} = 35,485 \text{ кА} \quad (2.8)$$

Ударний струм:

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$- \text{ в точці } K_1 i_y = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot 4,481 = 10,202 \text{ кА} \quad (2.9)$$

$$- \text{ в точці } K_2 i_y = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1.61 \cdot 35,485 = 80,794 \text{ кА} \quad (2.10)$$

Вважаємо, що амплітуда ЕРС та періодична складова струму КЗ незмінні у часі, тому через час, рівний часу відключення.

$$I_{пт} = I_{K1} = 10.202 \text{ кА для точки } K_1 \quad I_{пт} = I_{K2} = 35.485 \text{ кА для точки } K_2$$

Аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів вимикача:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{пт} \cdot e^{-t/T_a}$$

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot 4,481 \cdot e^{-0.06/0.025} = 0,575 \text{ кА} \quad (2.11)$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot 35,485 \cdot e^{-0.1/0.05} = 6,792 \text{ кА}$$

де  $T_a$  – постійна часу затухання аперіодичної складової;  $T_{a1}=0.025$  с,  $T_{a2}=0.05$  с,  $t_1=0.06$  с,  $t_2=0.1$  с.

Інтеграл Джоуля (термічна стійкість)

$$- \text{ в точці } K_1 B_k = I_{K1}^2 \cdot (\tau + T_a) = 4,481^2 \cdot (0.06 + 0.025) = 1,707 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (2.12)$$

$$\text{в точці } K_2 B_k = I_{K2}^2 \cdot (\tau + T_a) = 35,485^2 \cdot (0.1 + 0.05) = 188,878 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (2.13)$$

Таблиця 2.4 - Результати розрахунків струмів КЗ

Точка КЗ	Періодична складова струму КЗ в початковий момент часу, кА	Ударний струм КЗ, кА	Періодична складова струму КЗ в момент спрацювання вимикача, кА	Аперіодична складова струму КЗ, кА	Інтеграл Джоуля, кА <sup>2</sup> ·с
Шини 220 кВ (K <sub>1</sub> )	4,481	10,202	4,481	0,575	1,707
Шини 10 кВ (K <sub>2</sub> )	35,485	80,794	34,486	6,792	188,878

Максимальний струм на зовнішньому боці:

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		32



$$I_{220\max} = \frac{1.4S_{\text{ном.}}}{\sqrt{3} \cdot 110} = \frac{1.4 \cdot 63}{\sqrt{3} \cdot 220} = 231 \text{ A} \quad (2.14)$$

Струм у колі ввідних вимикачів на боці 10 кВ

$$I_{10}^B = \frac{1.4S_{\text{ном.}}}{\sqrt{3} \cdot 10} = \frac{1.4 \cdot 63}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5092 \text{ A} \quad (2.15)$$

Струм у колі секційного вимикача

$$I_{10}^{C.B} = \frac{0.7S_{\text{ном.}}}{\sqrt{3} \cdot 10} = \frac{0.7 \cdot 63}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2546 \text{ A} \quad (2.16)$$

Струм у колі лінії, що відходять (приймаємо що відходять 10 ліній)

$$I_{10}^{\text{омх}} = \frac{1.4S_{\text{ном.}}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10} = \frac{1.4 \cdot 63}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10} = 509 \text{ A} \quad (2.17)$$

Таблиця 2.5 – Вибір вимикачів на стороні 220 кВ

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{\text{м.ном}} \leq U_{\text{ном.}}$	220 кВ	220 кВ
$I_{\text{розр}} \leq I_{\text{ном}}$	231 А	1000 А
$I_{\pi 0} \leq I_{\text{пр.СКВ}}$	4,481 кА	25 кА
$i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{СКВ}}$	10,202 кА	64 кА
$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{відк.ном.}}$	4,481 кА	25 кА
$I_{\text{ат}} \leq I_{\text{а.ном}}$	0,575 кА	$\sqrt{2} \cdot \frac{25 \cdot 25}{100} = 8,388 \text{ кА}$
$B_K \leq I_{\tau \text{ ном.}}^2 \cdot t_T$	1,707 кА <sup>2</sup> ·с	25 <sup>2</sup> ·3 кА <sup>2</sup> ·с

Вимикач серії У-220Б-1000-25У1 задовольняє умовам вибору

Таблиця 2.6- Вибір роз'єднувачів на напрузі 220 кВ

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{\text{м.ном}} \leq U_{\text{ном.}}$	220 кВ	220 кВ
$I_{\text{розр}} \leq I_{\text{ном}}$	231 А	630 А
$i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{СКВ}}$	10,202 кА	100 кА
$B_K \leq I_{\tau \text{ ном.}}^2 \cdot t_T$	1,707 кА <sup>2</sup> ·с	40 <sup>2</sup> ·3 кА <sup>2</sup> ·с

Роз'єднувачі РНДЗ.1-220/630 Т1 і РНДЗ.2-220/630 Т1 із приводом ПДН-220Т та ПР-Т1 задовольняють умовам вибору.

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

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{м.ном} \leq U_{ном.}$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	5092 А	5600 А
$I_{\pi 0} \leq I_{пр.СКВ}$	35,485 кА	45 кА
$i_{уд.} \leq i_{СКВ}$	80,794 кА	120 кА
$I_{пт} \leq I_{відк.ном.}$	35,485 кА	45 кА
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	6,792 кА	$\sqrt{2} \cdot \frac{45 \cdot 20}{100} = 12,728 \text{ кА}$
$B_K \leq I_{\tau ном.}^2 \cdot t_T$	188,878 кА <sup>2</sup> ·с	45 <sup>2</sup> ·4 кА <sup>2</sup> ·с

Вимикачі типу МГГ-10-5000-45У3 відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.8 – Вибір секційного вимикача на боці 10 кВ

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{м.ном} \leq U_{ном.}$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	2546 А	3150 А
$I_{\pi 0} \leq I_{пр.СКВ}$	35,485 кА	40 кА
$i_{уд.} \leq i_{СКВ}$	80,794 кА	100 кА
$I_{пт} \leq I_{відк.ном.}$	35,485 кА	40 кА
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	6,792 кА	$\sqrt{2} \cdot \frac{40 \cdot 20}{100} = 11,314 \text{ кА}$
$B_K \leq I_{\tau ном.}^2 \cdot t_T$	188,878 кА <sup>2</sup> ·с	40 <sup>2</sup> ·3 кА <sup>2</sup> ·с

Секційний вимикач типу ВЭ-10-40/3150У3 задовільняє умовам.

Таблиця 2.9 – Вибір лінійних вимикачів на напрузі 10 кВ

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{м.ном} \leq U_{ном.}$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	509 А	1600 А
$I_{\pi 0} \leq I_{нр.СКВ}$	35,485 кА	40 кА
$i_{уд.} \leq i_{СКВ}$	80,794 кА	128 кА
$I_{лт} \leq I_{відк.ном.}$	35,485 кА	40 кА
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	6,792 кА	$\sqrt{2} \cdot \frac{40 \cdot 20}{100} = 11,314 \text{ кА}$
$B_K \leq I_{\tau ном.}^2 \cdot t_T$	188,878 кА <sup>2</sup> ·с	40 <sup>2</sup> ·4 кА <sup>2</sup> ·с

Вимикач типу ВЭ-10-40/1600У3(Т3) відповідає умовам.

Каталожні дані вимикачів та роз'єднувачів використанні із таблиць [5].

### 2.3 Вибір ошиновки РП

Так як збірні шини по економічній щільності струму не вибираються, приймаємо перетин по припустимому струмі при максимальному навантаженні на шинах, рівній току найбільш потужного приєднання, в даному випадку трансформатора.

$$I_{норм.роб} = \frac{1.4S_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot 220} = 232 \text{ А} \quad (2.18)$$

$$I_{max} = 1.4I_{норм.роб} = 1.4 \cdot 232 = 324 \text{ А}$$

З табл. 7.35, стор. 430 [4] приймаємо провід АС-240/32, q = 240 мм<sup>2</sup>, d = 21,6 мм, I<sub>доп</sub> = 605 А.

Визначаємо початкову критичну напруженість електричного поля:

$$E_0 = 30.3 \cdot m \cdot \left( 1 + \frac{0.299}{\sqrt{r_0}} \right), \quad (2.19)$$

де  $m$  – коефіцієнт, який враховує шорсткість поверхні проводу (приймаємо  $m=0.82$  для багато провідникових проводів);  $r_0$  – радіус проводу, см.

Визначаємо напруженість електричного поля навколо проводу:

$$E = \frac{0.354 \cdot U}{r_0 \cdot \lg\left(\frac{D_{сер}}{r_0}\right)}, \quad (2.20)$$

де  $U$  – лінійна напруга, кВ (242 кВ, бо на шинах ЕС підтримується напруга  $1.1U_{ном}$ );  $D_{сер}$  – середня геометрична відстань між проводами фаз, см (для  $U_{ном}=220$  кВ маємо  $D_{сер}=8$  м). Та виконуємо перевірку  $1.07E \leq 0.9E_0$ . Після проведення розрахунків отримуємо:

$$E_0 = 30.3 \cdot 0.82 \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{2.16/2}}\right) = 31,995 \text{ кВ/см}$$

$$E = \frac{0.354 \cdot 242}{2.16/2 \cdot \lg\left(\frac{800}{2.16/2}\right)} = 27,642 \text{ кВ/см} \quad (2.21)$$

$$1.07 \cdot 27,642 \leq 0.9 \cdot 312; 29,5 \leq 28,8$$

Перевірка не виконується тому пропонується обрати наступний переріз АС-300/39.

Перевірку шин на електродинамічну стійкість не виконуємо, бо  $I_{\pi 0} < 20$  кА.

