

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

Робота допущена до захисту

Зав. кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_ Лебединський І.Л.

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**Тема: “Розрахунок параметрів обладнання та режимів роботи електричних мереж і аналіз технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання”**

**Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

**Освітня програма Електротехнічні системи електроспоживання**

Виконав студент гр. ЕТдн-51п

Мазуренко Б.В.

Керівник, доцент, к.т.н

Лебединський І.Л.

Кваліфікаційна робота

Захищена на засіданні ДЕК

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

Голова ДЕК

Горбуль В.Ю.

## **ЗАВДАННЯ**

**на кваліфікаційну роботу бакалавра**

**Мазуренка Богдана В'ячеславовича**

**1 Тема роботи “Розрахунок параметрів обладнання та режимів роботи електричних мереж і аналіз технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання”**

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

2 Термін здачі студентом завершеної роботи

3 Вихідні дані до роботи: задана схема електричної мережі, споживачі мережі, їх потужність і категорія

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

- розрахунок електричної мережі;
- розрахунок електричної частини підстанції;
- розрахунок релейного захисту;
- визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання;

5 Список графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

- схема мережі;
- електрична схема підстанції.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примечание
1	Розрахунок електричної мережі	27.04.-14.05.2020	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	15.05.-21.05.2020	
3	Розрахунок релейного захисту	22.05.-28.05.2020	
4	Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання	29.05.-05.06.2020	
5	Оформлення роботи	1.06.-7.06.2020	

Студент гр ЕТдн-51п \_\_\_\_\_

Мазуренко Б. В.

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Лебединський І.Л.

## РЕФЕРАТ

с. 65, рис. 12, табл. 21, кресл. 2.

Бібліографічний опис: **“Розрахунок параметрів обладнання та режимів роботи електричних мереж і аналіз технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання”** [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”; освітня програма Електротехнічні системи електроспоживання / Б. В Мазуренко; керівник І.Л. Лебединський. - Суми: СумДУ, 2020. - 65 с.

**Ключові слова:** електрична мережа, споживач, категорія, потужність, трансформатор, ЛЕП, провід, опір, напруга, схема заміщення, поточкорозподіл, вимикач, роз'єднувач, трансформатор струму, трансформатор напруги, трифазне коротке замикання, диференціальний струмовий захист трансформатора, втрати потужності в мережі.

Электрическая сеть, потребитель, категория, мощность, трансформатор, ЛЭП, провод, сопротивление, напряжение, схема замещения, потокораспределение, выключатель, разъединитель, трансформатор тока, трансформатор напряжения, трехфазное короткое замыкание, дифференциальная токовая защита трансформатора, потери мощности в сети.

Electric network, consumer, category, power, transformer, power line, wire, resistance, voltage, equivalent circuit, flow distribution, switch, disconnecter, current transformer, voltage transformer, three-phase short circuit, transformer differential current protection, power loss in the network.

**Короткий огляд** – Розрахунок режимів роботи електричної мережі. Розрахунок струмів короткого замикання. Розрахунок електричної частини підстанції. Розрахунок релейного захисту силового трансформатора. Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання.

## Перелік умовних позначень

ПС – понижувальна підстанція  
ПЛ – повітряна лінія  
ВН – вища напруга  
СН – середня напруга  
НН – низька напруга  
РЕМ – розподільні електричні мережі  
ТВЕ – технічні втрати електроенергії  
ТС – трансформатор струму  
ТН – трансформатор напруги  
КЗ – коротке замикання  
РПН – регулювання під навантаженням  
РП – розподільний пристрій  
СКЗ – струм короткого замикання  
ПУЕ – Правила улаштування електроустановок  
ТП – трансформаторна підстанція  
УД – узагальнена діаграма  
ЦП – центральна підстанція  
ХХ – холостий хід

## Зміст

	Вступ.....		8
1	Розрахунок параметрів ліній і трансформаторів підстанцій .....		10
1.1	Вибір напруг ліній .....		10
1.2	Вибір типу проводів повітряних ліній.....		12
1.3	Розрахунок потужностей трансформаторів підстанцій .....		13
1.4	Розрахунок параметрів ліній.....		15
1.5	Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням трансформаторів		15
1.6	Розрахунок потужностей на ділянках мережі з урахуванням втрат потужності в трансформаторах .....		17
1.7	Визначення напруг в вузлах навантаження .....		20
2	Розрахунок електричної частини підстанції .....		23
2.1	Вибір головної схеми електричних з'єднань підстанцій.....		23
2.2	Вибір трансформаторів власних потреб .....		24
2.3	Розрахунок струмів короткого замикання .....		26
2.4	Вибір високовольтних електричних апаратів РП і струмоведучих частин.....		29
2.5	Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напру- ги.....		34
2.6	Вибір ошиновки розподільних пристроїв.....		38
2.7	Компонування розподільних пристроїв 220 кВ і конструкційна частина.....		40
2.8	Компонування розподільних пристроїв 10 кВ і конструкційна частина		41
2.9	Заземлювальні пристрої підстанції.....		42

					<b>БР.5.141.796 ПЗ ЕТ</b>				
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	“Розрахунок параметрів обладнання та режимів роботи електричних мереж і аналіз технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання”	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розроб.	Мазуренко Б.В.					65	Н	6	65
Перев.	Лебединський І.								
Нач.бюро									
Н. контр.									
Затв.	Лебединський І.					<b>СумДУ ЕТдн-51п</b>			

3	Розрахунок релейного захисту трансформатора.....	43
3.1	Розрахунок струмів короткого замикання.....	43
3.2	Розрахунок диференційного струмового захисту.....	45
4	Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання.....	52
4.1	Втрати електричної енергії в електричній мережі.....	52
4.1.1	Рівень інформаційного забезпечення А.....	53
4.1.2	Рівень інформаційного забезпечення Б.....	55
4.2	Розрахунок питомих параметрів лінії.....	58
4.2.1	Питомий індуктивний опір ПЛ.....	58
4.2.2	Питома реактивна ємнісна провідність ПЛ.....	58
4.2.3	Питома реактивна ємнісна провідність фази КЛ.....	59
	Висновки.....	60
	Література.....	61
	Додаток А.....	64
	Додаток Б.....	65

## Вступ

В умовах безперервного розвитку промисловості країни з'являється все більше і більше нових підприємств, які вносять вклад у збільшення енергоспоживання. Слід також зауважити, що зі збільшенням числа енергоспоживаючих об'єктів розширюється щільність географічного розташування споживачів електричної енергії. У зв'язку з цим виникає потреба в розширенні існуючих мереж і в створенні нових. Зростаюча кількість енергоспоживаючих об'єктів веде до зростання переданих по електричних мережах потужностей. Одним з найголовніших завдань сьогодні є економічне використання існуючого електричного обладнання та розробка нового з поліпшеними параметрами.