Перевірка на термічну стійкість, визначаємо мінімально термічно стійких переріз шин:

$$q_{min} = \sqrt{B_k} / C = \sqrt{1,707} / 91 \cdot 10^{-3} = 14,357 \text{ мм}^2 \quad (2.22)$$

Оскільки  $14,357 \leq 240$ , термічна стійкість шин забезпечується.

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 2.10 – Умова вибору збірних шин, виконаних гнучким проводом  
АС-240/32

Параметри	Умова вибору	Розрахункові параметри	Допустимі значення
Тривалий струм, А	$I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$	324	605
Термічна стійкість, мм <sup>2</sup>	$q_{\min} \leq q_{\text{ст}}$	14,357	240
Умова коронування, кВ/см	$1.07E \leq 0.9E_0$	29,5	28,8
Електродинамічна дія струмів КЗ, м	$b < b_{\text{доп}}$	не виконується	

Розрахункові струми:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{ном. тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3637,307 \text{ А} \quad (2.23)$$

Збірні шини за економічною щільністю струму не вибираються, тому переріз обираємо за припустимим струмом.

Беремо шини коробчастого типу, алюмінієві 2х(125х55х6,5) мм, переріз (2х1370) мм<sup>2</sup>,  $I_{\text{доп}}=4640 \text{ А}$ ,  $W_{y-y}=9.5 \text{ см}^3$ ,  $W_{y_0-y_0}=100 \text{ см}^3$ . [1, с. 86].

Перевірка на термічну стійкість, визначаємо мінімально термічно стійких переріз шин:

$$q_{\min} = \sqrt{B_K / C} = \sqrt{188.878 / 91 \cdot 10^{-3}} = 151,0252 \text{ мм}^2 \quad (2.24)$$

Оскільки  $151,0252 \leq 2 \times 1370$ , термічна стійкість шин забезпечується.

Частота власних коливань для алюмінієвих шин:

$$f_0 = \frac{173.2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{J_{y_0-y_0}}{q}} = \frac{173.2}{1.5^2} \cdot \sqrt{\frac{635}{2 \cdot 6.95}} = 520 \text{ Гц} \quad (2.25)$$

Момент інерції для двох зрошених шин  $J_{y_0-y_0}=635 \text{ см}^4$ .

Оскільки  $f_0 > 220 \text{ Гц}$ , то резонанс виключений.

Напряга від взаємодії фаз визначається за формулою:

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_y^2 \cdot l^2}{W_{\phi} \cdot a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \cdot \frac{80.794^2 \cdot 1.5^2}{2 \cdot 50 \cdot 0.8} = 3.18 \text{ МПа} \quad (2.26)$$

Прийнято, що шини розташовані в вертикальній площині (рисунок 3б), то  $W_{\phi}=2W_{x-x}=2 \cdot 50 \text{ см}^3$ .

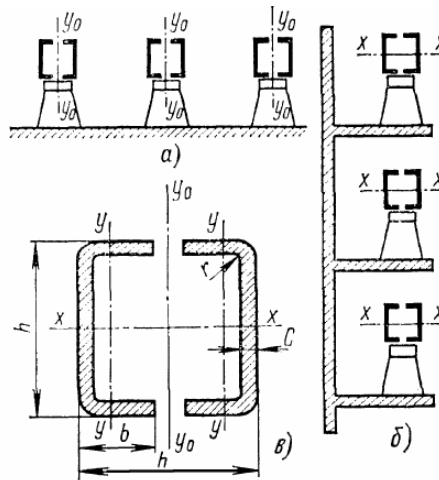


Рисунок 2.3– Для механічного розрахунку шин коробчастого перерізу: а – горизонтальне розташування, б – вертикальне розташування, в – переріз коробчастої шини

При визначенні сил взаємодії між швелерами, що складають шину коробчастого перетину, приймають  $k_{\phi}=1$ ; відстань між осями провідників беруть рівними розмірові  $h$ , тоді сила взаємодії між швелерами:

$$f_{II} = 0.5 \cdot \frac{i_y^2}{h} \cdot 10^{-7} = 0.5 \cdot \frac{80.794^2}{0.075} \cdot 10^{-1} = 4351,78 \text{ Н / м} \quad (2.27)$$

Напруга в матеріалі шин від дії сили:

$$\sigma_c = \frac{f_{II} \cdot l_{II \max}^2}{12 \cdot W_C} = \frac{4351.78 \cdot 1.44^2}{12 \cdot 9.5} = 79.16 \text{ МПа} \quad (2.28)$$

де  $W_C=W_{y-y}$ .

Максимальна відстань між місцями зварювання швелерів:

$$l_{II \max} = \sqrt{\frac{12(\sigma_{дон} - \sigma_{\phi}) \cdot W_C}{f_{II}}} = \sqrt{\frac{12 \cdot (82.3 - 3.18) \cdot 9.5}{4351.78}} = 1.44 \text{ м} \quad (2.29)$$

Визначаємо  $\sigma_{розр} = \sigma_{\phi} + \sigma_c = 82.34 \text{ МПа}$  та порівнюємо його із значення  $\sigma_{дон} = 82.3 \text{ МПа}$ , шини механічно міцні.

					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.11 – Умови вибору шинопроводів на стороні 10 кВ

Параметри	Умова вибору	Розрахункові параметри	Допустимі значення
Тривалий струм, А	$I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$	3637,307	4640
Економічний переріз, мм <sup>2</sup>	$q_{\text{розр}} \leq q_{\text{табл}}$	3306	2x1370
Термічна стійкість, кА	$q_{\min} \leq q_{\text{табл}}$	151,0252	2(125x55x6,5)
Динамічна стійкість, МПа	$\sigma_{\text{розр}} \leq \sigma_{\text{доп}}$	82,34	82,3

#### 2.4 Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги

Здійснюємо вибір трансформаторів струму для РП всіх напруг. ТС призначені для зменшення первинного струму до значень, що підходять для приладів і реле, і для відокремлення кіл вимірювання і захисту від первинних кіл ВН [6].

Вибір ТС здійснюємо по наступних параметрах:

- 1) по напрузі:

$$U_{\text{роб}} \leq U_{\text{ном}}$$

- 2) по струму:

$$I_{\text{роб}} \leq I_{\text{ном}}$$

*Примітка:* причому номінальний струм повинен бути максимально близьким до робочого струму установки, оскільки навантаження первинної обмотки призводить до збільшення похибок.

- 3) по конструкції і класу точності;

- 4) по динамічній стійкості:

$$i_y \leq K_{\text{дин}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1\text{ном}}$$

де  $i_y$  – ударний струм КЗ;  $K_{\text{дин}}$  – кратність динамічної стійкості;  $I_{1\text{ном}}$  – номінальний струм ТС;

- 5) по термічній стійкості:

$$B_{\text{Крозр}} \leq (K_{\text{терм}} \cdot I_{1\text{ном}})^2 \cdot t_{\text{терм}}$$

										Арк.
										39
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.531 ПЗ					

Таблиця 2.12 - Вторинне навантаження трансформатора струму

Прилад	Тип	Клас точності	Навантаження, В·А		
			Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Э-335	1	0.5	0.5	0,5
Ваттметр	Д-350	1.5	0.5	-	0.5
Варметр	Д-345	1.5	0.5	-	0.5
Лічильник активної енергії	СА-3	1	2.5	-	2.5
Лічильник реактивної енергії	СР-4	1.5	2.5	-	2.5
Сумарне навантаження ТС в колі СТ з боку НН	-	-	6.5	0.5	6.5
Сумарне навантаження ТС в колі секційного вимикача на стороні НН	-	-	0.5	0.5	0.5
Сумарне навантаження ТС в колі СТ з боку ВН	-	-	0.5	0.5	0.5
Сумарне навантаження ТС в колі ліній, що відходять	-	-	0.5	0.5	0.5

Загальний опір вторинної ланцюга трансформатора струму складається з опорів приладів, сполучних проводів і перехідного опору контактів:

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}}$$

Опір приладів визначається за виразом:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2\text{ном}}^2}$$

де  $S_{\text{приб}}$  - потужність споживана приладами (найбільше по фазі);  $I_{2\text{ном}}$  - вторинний номінальний струм трансформатора струму, що дорівнює 5 А.

Опір контактів приймають рівним 0.05 Ом при двох-трьох приладах і 0.1 Ом – при більшій кількості приладів. Опір з'єднувальних проводів залежить від їх довжини та перерізу.

$$r_{\text{пр}} \leq Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}}$$

Переріз з'єднувальних проводів:

					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		40



$$q = \frac{\rho l_{розр}}{r_{пр}}$$

де  $\rho$  – питомий опір матеріалу проводу, проводи з алюмінієвими жилами ( $\rho = 0.0283$ ) або мідними ( $0.0175$ );  $l_{розр}$  – розрахункова довжина, що залежить від схеми з'єднання ТС.

Таблиця 2.13 – Вибір ТС у колі силового трансформатора на боці високої напруги

Умови вибору	Розрахункові дані	Тип трансформатора струму	Номінальні дані
$U_{роб} \leq U_{ном}$ , кВ	220	ТВ220-I-Y2, ХЛ2	220
$I_{роб} \leq I_{ном}$ , А	231		400
$i_y \leq i_{дин}$ , кА	10,202		$20 \cdot \sqrt{2} \cdot 400 = 11,314$
$B_{Крозр} \leq B_{Кном}$ , кА <sup>2</sup> ·с	1,707		$25^2 \cdot 3$
$Z_2 \leq Z_{2ном}$ , Ом	1.53		1.6

Найбільш завантажена фаза А і С, тому

$$r_{пр} = \frac{0.5}{5^2} = 0.02 \text{ Ом} . r_k = 0.05 \text{ Ом} . r_{пр} = \frac{40}{25} - 0.02 - 0.05 = 1.53 \text{ Ом} ,$$

де  $S_{2ном} = 40$  ВА (к.т 3). Тоді  $q = \frac{0.0175 \cdot 60}{1.13} = 0.686 \text{ мм}^2$ .