Дана робота є кваліфікаційною роботою бакалавра спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Електротехнічні системи електроспоживання».

Виконання бакалаврської роботи необхідне з метою:

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

В процесі виконання даної роботи вирішуються такі завдання:

- розрахунок електричної мережі, що містить джерело живлення, лінії електропередачі, трансформатор і навантаження (споживачі електричної енергії);
- розрахунок електричної частини підстанції;

Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 5.141.796 ПЗ ЕТ

Арк.

8



- розрахунок електромагнітних перехідних процесів в мережі (розраховується симетричне коротке замикання на шинах вищої напруги підстанції);
- розрахунок релейного захисту високовольтної лінії.
- визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання

					БР 5.141.796 ПЗ ЕТ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

# 1 Розрахунок параметрів ліній і трансформаторів підстанцій

## Вихідні дані для виконання роботи

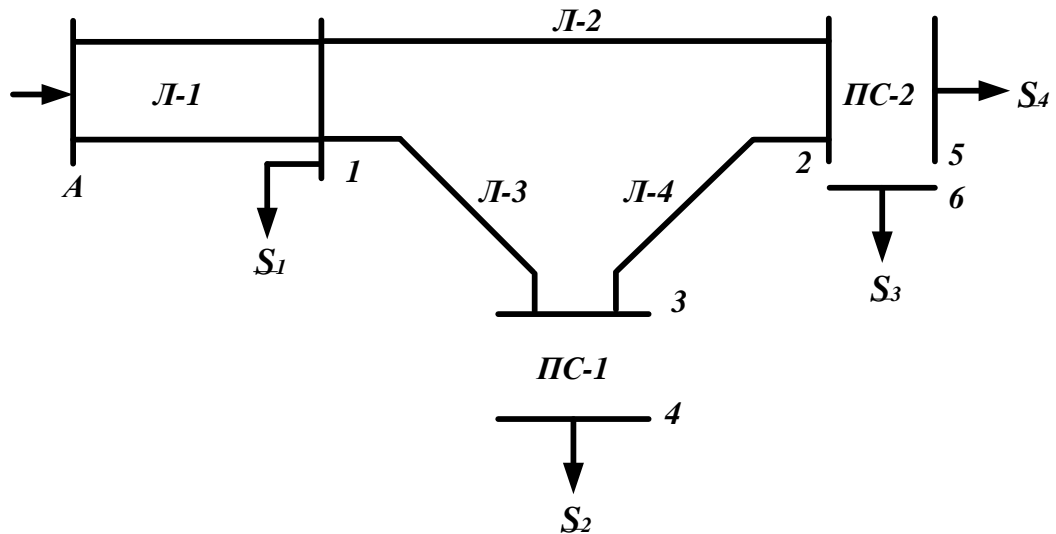


Рисунок 1.1 – Вихідна однолінійна електрична схема з'єднань заданої електричної мережі

Таблиця 1.1 – Вихідні дані лінії і потужності вузлів навантажень

Довжина ВЛ, км				Потужності навантажень, МВА			
Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
80	70	50	70	$\frac{30+j20}{I}$	$\frac{50+j20}{I}$	$\frac{10+j20}{II}$	$\frac{40+j30}{III}$

### 1.1 Вибір напруг ліній

Прийmemo навантаження вузла 2 рівним навантаженню вузлів 5 і 6, навантаження вузла 3 дорівнює навантаженню вузла 4. Зобразимо замкнуту мережу, що складається з ліній Л-2, Л-3, Л-4 (рисунок 1.2). Визначимо розрахункові навантаження вузлів 3 і 2.

$$\underline{S}_{2P} = \underline{S}_3 + \underline{S}_4 = 50 + j50 \text{ МВА}$$

					БР.5.141.796 ПЗ ЕТ			
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Мазуренко Б.В.			<b>Розрахунок параметрів ліній і трансформаторів підстанцій</b>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Лебединський І.				II	10	65
Нач.бюро						СумДУ ЕТдн-51п		
Н. контр.								
Затв.		Лебединський І.						

$$\underline{S}_{3P} = \underline{S}_2 = 50 + j20 \text{ МВА}$$

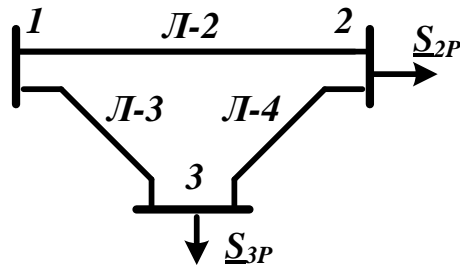


Рисунок 1.2 – Замкнута мережа

Розімкнемо замкнуту мережу, наведену на рисунку 1.2, за джерелом живлення А (рисунку 1.3) і позначимо потужності на ділянках мережі.

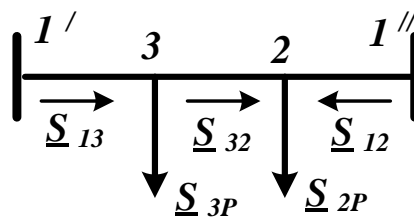


Рисунок 1.3 – Розімкнена мережа

Визначаємо потужності на ділянках розімкнутої мережі.

$$\underline{S}_{12} = \frac{\underline{S}_{2P} \cdot (l_{23} + l_{31'}) + \underline{S}_{3P} \cdot l_{31'}}{l_{1'3} + l_{32} + l_{21''}} = 50 + j40 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{13} = \frac{\underline{S}_{2P} \cdot l_{21''} + \underline{S}_{3P} \cdot (l_{32} + l_{21''})}{l_{1'3} + l_{32} + l_{21''}} = 50 + j30 \text{ МВА}$$

Складемо рівняння балансу потужності

$$\underline{S}_{3P} + \underline{S}_{2P} = \underline{S}_{12''} + \underline{S}_{1'3}$$

$$\underline{S}_{3P} + \underline{S}_{2P} = 50 + j20 + 50 + j50 = 100 + j70 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{12} + \underline{S}_{13} = 50 + j40 + 50 + j30 = 100 + j70 \text{ МВА}$$

Баланс потужності зійшовся.

Визначимо потужність ділянки 3–2

$$\underline{S}_{32} = \underline{S}_{13} - \underline{S}_{3P} = 50 + j30 - 50 - j20 = j10 \text{ МВА}$$

Потужність ділянки 2-3 вийшла позитивною, тому точка 2 є точкою потокорозділу.

## 1.2 Вибір типу проводів повітряних ліній

Визначимо напруги на ділянках мережі (рисунок 1.3) за формулою Іларіонова [1– 3]:

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

Таблиця 1.2 – Напруги на ділянках мережі

Номер ділянки	Л-2	Л-3	Л-4
Довжина ділянки, км	70	50	70
Передавана активна потужність, МВт	50	0	50
Напруга ділянки, кВ	132	23,8	132

Приймаємо напругу в замкнутій мережі 220 кВ.

Визначаємо струми проводів ліній:

$$I = \frac{S_{Л}}{\sqrt{3} \cdot U_{Л}}$$

Таблиця 1.3 – Струми на ділянках мережі

Лінія	Л-2	Л-3	Л-4
Струм, А	168	153	26

Вибираємо марки проводів.

Таблиця 1.4 – Марка проводів

Лінія	Л-2	Л-3	Л-4
Марка і переріз проводу	240/32	240/32	240/32

Таблиця 1.5 – Технічні дані проводу АС-240/32

Переріз проводу, мм <sup>2</sup>	Тривало допустимий струм, А	Діаметр проводу, мм	$r_0$ , Ом/км, при +20° С	220 кВ	
				$X_0$ , Ом/км	$b_0 \times 10^{-6}$ См/км
240/32	605	21,6	0,118	0,435	2,60

### 1.3 Розрахунок потужностей трансформаторів підстанцій

Підстанція ПС-1.

Ставимо два трансформатори, так як споживач першої категорії [4].

Потужність одного трансформатора ПС-1 визначається наступною формулою:

$$S_{T1} = \frac{S_{3P}}{1,4} = \frac{\sqrt{50^2 + 20^2}}{1,4} = 38,47 \text{ МВА}$$

Вибираємо трансформатор ТРДН-40000/220 [5] по напрузі мережі і розрахунковій потужності.

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$K_{зав} = \frac{\sqrt{50^2 + 20^2}}{2 \cdot 40} = 0,673$$

Так як коефіцієнт завантаження менший 0,7, то два паралельно працюючих трансформатори ТРДН-40000/220 задовольняють вимоги, що пред'являються.

Таблиця 1.6 - Технічні дані трансформатора ТРДН-40000/220 [5]

$S_{ном}$	Каталожні дані						Розрахункові дані		
	$U_{ном}$ , кВ		$U_K$	$\Delta P_K$	$\Delta P_x$	$I_x$	$R_T$	$X_T$	$\Delta Q_x$
МВА	ВН	НН	%	кВт	кВт	%	Ом	Ом	кВАр
40	230	11/11; 6,6/6,6	12	170	50	0,9	5,6	158,7	360

Підстанція ПС-2.

Ставимо один трансформатор, так як споживачі другої і третьої категорій [4]:

$$S_{T2} = S_{2P} = \sqrt{50^2 + 50^2} = 70 \text{ МВА}$$

Вибираємо автотрансформатор АТДЦТН-125000/220/110 по напрузі мережі і розрахунковій потужності [4].

Таблиця 1.7 - Параметри автотрансформатора АТДЦТН-125000/220/110

S <sub>ном</sub>	Каталожні дані								
	U <sub>ном</sub> , кВ			U <sub>к</sub> , %			ΔP <sub>к</sub>	ΔP <sub>х</sub>	I <sub>х</sub>
МВА	ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н	кВт	кВт	%
125	230	121	6,6; 11; 38,5	11	45	28	305	65	0,5

Продовження таблиці 1.7 - Параметри автотрансформатора АТДЦТН-125000/220/110

Тип трансформатора	Розрахункові дані						
	R <sub>т</sub> , Ом			X <sub>т</sub> , Ом			ΔQ <sub>х</sub> , кВАр
	ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
АТДЦТН-125000/220/110	0,55	0,4	3,2	59,2	0	131	625