Приймаємо перетин  $1 \text{ мм}^2$ , за умовою міцності.

Таблиця 2.14 – Вибір ТС у колі секційного вимикача на стороні НН

Умови вибору	Розрахункові дані	Тип трансформатора струму	Номінальні дані
$U_{роб} \leq U_{ном}$ , кВ	10	ТВ10-I-Y2	10
$I_{роб} \leq I_{ном}$ , А	2546		6000

Продовження таблиці 2.14

$i_y \leq i_{дин}, \text{кА}$	80,794	ТВ10-І-У2	$30 \cdot \sqrt{2} \cdot 6000 = 254,558$
$B_{Крозр} \leq B_{Кном},$ $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	188,878		$85.5^2 \cdot 3$
$Z_2 \leq Z_{2ном}, \text{Ом}$	0,49		1.2

$$r_{приб} = \frac{6.5}{5^2} = 0.26 \text{ Ом} . r_k = 0.05 \text{ Ом} . r_{np} = \frac{20}{25} - 0.26 - 0.05 = 0.49 \text{ Ом} .$$

$$S_{2ном} = 20 \text{ ВА (к. т 0.5)} . q = \frac{0.0175 \cdot 60}{0.49} = 2.142 \text{ мм}^2 , q_{стан} = 2.5 \text{ мм}^2 .$$

Таблиця 2.15 – Вибір ТС у колі силового трансформатора на боці низької напруги

Умови вибору	Розрахункові дані	Тип трансформатору струму	Номінальні дані
$U_{роб} \leq U_{ном}, \text{кВ}$	10	ТВТ-10 П2-19	10
$I_{роб} \leq I_{ном}, \text{А}$	5092		6000
$i_y \leq i_{дин}, \text{кА}$	80,794		$12 \cdot \sqrt{2} \cdot 6000 = 124,708$
$B_{Крозр} \leq B_{Кном},$ $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	188,878		$(12 \cdot 6000)^2 \cdot 3 = 72^2 \cdot 3$
$Z_2 \leq Z_{2ном}, \text{Ом}$	1,13		1,2

$$r_{приб} = \frac{0.5}{5^2} = 0.02 \text{ Ом} .$$

$$r_k = 0.05 \text{ Ом} . r_{np} = 1,2 - 0.02 - 0.05 = 1,13 \text{ Ом} .$$

$$q = \frac{0.0175 \cdot 60}{1.13} = 0,929 \text{ мм}^2 ,$$

$$q_{стан} = 1 \text{ мм}^2 .$$

Таблиця 2.16 – Вибір ТС у колі лінії, що відходить

Умови вибору	Розрахункові дані	Тип трансформатору струму	Номінальні дані
$U_{роб} \leq U_{ном}$ , кВ	10	ТОЛ-10	10
$I_{роб} \leq I_{ном}$ , А	509		4000
$i_y \leq i_{дин}$ , кА	80,794		$18 \cdot \sqrt{2} \cdot 4000 = 101,823$
$B_{Крозр} \leq B_{Кном}$ , кА <sup>2</sup> ·с	188,878		$31,5^2 \cdot 1$
$Z_2 \leq Z_{2ном}$ , Ом	0,53		0,6

$$r_{приб} = \frac{0.5}{5^2} = 0.02 \text{ Ом} \cdot r_k = 0.05 \text{ Ом} \cdot r_{np} = 0,6 - 0.02 - 0.05 = 0.53 \text{ Ом}, \text{ де к.т Р.}$$

$$\text{Тоді } q = 0.0175 \cdot 60 / 0.53 = 1.98 \text{ мм}^2 \cdot q_{стан} = 2 \text{ мм}^2$$

Трансформатори напруги вибираються за  $U_{1ном}$  і виконанням аналогічно вимикачам і перевіряються за умовою [5,6].

$$S_{2\Sigma} \leq S_{2ном}$$

де  $S_{2ном}$  – номінальна потужність в обраному класі точності, ВА;  $S_{2\Sigma}$  - навантаження всіх вимірювальних приладів і реле, приєднаних до трансформатора напруги, ВА.

Для спрощення розрахунків навантаження приладів можна не розділяти по фазах.

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{прил}^2 + Q_{прил}^2}$$

Переріз з'єднувальних проводів приймається за умовою механічної стійкості аналогічно трансформаторам струму. З метою запобігання явищам ферорезонансу рекомендується застосовувати антирезонансні трансформатори напруги.

					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 2.17 – Вимірювальні прилади

Прилад	Тип	Споживана потужність, ВА	$n_{\text{кот}}$	$n_{\text{пр}}$	$\sin\varphi$	$\cos\varphi$	Споживана потужність		
							P, Вт	Q, ВА	
Вольтметр	Э-335	1	2	1	1	0	2	-	
Ваттметр (ввід)	Д-335	2	1	3	1	0	6	-	
Варметр	Д-335	2	2	3	0.38	0.925	12	11.1	
Лічильник активної енергії (ввід)	И-680	8	2	3	0.38	0.925	48	44.4	
Лічильник реактивної енергії (у колі Т)	И-676	12	2	3	0.38	0.925	72	66.6	
Лічильник активної енергії (на лінії)	И-674	12	2	1	0.38	0.925	24	22.2	
Лічильник реактивної енергії (на лінії)	И-673	12	2	1	0.38	0.925	24	22.2	
							Σ	188	166.5

Вторинне навантаження буде:  $S_{2\Sigma} = \sqrt{188^2 + 166.6^2} = 251.13 \text{ ВА}$ . На стороні 220 кВ НКФ-220-III-У1 і тоді  $3000 \geq 251.13 \text{ (ВА)}$ , задовільняє, як і пропанувалося у [1, с. 30], а на стороні 10 кВ – ЗНОЛ.06-10У3 із  $S_{2\text{ном}}=300 \text{ ВА}$ .

Приймачами власних потреб є [5]:

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

Сумарна розрахункова потужність приймача власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту

На підстанції передбачається установка 2 трансформаторів власних потреб. Номінальна потужність вибирається за умовою  $S_{TCH} \geq S_{CH}$  де  $S_{TCH}$  - потужність трансформатора власних потреб, кВА;  $S_{CH}$ - потужність споживачів власних потреб, кВА.

Ремонтне навантаження на підстанції можна брати таким, що дорівнює  $S_{ТСР}=20-25\text{кВА}$ . 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 визначається:

$$S_{TCH} = \frac{S_{THP} + S_{CH}}{1.2}, \text{ кВА}$$

Розрахунок навантаження при  $k_{II} = 0,8$  – коефіцієнт попиту, що враховує коефіцієнти одночасності та завантаження.

$$S_{роз} = k_c \cdot \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = 0,8 \cdot \sqrt{107,6^2 + 4,143^2} = 86,144 \text{ кВА}. \quad (2.30)$$

$$S_{TCH} \geq \frac{86,144 + 20}{1.2} = 88,453 \text{ кВА} \quad (2.31)$$

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 2.18 Навантаження власних потреб підстанції.

Вид споживача	Стандартна потужність		Cos φ	Tg φ	Навантаження	
	Одиниці, кВт× кількість	Всього, кВт			P <sub>уст</sub> , кВт	Q <sub>уст</sub> , квар
Охолодження ТРДН- 63000/220	2,5×2	5	0,77	0,829	5	4,143
Підігрів ВВБ – 220	1,8×2	3,6	1	0	3,6	-
Підігрів КРУ	1×2	2	1	0	2	-
Опалення і освітлення ОПУ	80×1	80	1	0	80	-
Опалення і вентиляція ЗРУ	7×1	7	1	0	7	-
Освітлення ОРУ 220 кВ	-	10	1	0	10	-
Всього	-	-	-	-	107,6	4,143

Приймаємо два трансформатори *ТМ – 100кВА* для забезпечення надійної роботи трансформатора при відключення іншого.

#### 2.5 Вибір схеми електричних з'єднань підстанції

Однолінійна схема станції середньої потужності з РП 10 і 220 кВ. До збірних шин 10 кВ підключені генератори G1 і G2, два трансформатори T1 і T2, два понижуючі трансформатори T3 і T4 і чотири лінії місцевої розподільної мережі з струмообмежувальними реакторами LR. До збірних шин 220 кВ підключені два головних трансформатори і дві лінії W, що з'єднують станцію із системою.