Визначаємо коефіцієнт завантаження:

$$K_{3AB} = \frac{\sqrt{50^2 + 50^2}}{125} = 0,57$$

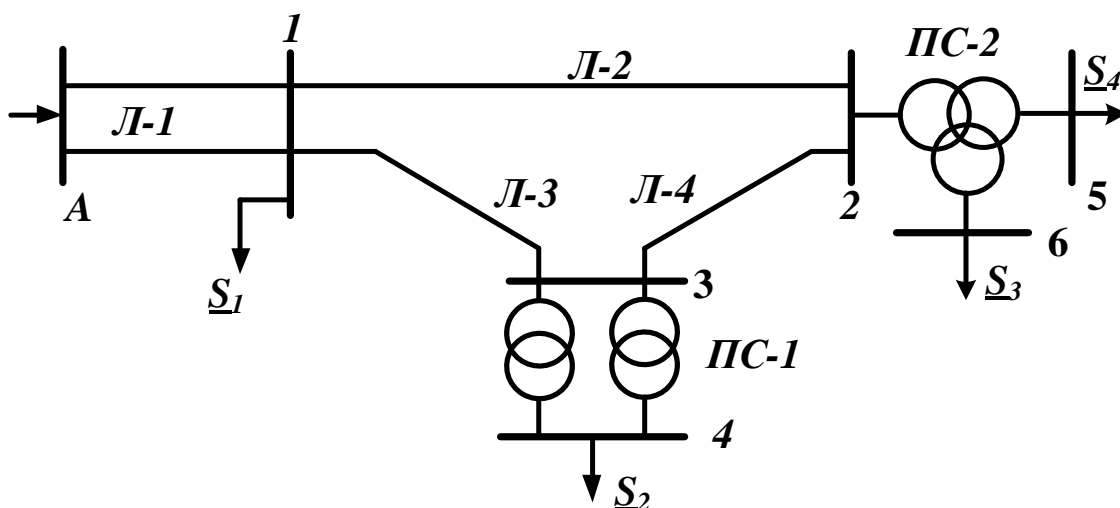


Рисунок 1.4 – Схема заміщення мережі

### 1.4 Розрахунок параметрів ліній

Знайдемо параметри ліній електричної мережі:

$$R_L = r_0 \cdot l_L; \quad X_L = x_0 \cdot l_L; \quad \frac{jQ_L}{2} = U_{ном}^2 \cdot \frac{b_0 \cdot l_L}{2}$$

Значення активних та реактивних опорів ліній, а також величина зарядної потужності, наведені в таблиці 1.8

Таблиця 1.8 – Розрахункові параметри повітряної лінії мережі

Параметр	Одиниця виміру	Л-2	Л-3	Л-4
$R_L$	Ом	8,26	5,9	8,26
$X_L$	Ом	30,45	21,75	30,45
$\frac{Q_L}{2}$	МВАр	4,4	3,146	4,4

### 1.5 Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням трансформаторів

#### Підстанція ПС-1

Зображуємо схему заміщення (рисунок 1.5) двох двообмоткових трансформаторів ТРДН-40000/220 і розраховуємо потужність у вузлі 3

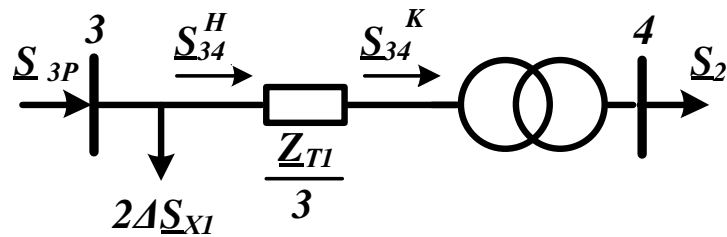


Рисунок 1.5 – схема заміщення ПС-1

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{34}^K$ :

$$\underline{S}_{34}^K = \underline{S}_2 = 50 + j20 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{34}^H$ :

$$\underline{S}_{34}^H = \underline{S}_{34}^K + \frac{(P_{34}^K)^2 + (Q_{34}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{\underline{Z}_{T1}}{2} = 50 + j20 + \frac{50^2 + 20^2}{220^2} \cdot \left( \frac{5,6 + j158,7}{2} \right) + 2 \cdot (50 \cdot 10^{-3} + j360 \cdot 10^{-3}) = 50,17 + j24,72 \text{ MVA}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{3P}$ :

$$\underline{S}_{3P} = \underline{S}_{34}^H + 2 \cdot \Delta \underline{S}_{X1} = 50,27 + j25,44 \text{ MVA}$$

### Підстанція ПС-2

Зображуємо схему заміщення (рисунок 1.6) автотрансформатора АТ-ДЦТН-125000/220/110 і розраховуємо потужність у вузлі 2.

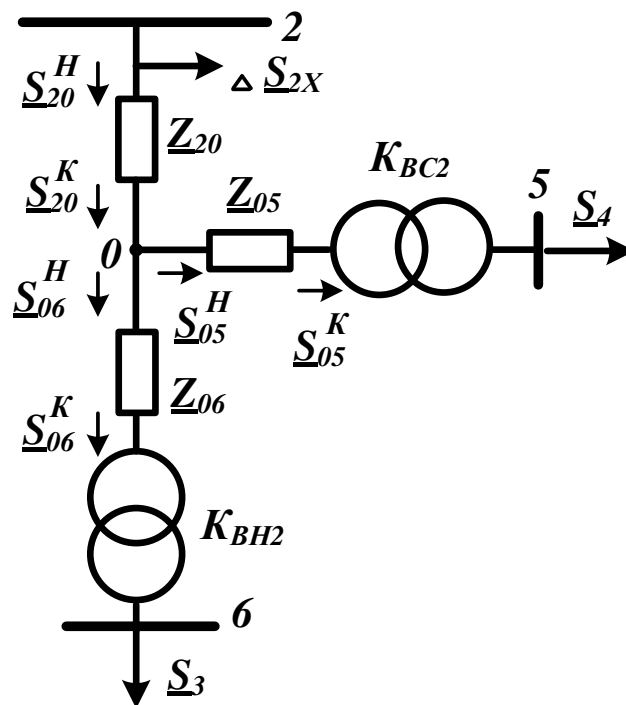


Рисунок 1.6 – Схема замещения ПС-2

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

$$\underline{S}_{05}^K = \underline{S}_4 = 40 + j30 \text{ MVA}.$$

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



$$\underline{S}_{05}^H = \underline{S}_{57}^K + \frac{(P_{05}^K)^2 + (Q_{05}^K)^2}{U_H^2} \cdot \underline{Z}_{05} =$$

$$= 40 + j30 + \frac{40^2 + 30^2}{220^2} \cdot (3,2 + j131) = 40,65 + j36,77 \text{ МВА}$$

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

$$\underline{S}_{06}^K = \underline{S}_3 = 10 + j20 \text{ МВА}$$

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

$$\underline{S}_{06}^H = \underline{S}_{06}^K + \frac{(P_{06}^K)^2 + (Q_{06}^K)^2}{U_H^2} \cdot (\underline{Z}_{06}) =$$

$$= 10 + j20 + \frac{10^2 + 20^2}{220^2} \cdot 0,4 = 10,004 + j20 \text{ МВА}$$

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

$$\underline{S}_{20}^K = \underline{S}_{05}^H + \underline{S}_{06}^H = 40,165 + j36,77 + 10,004 + j20 = 50,17 + j56,77 \text{ МВА}$$

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

$$\underline{S}_{20}^H = \underline{S}_{20}^K + \frac{(P_{20}^K)^2 + (Q_{20}^K)^2}{U_H^2} \cdot \underline{Z}_{20} = 50,235 + j63,79 \text{ МВА}$$

Знаходимо розрахункову потужність другого вузла:

$$\underline{S}_{2P} = \underline{S}_{20}^H + \Delta \underline{S}_{2X} = 50,3 + j64,42 \text{ МВА}$$

## 1.6 Розрахунок потужностей на ділянках замкнутої мережі з урахуванням втрат потужності в трансформаторах і параметрів ліній

Визначаємо потоки потужності на ділянках мережі  $\underline{S}_{12}$ ,  $\underline{S}_{31}$ :

$$\underline{S}_{12} = \frac{\underline{S}_{2P} \cdot (\underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{31}') + \underline{S}_{3P} \cdot \underline{Z}_{31}'}{\underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{31}' + \underline{Z}_{21}''} = 44,97 + j47,37 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{13} = \frac{\underline{S}_{3P} \cdot (\underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{21}'') + \underline{S}_{2P} \cdot \underline{Z}_{21}''}{\underline{Z}_{21}'' + \underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{31}'} = 55,86 + j42,56 \text{ МВА}$$

Складемо рівняння балансу потужності:

$$\underline{S}_{3P} + \underline{S}_{2P} = \underline{S}_{2I''} + \underline{S}_{3I'}$$

$$\underline{S}_{3P} + \underline{S}_{2P} = 50,25 + j25,44 + 50,3 + j64,42 = 100,55 + j89,86 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{12} + \underline{S}_{13} = 44,97 + j47,37 + 55,86 + j42,56 = 100,83 + j89,93 \text{ МВА}$$

Баланс потужності зійшовся.

Визначимо потужність ділянки 3–2

$$\underline{S}_{32} = \underline{S}_{13} - \underline{S}_{3P} = 55,86 + j42,56 - 50,268 - j25,44 = 5,6 + j17,1 \text{ МВА}$$

Потужність ділянки 3-2 вийшла позитивною, тому точка 2 є точкою потокорозділу.

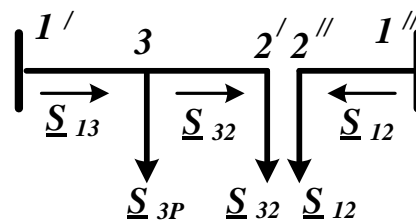


Рисунок 1.7 – Розімкнена мережа

Складаємо розрахункову розімкнену схему заміщення мережі.

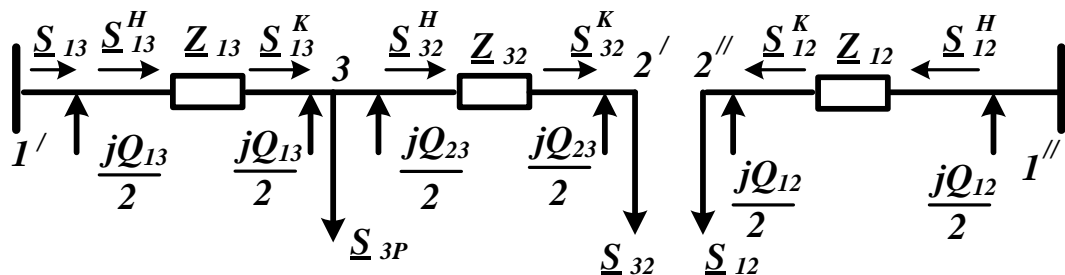


Рисунок 1.8 – Розрахункова розімкнена мережа

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{12}^H$ :

$$\underline{S}_{12}^K = \underline{S}_{12} - \frac{jQ_{12}}{2} = 44,97 + j47,37 - j4,4 = 44,97 + j43 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{12}^H = \underline{S}_{12}^K + \Delta \underline{S}_{12} = 45 + j43 + \frac{45^2 + 43^2}{220^2} \cdot (8,26 + j30,45) = 45,66 + j45,4 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужності  $\underline{S}_{32}^K$ ,  $\underline{S}_{32}^H$ :

$$\underline{S}_{32}^K = \underline{S}_{32} - \frac{jQ_{32}}{2} = 5,6 + j17,1 - j4,4 = 5,6 + j12,7 \text{ МВА},$$

$$\underline{S}_{23}^H = \underline{S}_{23}^K + \Delta \underline{S}_{x2} = 5,6 + j12,7 + \frac{5,6^2 + 12,7^2}{220^2} \cdot (8,26 + j30,45) = 5,63 + j12,82 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужності  $\underline{S}_{13}^K$ ,  $\underline{S}_{13}^H$ :

$$\underline{S}_{31}^K = \underline{S}_{32}^K - \frac{jQ_{32}}{2} - \frac{jQ_{31}}{2} + S_{3P} =$$

$$= 5,63 + j12,82 - j(3,14 + 4,4) + 50,268 + j25,44 = 55,9 + j30,72 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{13}^H = \underline{S}_{13}^K + \Delta \underline{S}_{13} = 55,9 + j30,72 + \frac{55,9^2 + 30,72^2}{220^2} \cdot (5,9 + j21,45) = 56,4 + j32,5 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{13}$ :