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		46

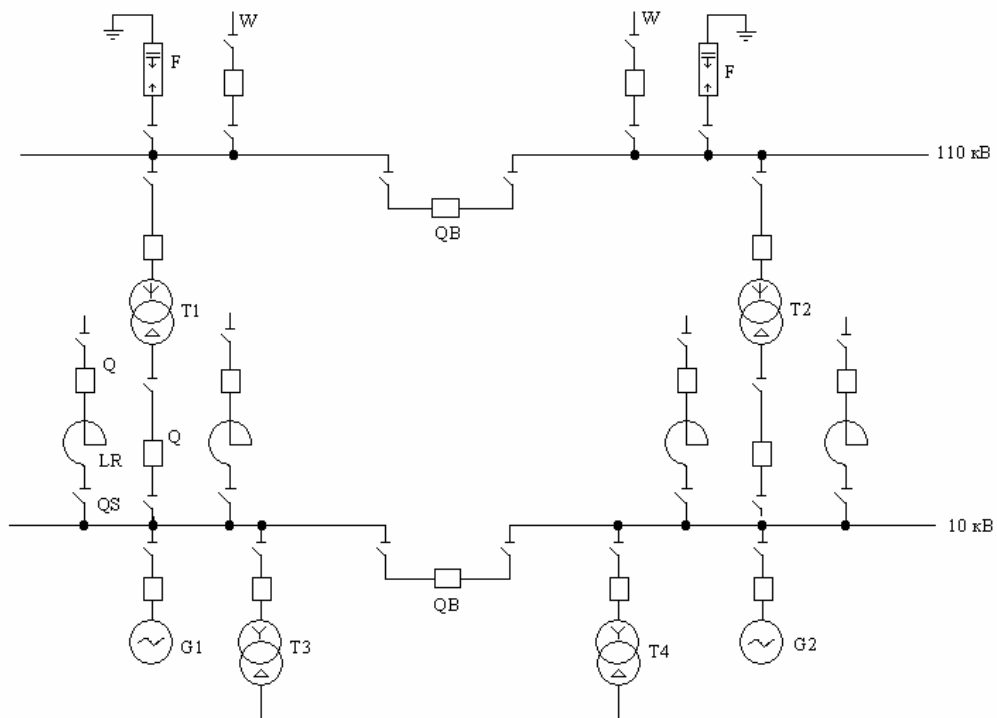


Рисунок 2.4 - Однолінійна схема електростанції середньої потужності з РП 10 і 220 кВ: Q – вимикач; QS – роз'єднувач; QB – вимикач секційний; W – лінія

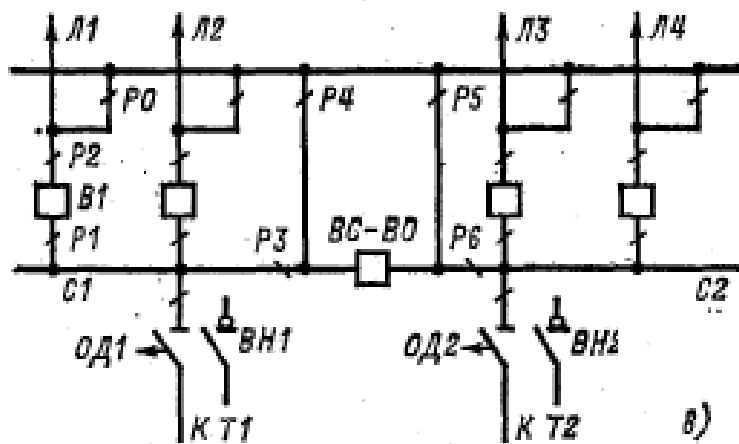


Рисунок 2.5 – Схема зі суміщеним і секційним вимикачем

В схемі (рисунок 2.5) в колах трансформаторів встановлені відокремлювачі або вимикачі навантаження. При пошкодженні в трансформаторі (наприклад Т2) відключається вимикачі ліній Л3, Л4 і секційний ВС-ВО. Після відключення ОД2 (або вимикача навантаження ВН2) вимикачі включаються автоматично, відновлюючи роботу ліній Л3,Л4. Така схема менш зручна в

обслуговувані і застосовується на стороні 220 кВ підстанцій при числі ліній не більше чотирьох, якщо допустимо розділення мережі на дві ізольовано працюючі частини. Суттєвим недоліком схем з однією системою шин являється необхідність відключення всіх кіл, приєднаних до даної секції, у випадку ремонту шинних роз'єднувачів або шин. Відмова в роботі вимикача при К.З. на лінії або в трансформаторі також призведе до відключення секції. При пошкодженні або відмові в роботі секційного вимикача відключаються обидві секції.

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		48



### 3 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА

#### 3.1 Визначення параметрів, необхідних для розрахунку захисту трансформатора

Потрібно розрахувати захист трансформатора ТДТН-80000/110/ (РПН на СН (8 x 1,5 %)  $U_{кВС}=11\%$ ;  $U_{кВН}=18.5\%$ ;  $U_{кСН}=7\%$ ; живиться від енергосистеми з параметрами  $X_{с.макс}=12\text{Ом}$ ,  $X_{с.мін}=18\text{Ом}$ . (опір приведений до  $U_{ср.ном}=115\text{кВ}$ ).

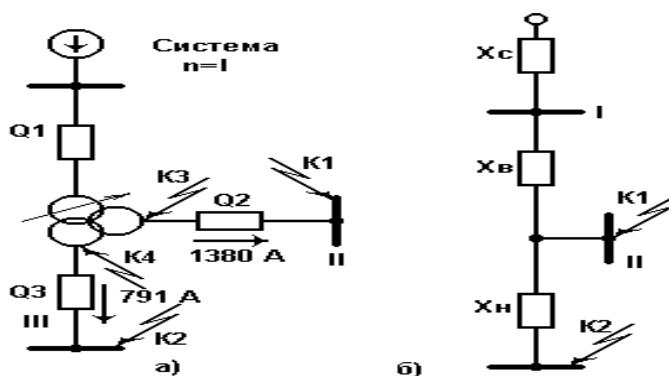


Рисунок 3.1 – Електричні схем трансформатора: принципова (а) та заміщення (б)

Для складання схеми заміщення (рисунок 3.1) обчислюється опір трансформатора[7]:

$$U_{кВ} = 0,5(U_{кВС} + U_{кВН} - U_{кСН}) = 0,5(11 + 18,5 - 7) = 11,25\% \quad (3.1)$$

$$U_{кС} = 0,5(11 + 7 - 18,5) = 0\% \quad (3.2)$$

$$U_{кН} = 0,5(7 + 18,5 - 11) = 2,25\% \quad (3.3)$$

$$X_B = \frac{U_{кВ}}{100} \frac{U_{ср.ном}^2}{S_t} = \frac{11,25}{100} \frac{115^2}{80} = 18,51\text{Ом} \quad (3.4)$$

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Денисенко Д.В.			Літ.	Арк.	Акрушіє
Керівник		Василега П.О.				49	67
Консульт.					<b>СумДУ ЕТ-61</b>		
Н. контр.							
Затверд.		Лебединський І.Л.					
					Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання		

$$x_c \approx 0 \quad (3.5)$$

$$X_H = \frac{U_{кН}}{100} \frac{U_{ср.ном}^2}{S_m} = \frac{2.25}{100} \frac{115^2}{80} = 3.63 \text{ Ом} \quad (3.6)$$

При розрахунках струмів КЗ для захистів автотрансформаторів з РПН слід врахувати зміну опору за рахунок регулювання напруги. Для автотрансформаторів 115 кВ наближено можна прийняти[19] :

$$x_{B.мин} = x_B (1 - \Delta U_1)^2 = 18.51 \cdot (1 - 0.12)^2 = 11.1 \text{ Ом} \quad (3.7)$$

$$x_{H.мин} = x_H (1 - \Delta U_1)^2 = 3.63 \cdot (1 - 0.12)^2 = 2.2 \text{ Ом} \quad (3.8)$$

$$x_{B.маx} = x_B (1 + \Delta U_1)^2 = 18.51 \cdot (1 + 0.12)^2 = 23.13 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

$$x_{H.маx} = x_H (1 + \Delta U_1)^2 = 3.63 \cdot (1 + 0.12)^2 = 4.53 \text{ Ом} \quad (3.10)$$

Струм КЗ на шинах середньої напруги (точка К1, рисунок 3.1)

$$I_{к.макс}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3}(x_{с.макс} + x_{в.мин})} = \frac{115}{\sqrt{3}(12 + 11.1)} = 2.877 \text{ кА} \quad (3.11)$$

$$I_{к.мин}^{(2)} = \frac{U_{ср.ном}}{2(x_{с.мин} + x_{в.макс})} = \frac{115}{2(18 + 23.13)} = 1.398 \text{ кА} \quad (3.12)$$

Струм КЗ на шинах НН (точка К2 рисунок 3.1)

$$I_{к.макс}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3}(x_{с.макс} + x_{в.мин} + x_{H.мин})} = \frac{115}{\sqrt{3}(12 + 11.1 + 2.2)} = 2.627 \text{ А} \quad (3.13)$$

$$I_{к.мин}^{(2)} = \frac{U_{ср.ном}}{2(x_{с.мин} + x_{в.макс} + x_{H.маx})} = \frac{115}{2(18 + 23.13 + 4.53)} = 1.259 \text{ А} \quad (3.14)$$

					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		50

Таблиця 3.1 – Розрахунок первинних та вторинних струмів сторін трансформатора

Позначення параметрів	I-ВН-115 кВ	II-СН-38,5 кВ	III-НН-11 кВ
$I_{\text{НОМП}}, \text{ A}$	$\frac{80000}{(\sqrt{3} \cdot 115)} = 402.1$	$\frac{80000}{(\sqrt{3} \cdot 38,5)} = 1201.1$	$\frac{80000/2}{(\sqrt{3} \cdot 11)} = 2101.9$
$K_{\text{In}}$	1000/5	1500/5	4000/5
Схема з'єднання ТТ	Зірка	Трикутник	Трикутник
$I_{\text{В.НОМП}}, \text{ A}$	$\frac{402.1}{1000/5} = 2.010$	$\frac{1201.1 \cdot \sqrt{3}}{1500/5} = 6.925$	$\frac{2101 \cdot \sqrt{3}}{4000/5} = 4.543$

### 3.2. Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту.

1) Попередній розрахунок диференційного захисту та вибір типу реле.