$$\underline{S}_{13} = \underline{S}_{13}^H - \frac{jQ_{13}}{2} = 56,4 + j32,5 + j3,14 = 56,4 + j29,4 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужності  $\underline{S}_{21}^K$ ,  $\underline{S}_{21}^H$ :

$$\underline{S}_{12}^K = \underline{S}_{12} - \frac{jQ_{12}}{2} = 44,97 + j47,37 - j4,4 = 44,97 + j43 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{12}^H = \underline{S}_{12}^K + \Delta \underline{S}_{12} = 44,97 + j43 + \frac{45^2 + 43^2}{220^2} \cdot (8,26 + j30,45) = 45,6 + j45,4 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{12}$ :

$$\underline{S}_{12} = \underline{S}_{12}^H - \frac{jQ_{12}}{2} = 45,6 + j45,4 + j4,4 = 45,6 + j49,8 \text{ МВА}.$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{A1}^K$  без урахування зарядної потужності лінії А-1:

$$\underline{S}_{A1}^K = \underline{S}_{13} + \underline{S}_{12} + \underline{S}_1 = 56,4 + j29,4 + 45,6 + j49,8 + 30 + j20 = 133 + j99,2 \text{ МВА}$$

Визначаємо струми лінії А-1:

$$I_{A1} = \frac{S_{A1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{133^2 + 99,2^2}}{\sqrt{3} \cdot 220} = 580 \text{ А}.$$

Вибираємо провід АС-240/32 для двокової лінії.

Параметри лінії А-1:  $R_{A1}=4,72$  Ом,  $X_{A1}=17,4$  Ом,  $Q_{A1}=10$  МВА

Зображуємо схему заміщення ділянки А1

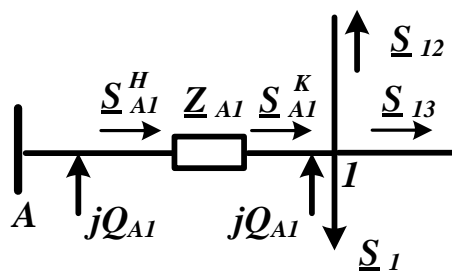


Рисунок 1.9 – Схема заміщення ділянки А1

Визначаємо  $\underline{S}_{AI}^K$  з урахуванням зарядної потужності лінії А–1:

$$\begin{aligned}\underline{S}_{AI}^K &= \underline{S}_{I3} + \underline{S}_{23} - jQ_{AI} + S_I = \\ &= 56,4 + j29,4 + 45,6 + j49,8 - j10 + 30 + j20 = 133 + j89,2 \text{ МВА}\end{aligned}$$

$$\underline{S}_{AI}^H = \underline{S}_{AI}^K + \Delta \underline{S}_{AI} = 133 + j89,2 + \frac{133^2 + 89,2^2}{220^2} \cdot (4,72 + j17,4) = 135,5 + j98,4 \text{ МВА}$$

### 1.7 Визначення напруг у вузлах навантаження

Приймаємо напругу джерела живлення на десять відсотків більшою номінальною напруги мережі  $U_A = 240 \text{ В}$

Визначимо напругу вузла 1:

$$U_1 = \sqrt{\left( U_A - \frac{P_{AI}^H \cdot R_{AI} + Q_{AI}^H \cdot X_{AI}}{U_A} \right)^2 + \left( \frac{P_{AI}^H \cdot X_{AI} - Q_{AI}^H \cdot R_{AI}}{U_A} \right)^2} = 230 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 3:

$$U_3 = \sqrt{\left( U_1 - \frac{P_{I3}^H \cdot R_{I3} + Q_{I3}^H \cdot X_{I3}}{U_1} \right)^2 + \left( \frac{P_{I3}^H \cdot X_{I3} - Q_{I3}^H \cdot R_{I3}}{U_1} \right)^2} = 226 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 2'

$$U_{2'} = \sqrt{\left( U_3 - \frac{P_{32}^H \cdot R_{32} + Q_{32}^H \cdot X_{32}}{U_3} \right)^2 + \left( \frac{P_{32}^H \cdot X_{32} - Q_{32}^H \cdot R_{32}}{U_3} \right)^2} = 224 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 2''

$$U_{2''} = \sqrt{\left( U_1 - \frac{P_{12}^H \cdot R_{12} + Q_{12}^H \cdot X_{12}}{U_1} \right)^2 + \left( \frac{P_{12}^H \cdot X_{12} - Q_{12}^H \cdot R_{12}}{U_1} \right)^2} = 221 \text{ кВ}$$

Приймаємо напругу вузла 2 в замкнутій мережі як середнє значення знайдених напруг розділеного вузла 2  $U_2 = 222 \text{ кВ}$ .

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

ПС-1

$$U_4^B = \sqrt{\left( U_3 - \frac{P_{34}^H \cdot R_{34} + Q_{34}^H \cdot X_{34}}{U_3} \right)^2 + \left( \frac{P_{34}^H \cdot X_{34} - Q_{34}^H \cdot R_{34}}{U_3} \right)^2} = 217 \text{ кВ}$$

ПС-2

$$U_0 = \sqrt{\left( U_2 - \frac{P_{20}^H \cdot R_{20} + Q_{20}^H \cdot X_{20}}{U_2} \right)^2 + \left( \frac{P_{20}^H \cdot X_{20} - Q_{20}^H \cdot R_{20}}{U_2} \right)^2} = 207 \text{ кВ}$$

Визначаємо напругу в вузлі 6:

$$U_6 = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{06}^H \cdot R_{06} + Q_{06}^H \cdot X_{06}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{06}^H \cdot X_{06} - Q_{06}^H \cdot R_{06}}{U_0} \right)^2} = 185 \text{ кВ}$$

Визначаємо напругу в вузлі 5:

$$U_5 = \sqrt{\left( U_0 - \frac{P_{05}^H \cdot R_{05} + Q_{05}^H \cdot X_{05}}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{P_{05}^H \cdot X_{05} - Q_{05}^H \cdot R_{05}}{U_0} \right)^2} = 185,475 \text{ кВ}$$