Струм спрацьовування захисту визначається за більшим з двох розрахункових умов (1.1) і (1.2)[20]:

а) відбудова від кидка струму намагнічування (1.1):

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_{\text{ср.НОМ}}} = \frac{80000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 402.111 \text{ A} \quad (3.15)$$

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{отс}} I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot 402.111 = 522.744 \text{ A} \quad (3.16)$$

б) відбудова від струму небалансу (1.2):

$$I_{\text{с.з}} = k_3 (k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta U_I + \Delta U_{II}) I_{\text{к.макс}(K1)}^{(3)} = 1,3(1,0 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,05) 2887 = 1013.337 \text{ A}$$

Приймається  $I_{\text{с.з}} = 1014 \text{ A}$

2) Попередня перевірка чутливості проводиться за первинними струмів при двофазному КЗ на стороні НН (точка К2, рисунок 3.1):

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}^{(2)}(K4)}{I_{\text{с.з}}} = \frac{1.259}{1014} = 0,001 < 2 \quad (3.17)$$

3) Оскільки захист з реле типу РНТ не забезпечує чутливості, а розрахунковий є струму небалансу, то слід застосувати реле типу ДЗТ-11, для якого струм спрацьовування захисту вибирається за умовами:

а) відбудова від намагнічування струму:

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{отс}} I_{\text{ном}} = 1,5 \cdot 402.111 = 603.165 \text{ A} \quad (3.18)$$

б) відбудова від струму небалансу при КЗ на СН:

$$I_{\text{с.з}} = k_3 (k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta U_I + \Delta U_{II}) I_{\text{к.макс}}^{(3)}(K1) = 1,5(1,0 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,05) 2887 = 1169.235 \text{ A}$$

в) відбудова від струму небалансу при КЗ на НН:

$$I_{\text{с.з}} = k_3 (k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta U_I) I_{\text{к.макс}}(K2) = 1,5(1,0 \cdot 0,1 + 0,12) 2.627 = 0.866 \text{ A} \quad (3.19)$$

Приймаємо реле ДЗТ-11 з уставкой гальмівної обмотки з боку СН. Тоді будуємо по 3 б) буде забезпечена за рахунок гальмування, а струм спрацьовування захисту приймається за більшим з умов 3 а), або 3 в) [19]

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

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}^{(2)}(K4)}{I_{\text{с.з}}} = \frac{1.259}{604} = 0.002 \quad (3.20)$$

Це значення дещо менше нормованого, однак, уже при номінальному коефіцієнті трансформації трансформатора струм КЗ складе [19]:

$$I_{\text{к.мин}}^{(2)} = \frac{115}{2(18 + 18.51 + 3.63)} = 1.432 \text{ A} \quad (3.21)$$

Тоді коефіцієнт чутливості дорівнює:

$$k_{\text{ч}} = \frac{1.432}{601.165} = 0.002 \quad (3.22)$$

Тому захист з реле ДЗТ -11 может бути застосований.

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		52

### 3.4 Вибір уставок реле ДЗТ.

Первинний і вторинний струми сторін трансформатора наведені в таблиці 3.1. З таблиці 3.1 випливає, що в якості основної слід взяти сторону НН (11 кВ), що має більший вторинний номінальний струм.

Струм спрацьовування реле для основної сторони визначається за виразом:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{с.з.кск}} \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{номН}}}}{K_{\text{In}}} = \frac{603,2 \cdot 1 \cdot \frac{115}{11}}{\frac{2000}{5}} = 15,758 \text{ А} \quad (3.23)$$

Розрахункове число витків робочої обмотки для основної сторони визначається за виразом[19]:

$$W_{\text{осн.роз}} = \frac{F_{\text{ср}}}{I_{\text{ср.осн}}} = \frac{100}{15,758} = 6,345 \quad (3.24)$$

Приймається  $w_{\text{роб.осн}}=6$  витків, що відповідає фактичному струму спрацьовування реле  $I_{\text{с.р.осн}}=\frac{100}{6} = 16,666 \text{ А}$ .

Розрахункові числа витків для інших сторін трансформатора:

$$\text{для сторони 110 кВ } w_{\text{розрI}}=6 \frac{4,058}{1,961} = 12,416. \text{ Приймається } w_{\text{I}}=13; \quad (3.25)$$

$$\text{для сторони 35 кВ } w_{\text{розрI}}=6 \frac{4,058}{3,623} = 6,726. \text{ Приймається } w_{\text{II}}=7; \quad (3.26)$$

Уточнений струм спрацьовування захисту з урахуванням похибки вирівнювання знаходиться за виразами[21]:

$$I_{\text{с.з}} = k_3 (k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta U_{\text{I}} + \Delta w_{\text{I}}) I_{\text{к.макс(К2)}}^{(3)} = 1,5 (1,0 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,043) 2,627 = 1,036 \text{ А}, \text{ де}$$

$$\Delta w_{\text{I}} = \frac{w_{\text{Iрасч}} - w_{\text{I}}}{w_{\text{Iрасч}}} = \frac{12,416 - 13}{12,416} = 0,043 \quad (3.27)$$

Уточнений розрахунковий струм спрацьовування реле:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{с.з.кск}} \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{номН}}}}{K_{\text{In}}} = \frac{1,036 \cdot 1 \cdot \frac{115}{11}}{\frac{2000}{5}} = 0,027 \text{ А} \quad (3.28)$$

Оскільки уточнений розрахунковий струм спрацьовування реле (0,27 А) менше фактичного (15,758 А), то вибір робочих витків закінчений.

					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		53

Розрахунковий струм небалансу захисту при КЗ на стороні СН, де передбачено гальмування, з урахуванням похибки вирівнювання[20]:

$$I_{нб.розр} = k_3 \cdot (k_{пвр} \cdot \varepsilon + \Delta U_I + \Delta U_{II} + \Delta \omega_{II}) \cdot I_{к.макс(К1)} = 1.5 \cdot (1 \cdot 0.1 + 0.12 + 0.034 + 0.02) \cdot 2877 = 1186 \text{ А} \quad (3.29)$$

Число витків гальмівний обмотки:

$$W_{тор} = \frac{k_3 \cdot I_{нб.расч} \cdot W_{II}}{I_{к.макс(К1)} \cdot tg \alpha} = \frac{1.5 \cdot 1186 \cdot 16}{2877 \cdot 0.75} = 13.45 \quad (3.30)$$

Таким чином, до установки на реле приймаються наступні витки:

$$w_I = 13 \quad w_{II} = 7 \quad w_{III} = 6 \quad w_{торм.} = 18$$

Чутливість захисту визначається наближено по первинних струмах при розрахунку КЗ на стороні НН для випадків мінімального і нормального регулювання ТР[19]:

$$k_q = \frac{1.259}{1.036} = 1.215 \quad k_q = \frac{1.472}{1.036} = 1.420$$

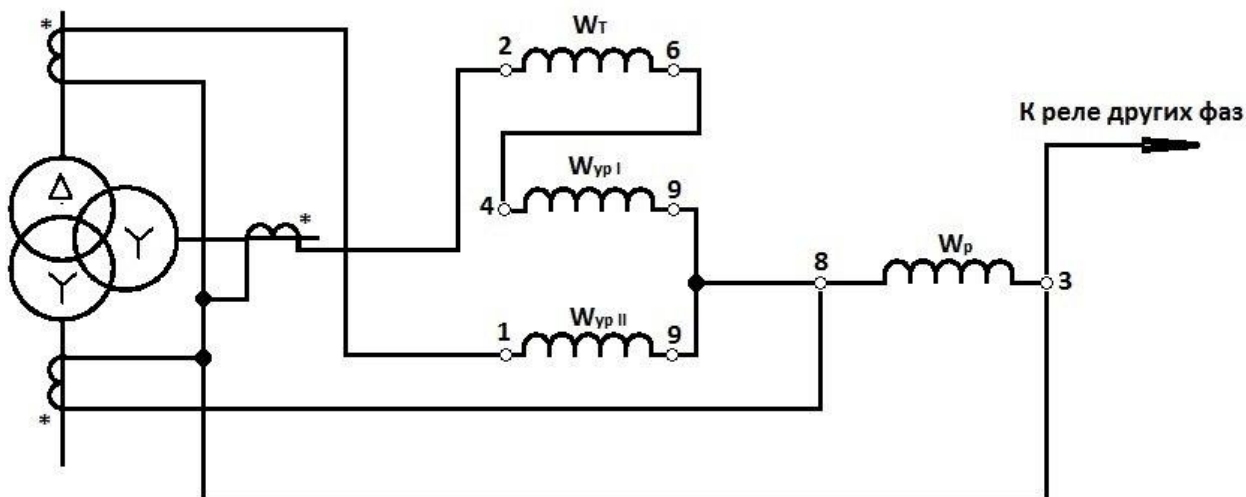


Рисунок 3.2 – Схема включення котушок реле

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОСНОВНІ ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

### 4.1 Організація служби охорони праці на підприємстві

Охорона праці на виробництві починається з організації управління охроною праці. Роботодавець зобов'язаний створити в кожному структурному підрозділі і на робочому місці умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, для чого:

- створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які забезпечують вирішення конкретних питань охорони праці, затверджує інструкції про їх обов'язки права та відповідальність за виконання покладених на них функцій, а також контролює їх дотримання;

- розробляє за участю сторін колективного договору і реалізує комплексні заходи для досягнення встановлених нормативів та підвищення існуючого рівня охорони праці;

впроваджує прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби механізації та автоматизації виробництва, вимоги ергономіки, позитивний досвід з охорони праці тощо;

- забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань, та здійснення профілактичних заходів, визначених комісіями за підсумками розслідування цих причин;

- організує проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, атестації робочих місць на відповідність нормативним актам про охорону праці в порядку і строки, що встановлюються законодавством;

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Денисенко Д.В.			<i>Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник		Василега П.О.					55	67
Консульт.						<b>СумДУ ЕТ-61</b>		
Н. контр.								
Затверд.		Лебединський І.Л.						

- вживає за їх підсумками заходів щодо усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів;
- розробляє і затверджує положення, інструкції, інші нормативні акти про охорону праці, що діють у межах підприємства, та встановлюють правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках, робочих місцях відповідно до державних міжгалузевих і галузевих нормативно-правових актів про охорону праці, забезпечує безплатно працівників нормативно-правовими актами про охорону праці;
- здійснює постійний контроль за додержанням працівником технологічних процесів, правил поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, використанням засобів колективного та індивідуального захисту, виконанням робіт відповідно до вимог з охорони праці;
- організує пропаганду безпечних методів праці та співробітництво з працівниками у галузі охорони праці;
- вживає термінових заходів для допомоги потерпілим, залучає за необхідності професійні аварійно-рятувальні формування у разі виникнення на підприємстві аварій та нещасних випадків. Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог. [23]

#### 4.2 Основні вимоги охорони праці з техніки безпеки при експлуатації технологічного обладнання .

Працюючі машини та обладнання повинні бути справними, правильно змонтовані і надійно закріплені на фундаментах, опорах. Робочі органи, які обертаються, повинні бути збалансовані, ланцюгові, пасові, зубчасті передачі, а також гарячі поверхні та струмоведучі елементи, ями, люки, колодязі повинні надійно огорожені. При експлуатації, профілактиці й ремонті обладнання до роботи допускаються тільки ті особи, які мають посвідчення на

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		56



право керувати електроустановками, експлуатувати електрообладнання, а також особи, які знають правила з техніки безпеки, охорони праці і вміють надавати першу медичну допомогу при пожежах та інших нещасних випадках.

Забороняється допускати до роботи з електрообладнання сторонніх осіб, осіб із якими не проводився інструктаж із правил техніки безпеки, пожежної безпеки та охорони праці і якщо не виконані записи в спеціальному журналі.[,23]

#### 4.3 Порядок допуску до електромонтажних робіт

Безпека праці при обслуговуванні та ремонті трансформаторів. Перед початком робіт в електроустановках в цілях безпеки необхідно проводити організаційні і технічні заходи.

До організаційних заходів відносять видачу нарядів, розпоряджень і допуску до роботи, нагляд під час роботи, оформлення перерв в роботі, перекладів на інше робоче місце і закінчення роботи.[22]

Наряд - це завдання на безпечне виробництво робіт, що визначає їх місце і зміст, час початку і закінчення, необхідні заходи безпеки, склад бригади і осіб, відповідальних за безпеку виконання робіт. Наряд виписується на бланку спеціальної форми. Розпорядження - це завдання на виробництво робіт, визначальний їх зміст, місце і час, заходи безпеки і осіб, яким доручено виконання цих робіт. Наряди і розпорядження видають особи, що мають групу по електробезпеці не нижче V в електроустановках напругою вище 1000 В, і не нижче IV в установках напругою до 1000 В. Наряд на роботу виписується під копірку в двох екземплярах і видається оперативному персоналу безпосередньо перед початком підготовки робочого місця до роботи

При роботі по наряді бригада повинна складатися не менше ніж з двох чоловік - виробника робіт і члена бригади. Виробник робіт відповідає за правильність підготовки робочого місця, виконання необхідних для виробництва ро-

					<i>БР 3.6.141.531 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		57

біт заходів безпеки. Він же проводить інструктаж бригади про ці заходи, забезпечує їх виконання її членами, стежить за справністю інструменту, таке-лажного, ремонтного оснащення. Виробник робіт, що виконуються по наряду в електроустановках напругою вище 1000 В, повинен мати групу по електробезпеці не нижче IV, в установках до 1000 В і для робіт, що виконуються по розпорядженню, - не нижче III.

Допуск до роботи здійснюється допускаючим - відповідальною особою з оперативного персоналу. Перед допуском до роботи відповідальний керівник і виробник робіт разом з тим, що допускає перевіряють виконання технічних заходів щодо підготовки робочого місця. Після цього той, що допускає перевіряє відповідність складу бригади і кваліфікації включених в неї осіб, прочитає по наряду прізвища відповідального керівника, виробника робіт, членів бригади і зміст дорученої роботи; пояснює бригаді, звідки знята напруга, де накладені заземлення, які частини ремонтваного і сусідніх приєднань залишилися під напругою і які особливі умови виробництва робіт повинні дотримуватися; указує бригаді межі робочого місця і переконується, що все їм сказане зрозуміло бригадою. Після роз'яснень допускаючий доводить бригаді, що напруга відсутня, наприклад, в установках вище 35 кВ за допомогою накладення заземлень, а в установках 35 кВ і нижче, де заземлення не видно з місця роботи, - за допомогою покажчика напруги і дотиком рукою до струмоведучих частин.

З моменту допуску бригади до робіт для попередження порушень вимог техніки безпеки виконавець робіт або спостерігач здійснює нагляд. Спостерігачу забороняється суміщати нагляд з виробництвом якої-небудь Роботи і залишати бригаду без нагляду під час її виконання. Вирішується короткочасна відсутність одного або декількох членів бригади. За відсутності виробника робіт, якщо його не може замінити відповідальний керівник або особа, що видала даний наряд, або особа з оперативного персоналу, бригада виводиться з розподільного пристрою, двері РУ закриваються і оформлюється перерва в

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		58

роботі.

Періодично перевіряється дотримання працюючими правил техніки безпеки. При виявленні порушень ПТБ або виявленні інших обставин, загрозливих безпеці працюючих, у виробника робіт відбирається наряд і бригада віддаляється з місця роботи.

При перерві в роботі впродовж робочого дня бригада віддаляється з РУ, після перерви жоден з членів бригади не має права увійти в РУ у відсутність виконавця робіт або спостерігаючого, оскільки під час перерви можуть відбутися зміни в схемі, виробництва робіт, що відбиваються на умовах. Після закінчення робіт робоче місце упорядковується, приймається відповідальним керівником, який після виведення бригади виконавцем робіт розписується в наряді про їх виконання. Оперативний персонал оглядає устаткування і місце роботи, перевіряє відсутність людей, сторонніх предметів, інструменту, знімає заземлення і перевіряє відповідно до прийнятого порядку обліку, видаляє тимчасову огорожу, знімає плакати «Працювати тут», «Влізати тут», встановлює на місце постійні огорожі, знімає плакати, вивішені до початку роботи. Після закінчення перерахованих робіт наряд закривається і включається електроустановка.

До технічних заходів відносять відключення напруги і вживання заходів, що перешкоджають помилковому або мимовільному включенню комутаційної апаратури, вивішування заборонних плакатів, перевірку відсутності напруги, накладення заземлень, вивішування застережливих і приписуючих плакатів.

У електроустановках напругою вище 1000 В з усіх боків, звідки може бути подана напруга на місце роботи, при відключенні повинен бути видимий розрив, який здійснюється відключенням роз'єднувачів, віддільників і вимикачів навантаження без автоматичного включення їх за допомогою пружин, встановлених на самих апаратах. Видимий розрив можна створити, знявши запобіжники, або від'єднавши, або знявши шини і дроти. Трансформато-

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		59

ри напруги і силові трансформатори відключаються з обох боків, щоб виключити зворотну трансформацію. Щоб уникнути помилкового або Мимовільного включення комутаційних апаратів виконують наступні заходи:

- ручні приводи у відключеному положенні і стаціонарні огорожі замикають на механічний замок;
- у приводів комутаційних апаратів, що мають дистанційне керування, відключають силові ланцюги і ланцюги оперативного струму;
- у вантажних і пружинних приводів вмикаючий вантаж або пружини приводять в неробоче положення.

У електроустановках напругою до 1000 В залежно від конструкції замикають рукоятки або дверці шафи, вкривають кнопки, встановлюють між контактами ізолюючі накладки, від'єднують кінці проводів від вмикаючої котушки. Відключене положення апаратів з недоступними для огляду контактами визначається перевіркою відсутності напруги.

На приводах ручного і ключах дистанційного керування комутаційної апаратури вивішують заборонні плакати «Не включати. Працюють люди», а на повітряних і кабельних лініях - «Не включати. Робота на лінії». Залежно від місцевих умов і характеру роботи не відключені струмоведучі частини, доступні для ненавмисного дотику на час роботи, захищають щитами, екранами з ізоляційних матеріалів, ізолюючими накладками або встановлюють спеціальні пересувні огорожі.

Робоче місце захищають канатом з вивішеними на них плакатами «Стій. Напруга», оберненими всередину простору, що захищається. На конструкціях по яких дозволено підніматися, вивішують плакат «Працювати тут», на сусідніх-«Не влізай. Уб'є!». На всіх підготовлених робочих місцях після накладення заземлення і огорожі робочого місця вивішують плакат «Працювати тут».

					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		60

Під час роботи забороняється переставляти або прибирати плакати і встановлені тимчасові огорожі, а також проникати на територію захищених ділянок. Відсутність напруги перевіряють між всіма фазами, кожною фазою і землею, кожною фазою і нульовим дротом.[23]

4.4 **Обов'язки працівника щодо додержання вимог нормативно-правових актів з охорони праці**

Кожен працівник, виконуючи трудові обов'язки, зобов'язаний:

- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства;
  - знати і виконувати вимоги нормативних актів про охорону праці, правила поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;
  - проходити в установленому порядку попередні та періодичні медичні огляди
- Працівник несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог.[23]

4.5 **Здійснення робіт в діючих електроустановках**

Роботи, що здійснюються в діючих електроустановках по заходам електробезпеки розділяються на чотири категорії:

- при повному знятті напруги;
- при частковому знятті напруги - лише на ділянках, де проводяться роботи;
- без зняття напруги поблизу струмоведучих частин і на них;
- без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин.

До початку ремонтних чи налагоджувальних робіт мають бути виконані технічні і організаційні заходи, які забезпечують безпеку працюючих.