Знайдемо реальні напруги на низькій стороні підстанцій з урахуванням реального коефіцієнта трансформаторів:

ПС-1

$$U_4 = \frac{U_4^B}{\frac{U_B}{U_H}} = 10,8 \text{ кВ}$$

ПС-2

$$U_6 = \frac{U_6^B}{\frac{U_B}{U_H}} = 37,8 \text{ кВ} \quad U_5 = \frac{U_5^B}{\frac{U_B}{U_C}} = 117,8 \text{ кВ}$$

Таблиця 1.9 – Результати розрахунку напруги вузлов

Результати розрахунку	
Вузол	Напруга, кВ
А	240
1	230
2	223
3	226
4	10,8
5	117,8
6	37,8

## 2. Розрахунок електричної частини підстанції

### Вихідні дані

Тип трансформатора	ТРДН – 40000/220
Потужність трансформатора	S=40 МВА
Напруга	U=220 кВ
Опір трансформатора	X=158,7 Ом
Довжина лінії 1–3	L <sub>13</sub> = 50 км
Довжина лінії 2–3	L <sub>23</sub> = 70 км
Опір лінії 1–3	X <sub>13</sub> = 21,75 Ом
Опір лінії 2–3	X <sub>23</sub> = 30,45 Ом
Потужність системи	S <sub>C</sub> = 100 МВА

### 2.1 Вибір головної схеми електричних з'єднань підстанції

Головна схема електричних з'єднань повинна відповідати таким вимогам [8]:

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

При цьому слід застосовувати найпростіші схеми. Для тупикової схеми рекомендується застосовувати схему «два блоки з вимикачем в колах трансформатора з неавтоматичною перемичкою».

Так як РП, що розглядається, має мале число приєднань, то доцільно застосувати спрощену схему без збірних шин з короткими перемичками між приєднаннями.

					<b>БР.5.141.796.ПЗ.ЕТ</b>			
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Розрахунок електричної частини підстанції</b>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Мазуренко Б.В.					Н	23	65
Перев.	Лебединський					<b>СумДУ ЕТдн-51п</b>		
Нач.бюро								
Н. контр.								
Затв	Лебединський							

## 2.2 Вибір трансформаторів власних потреб

Вибрати число і потужність трансформаторів власних потреб. Вибрати вимірювальні трансформатори струму і напруги [8, 9].

Приймачами власних потреб є оперативні кола, електродвигуни системи охолодження силових трансформаторів, освітлення і електроопалення приміщень, електропідігрів комутаційної апаратури і т.д.

Сумарна розрахункова потужність приймача власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнта попиту. Розрахунок потужності приймача власних потреб наведено в таблиці.

Таблиця 2.1 – Розрахунок потужності приймача власних потреб

№ з/п	Найменування споживача	Кількість одиниць	Потужність одиниць, кВт	Коеф. попиту	cos φ	Споживана потужність, кВт
1	Охолодження трансформаторів	2	3	0,82	0,82	5,72
2	Підігрів високовольтних вимикачів зовнішньої установки	2	1,8	1	1	3,6
3	Підігрів приводів роз'єднувачів зовнішньої установки	6	0,6	1	1	3,6
4	Опалення, освітлення, вентиляція закритого РП	1	5	0,65	0,95	3,42
5	Освітлення РП	1	2	0,65	0,93	1,35
Сумарне навантаження власних потреб, кВА						17,7

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

$$S_{ТВП} \geq S_{ВП},$$

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



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

Оскільки  $S_{ВП} = 17,7$  кВА, то беремо потужність трансформатора власних потреб рівною 25 кВА. Ремонтне навантаження підстанції беремо рівним 20 кВА. При підключенні такого навантаження на один трансформатор допускається його перевантаження на 20 %. Потужність трансформатора для забезпечення живлення навантаження власних потреб з урахуванням ремонтних навантажень:

$$S_{ТВП} = \frac{S_{ТНР} + S_{ВП}}{1,2} = \frac{20 + 17,7}{1,2} = 31,422 \text{ кВА.}$$

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

									Арк.
									25
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.141.796.ПЗ.ЕТ				

### 2.3 Розрахунок струмів короткого замикання

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору обладнання на стороні 220 кВ і 10 кВ. Підстанція живиться за двома тупиковими лініями. Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 2.1.

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць [8,9,10]. Потужність короткого замикання на шинах 220 кВ центру живлення складає  $S_C = 100$  МВА

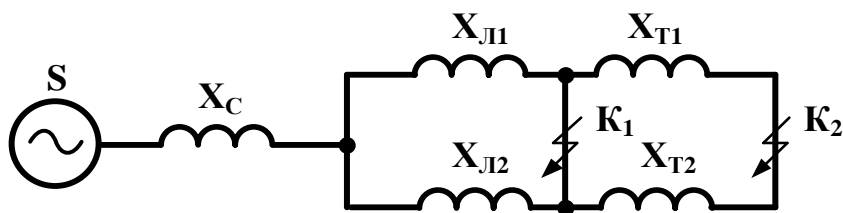


Рисунок 2.1 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Опір системи дорівнює:

$$X_C = \frac{U^2}{S_C} = \frac{220^2}{100} = 484 \text{ Ом}$$

Опір працюючих:

– ліній –  $X_{Л3} = 21,75 \text{ Ом}$ ,

$$X_{23} = 30,45 \text{ Ом}$$

– трансформаторів  $X_T = 158,7 \text{ Ом}$ .