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		61

Технічні заходи. До них належать: відключення на ділянці, виділеній для проведення робіт і прийняття заходів проти помилкового включення чи самовключення; установка тимчасових огорож і вивішування попереджувальних плакатів; перевірка відсутності напруги на частині установки, виділеної для роботи; приєднання до заземлюючої шини, накладення заземлення (безпосередньо після перевірки відсутності напруги) і вивішування плаката "Працювати тут".

Організаційні заходи. До них належать оформлення наряду, розпорядження чи допуску до роботи; перерва в роботі, перехід на інше робоче місце, закінчення робіт, нагляд під час роботи. [22]

					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		62

## Висновок

Під час виконання бакалаврської роботи був повністю використаний увесь обсяг знань та вмінь у проектуванні та розрахунку схеми електричної мережі. Було проведено розрахунок устаткування. Також було розраховано релейний захист підстанції. Та було розглянуто охорону праці. Для даної схеми були розраховані втрати потужностей, перетоки потужностей, втрати напруги та електроенергії. Також було розраховано аварійний режим, та режим мінімальних навантаження.

Ступені РПН обрані відповідно до каталожних даних трансформаторів, в деяких випадках обчислена ступінь регулювання була більша за реальну ( $\pm 2$  або  $\pm 6$ ), тому бралось максимально кінцеве значення.

В ході виконання, виконано перевірку трансформатору ТРДЦН-63000/220 на перевантаження згідно добового графіка навантаження. Для даної схеми розраховані струми короткого замикання в розрахункових точках на стороні високої та низької напруги підстанції, за якими в подальшому проводилася перевірка та вибір обладнання.

За розрахованим робочим струмом вибрано основне устаткування та струмопровідні частини. Всі значення обиралися за допомогою довідників та відповідають вимогам вибору.

Було виконано вибір шин – ошиновка РП 220 кВ та 10 кВ, яка виконувалася сталелегалюмінієвими проводами. Головною умовою була перевірка на відповідність умови, та щоб переріз шин не був меншим перерізу ліній, які живлять підстанцію.

Для контролю та обліку переданої електроенергії на підстанції встановлені контрольно-вимірювальні прилади.

В даній бакалаврській роботі також було проведено розрахунок релейного захисту трансформатора. Було обрано релейний захист на базі ДЗТ-11 та обрано обладнання для нього.

Також було детально розглянуто питання охорони праці та основні вимоги безпеки під час обслуговування електроустановок.

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		63

## Список літератури

1. Методичні вказівки до курсового проекту з курсу “Електричні системи і мережі”. Укладач – Лебединський І.Л. Суми, СумДУ, 2018 р.

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

3.Силовые трансформаторы. Технические сведения. Сумы СумГУ 2005. Составил Лебединский И.Л.

4..Правила улаштування електроустановок. НПЦР ОЕС України, 2017.

5.Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

6.Неклепаев Б. Н. Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебн. Пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

7.Методичні вказівки та завдання для виконання розрахунково – графічної роботи з курсу «Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем» для студентів напряму підготовки 6.141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання / Укладачі: М.В. Петровський, С.С. Жемаєв – Суми: Сумський державний університет, 2019. – 58 с.

8.С.С. Ананичева, А.Л. Мызин, С.Н. Шелюг. Справочный материалы для курсового и дипломного проектирования (часть 1): Учебное электронное текстовое издание/Подготовлено кафедрой «Физическая и коллоидная химия». – Екатеринбург, 2005. – 52 с.

10.Самонесущие изолированные провода издание пятое <https://www.elcom.ru/upload/iblock/35a/35ad810a1556a3cdc59ddcfb4214b358.pdf>

11.Методичні вказівки до проведення практичних занять з курсу “Електричні станції і підстанції” зі спеціальності 6.000008 “Енергоменеджмент” профілізації “Електроенергетичні системи” / Укладачі:

					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		64



Д.В.Муриков, І.Л.Лебединський, П.О.Василега. – Суми: Вид-во СумДУ, 2005.- 93 с.

13. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением N1).

14. Методичні вказівки до виконання курсового проекту “Понижувальна підстанція 35/110 кВ” з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій (для студентів 3, 4 курсів денної та 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології” зі спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання”) / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: В. Г. Воропай, В. М. Гаряжа, Є. Д. Дьяков, В. В. Скопенко. – Х.: ХНУМГ, 2014. - 92 с.

15 .Ефанов, А.В. Проектирование подстанции: учебное пособие для выполнения курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции» / А.В. Ефанов. – Ставрополь: АГРУС, 2014.-70 с.

16. Основи проектування та експлуатації електричної частини електричних станцій: Навчально-методичний посіб. / Уклад.: М. В. Костерев, Є. І. Бардик, Ю. В. Безбереж'єв та ін. – К.: ІВЦ. “Видавництво «Політехніка»”, 2003. – 120 с.

17. Шабад М.А. Трансформаторы тока в схемах релейной защиты, 2002.

18. Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу ‘Релейная защита и Автоматика’ Составители В.С. Ноздренков,В.И. Романовский – Сумы, СумГУ, 2008

19. Електропостачання : підручник / П. О. Василега. –Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с

20. ДСТУ 2790-94. Системи електропостачання номінальною напругою до 1000 В; джерела, мережі, перетворювачі та споживачі електричної енергії. Терміни та визначення.

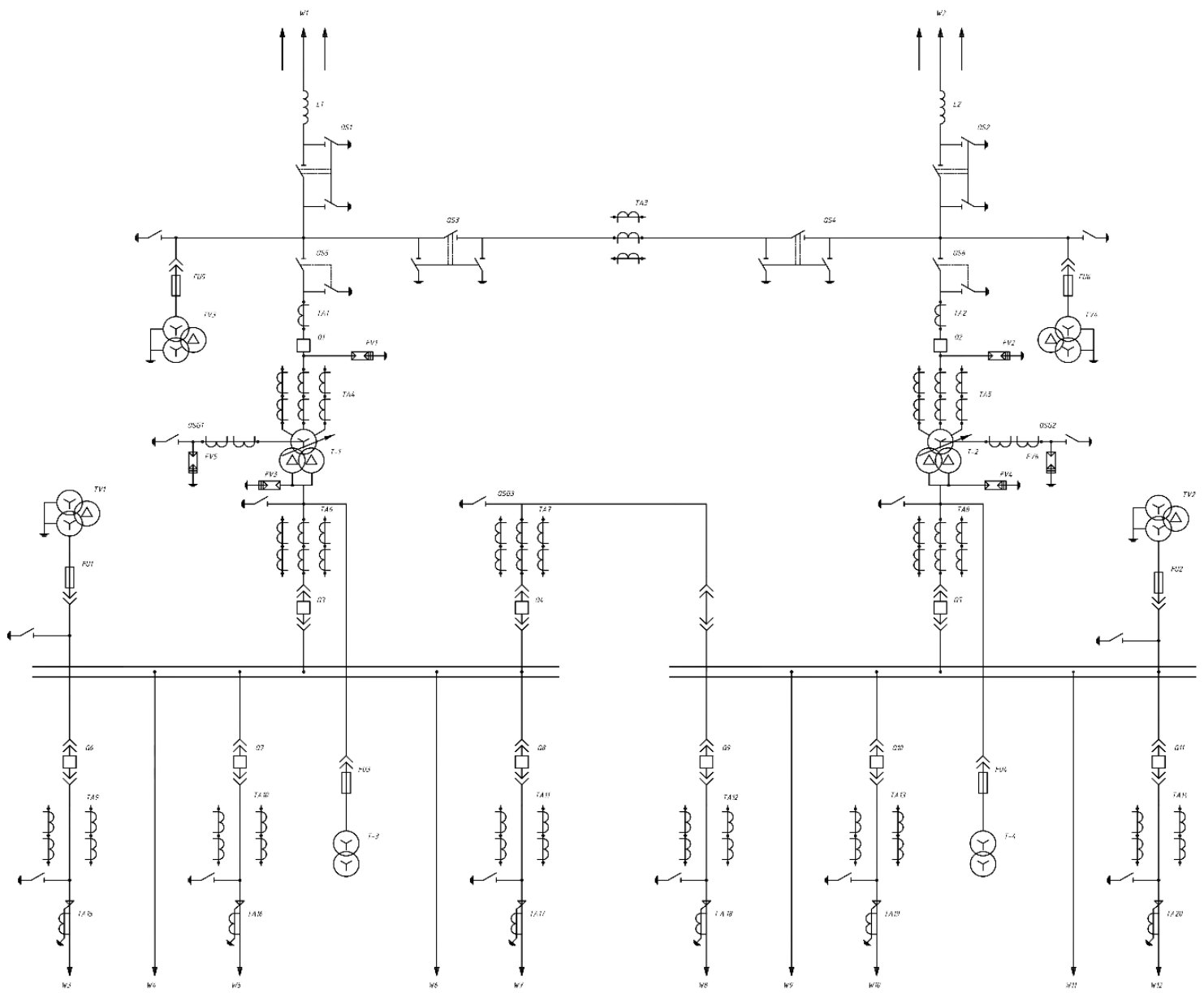
21. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Згідно з наказом Міністерства палива та енергетики України від 25 липня 2006 року 258. – Київ, 2006. – 181

					<b>БР 3.6.141.531 ПЗ</b>	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		65



Додатки

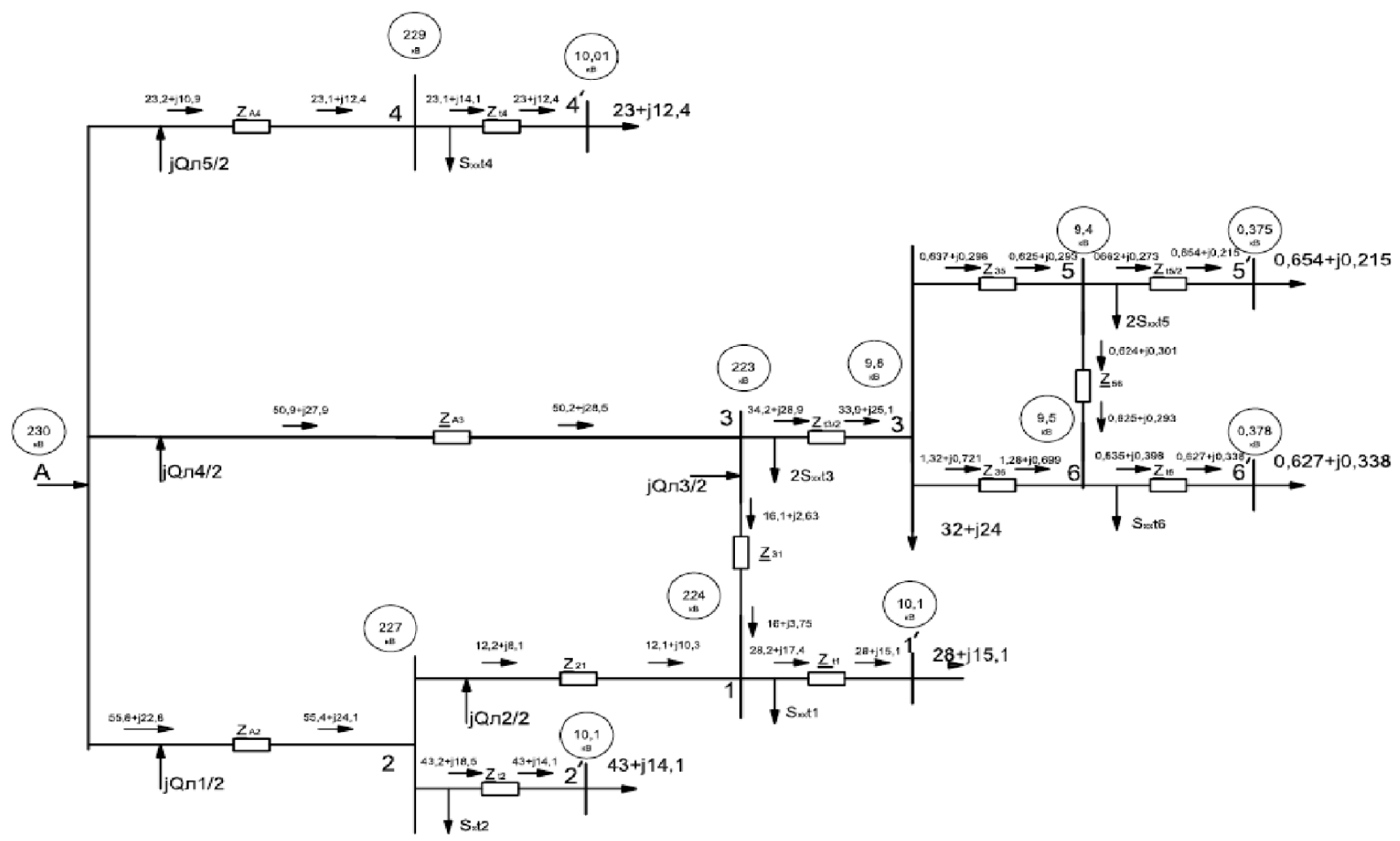
					БР 3.6.141.531 ПЗ	Арк.
Изм.	ст	№ докум.	Підпис	Дата		67



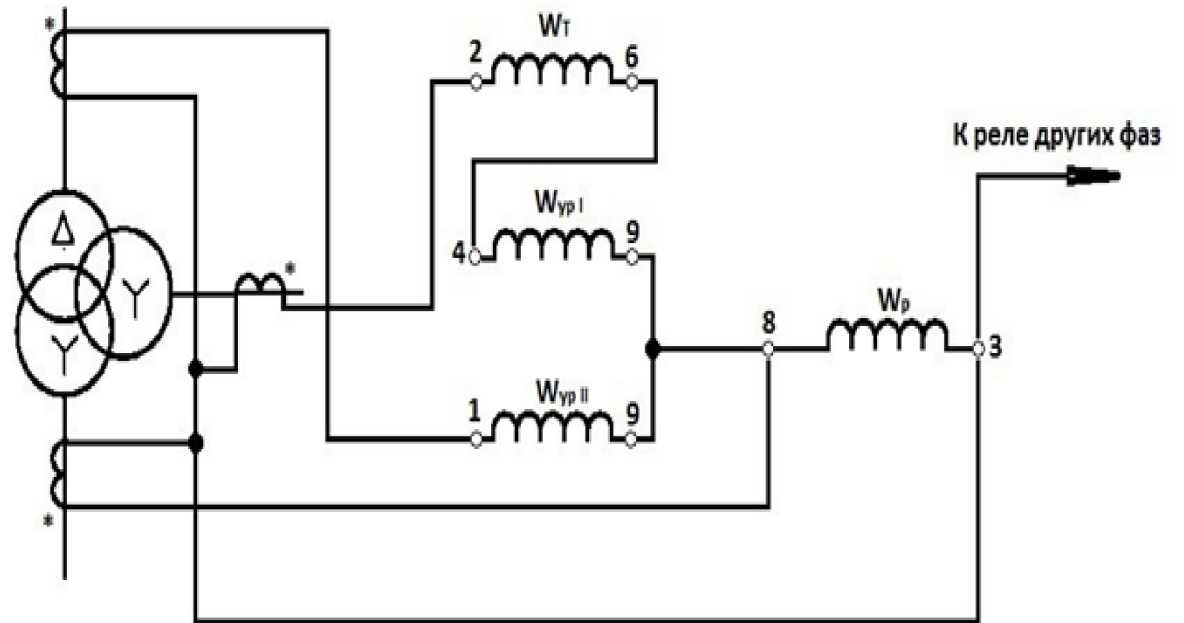
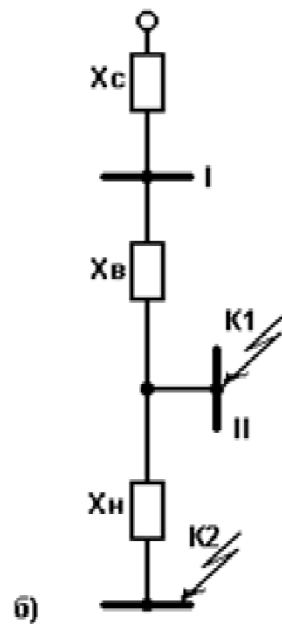
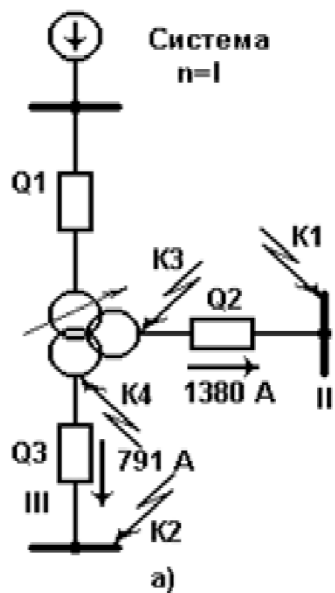
Перелік апаратів

Форм. Зона	Поз	Позначення	Найменування	К-ть	Прим
	1	T1, T2	Трансформатор силовий ТРДЦН-63000/220	2	
	2	Q1, Q2	Вимикач У-220Б-1000-25У1	2	
	3	Q3, Q5	Вимикач МГТ-10-5000-45У3	2	
	4	Q4	Вимикач ВЗ-10-40/3150У3	1	
	5	Q6...Q11	Вимикач ВЗ-10-40/1600У3(Т3)	6	
	6	QS1...QS6	Роз'єднувач зовн. РНДЗ.1-220/630 Т1	6	
	7	TA1...TA5	Трансформатор струму ТВ220-I-Y2, ХЛ2	5	
	8	TV3, TV4	Трансформатор напруги НКФ-220-III-У1	2	
	9	FV1...FV2	Розрядник вентильний	2	
	10	FV3...FV6	Розрядник вентильний	4	
	11	QSG1...QSG3	Заземлювач однополюсний	3	
	12	TA6, TA8	Трансформатор струму Т0Л-10 П2-19	3	
	13	TA9, TA14	Трансформатор струму Т0Л-10	6	
	14	T3, T4	Трансформатор власних потреб ТМ-100/10	2	
	15	TV1, TV2	Трансформатор напруги ЗНОЛ.06-10У3	2	
	16	TA7	Трансформатор струму ТВ10-I-Y2	6	

ДПЗ. 141...531 ЕТ-61 ПЗ				
Зм. Дод. №	Вказ.	Підпис	Дата	Лист
Фаза 2	Версія 2.0			1
Лист 1	Листів 1			1:1
Схеми замінює побувальної підстанції ПС-220/10 кВ				Лист 1
Розробник: [Ім'я] Інженер: [Ім'я]				Листів 1
СумДУ ЕТ-61				



			ДПЗ. 141...531 ЕТ-61 ПЗ		
Эк. Дир. № докум.	Изд.	Дата	Схема замещения системной сети	Лист	Масштаб
Разраб. Давыденко А.				1	1:1
Провер. Давыденко В.О.			Листы 1	Листов 1	
			СумДУ ЕТ-61		



				ДПЗ. 141..531 ET-61 ПЗ		
Экз.	Арх. № докум.	Лист	Дата	Схеми релейного захисту		
	Розроб. Демченко Д.			Лист	Маса	Масштаб
	Перевр. Малишко П.О.					1:1
				Аркуш 1	Аркуш 1	
				Регістрація виконання стандартних операцій на об'єкті системного об'єкта		
				СумДУ ET-61		