Періодична складова СКЗ в точці  $K_1$ :

$$I_{K1(1)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{Л3})} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot (484 + 21,75)} = 0,251 \text{ кА.}$$

$$I_{K1(2)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{23})} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot (484 + 30,45)} = 0,247 \text{ кА.}$$

$$I_{K1} = I_{K1(1)} + I_{K1(2)} = 0,251 + 0,247 = 0,5 \text{ A}$$

Те ж в точці  $K_2$  приведена до напруги вищої сторони:

$$I_{K2(1)}^B = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{13} + X_{23} + X_T)} = \frac{220}{(484 + 21,75 + 158,7)} = 0,19 \text{ кА},$$

$$I_{K2(2)}^B = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{23} + X_T)} = \frac{220}{(486 + 30,45 + 158,7)} = 0,189 \text{ кА},$$

$$I_{K2} = I_{K2(1)} + I_{K2(2)} = 0,19 + 0,189 = 0,38 \text{ A}$$

реальний СКЗ в точці  $K_2$ :

$$I_{K2} = I_{K2}^B \cdot \frac{220}{10} = 0,38 \cdot \frac{220}{10} = 8,37 \text{ кА}.$$

Ударний струм:

- в точці  $K_1$ :

$$i_{y\partial 1} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot 0,5 = 1,13 \text{ кА},$$

- в точці  $K_2$ :

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot 8,37 = 19 \text{ кА}$$

Припустимо, що амплітуда ЕРС і періодична складова СКЗ незмінні за часом, тому через час, рівний часу відключення:

для точки  $K_1$ :

$$I_{нт1} = I_{K1} = 0,5 \text{ кА};$$

для точки  $K_2$ :

$$I_{нт2} = I_{K2} = 8,37 \text{ кА}.$$

Аперіодична складова СКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача [13]:

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \cdot I_{K1},$$

де  $T_a$  – постійна часу загасання аперіодичної складової (для  $K_1 - T_a = 0,025$  с, для

$K_2 - T_a = 0,05$  с);

$t$  – розрахунковий час розбіжності контактів після початку КЗ. Для вимикачів на високій стороні  $t = 0,06$  с, на низькій стороні  $t = 0,1$  с.

Для точки  $K_1$ :

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot e^{-\frac{0,06}{0,025}} \cdot 0,5 = 0,63 \text{ кА}$$

Для точки  $K_2$ :

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot e^{-\frac{0,1}{0,05}} \cdot 8,37 = 1,6 \text{ кА}$$

Інтеграл Джоуля:

для сторони ВН (точка  $K_1$ ):

$$B_{K1} = I_{K1}^2 \cdot (t + T_a) = 0,5^2 \cdot (0,06 + 0,025) = 0,021 \text{ кА}^2\text{с}$$

для сторони НН (точка  $K_2$ ):

$$B_{K2} = I_{K2}^2 \cdot (t + T_a) = 8,37^2 \cdot (0,1 + 0,05) = 10,5 \text{ кА}^2\text{с}$$

Результати розрахунку зведені в табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку

Струми короткого замикання	СКЗ в поч. момент часу, кА	Ударний СКЗ $i_{уд}$ , кА	СКЗ в момент розбіжності контактів вимикача, кА	Аперіодич. складова СКЗ, $i_a$ кА	Інтеграл Джоуля $B_k$ , кА <sup>2</sup> с
Шини 220 кВ $K_1$	<b>0,50</b>	<b>1,13</b>	<b>0,50</b>	<b>0,06</b>	<b>0,02</b>
Шини 10 кВ $K_2$	<b>1,13</b>	<b>18,99</b>	<b>8,37</b>	<b>1,59</b>	<b>10,50</b>

## 2.4 Вибір високовольтних електричних апаратів РП і струмоведучих частин

Високовольтні електричні апарати вибираються за умовою тривалого режиму роботи і перевіряються за умовами коротких замикань [8, 9, 10]. При цьому для апаратів виконується:

- 1) вибір за напругою;
- 2) вибір по нагріванню при тривалих токах;
- 3) перевірка на електродинамічну стійкість;
- 4) перевірка на термічну стійкість;
- 5) вибір щодо виконання (для зовнішньої або внутрішньої установки).

Вибору підлягають:

- 1) вимикачі:
  - на боці високої напруги;
  - вступні на боці 10 кВ;
  - секційні на боці 10 кВ;
  - ліній, що відходять 10 кВ;
- 2) роз'єднувачі високої напруги;
- 3) трансформатори струму і напруги 220 і 10 кВ;
- 4) ошиновка розподільних пристроїв 220 і 10 кВ.

Для вибору апаратів і струмопровідних частин необхідно визначити струми нормального і післяаварійного режимів. Визначення струмів виконується для випадку установки на підстанції силового трансформатора.

Максимальний струм на зовнішній стороні:

$$I_{220.\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot 220} = \frac{1,4 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 147,14 \text{ А}.$$

Струм в колі ввідних вимикачів на стороні 10 кВ:

$$I_{10}^{\text{відк}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = \frac{1,4 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 1,62 \text{ кА}.$$

Струм в колі секційного вимикача:

$$I_{10}^{c.s} = \frac{0,7 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot 10} = \frac{0,7 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1,62 \text{ кА}.$$

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

$$I_{10}^{відх} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 173,41 \text{ А}.$$

на стороні вищої напруги рекомендується установка елегазових вимикачів типу S1-145-F3/4031.

Вибір вимикачів наведено в таблиці 2.3. Каталогні параметри вимикача взяті з [5].

Подальший вибір вимикачів і роз'єднувачів наведено в таблицях.

Таблиця 2.3 - Вибір вимикача на стороні 220 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	220 кВ	220 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	147 А	2000 А
$I_{по} \leq I_{прСКВ}$	0,5 кА	40 кА
$i_{y01} \leq I_{СКВ}$	1,13 кА	102 кА
$I_{нт} \leq I_{відкл.Ном}$	0,5 кА	31,5 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	0,063 кА	16 кА
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	0,021 кА <sup>2</sup> с	112 кА <sup>2</sup> с

Обраний вимикач повинен повністю задовольняти умовам вибору.

Вибираємо **ВВБМ– 220Б – 31,5/2000У1** [9]:

$U_{НОМ} = 220 \text{ кВ}$ ,  $I_{НОМ} = 2000 \text{ А}$ ,  $I_{НОМ.відкл.} = 31,5 \text{ кА}$ ,

$I_{СКВ.пр.} = 40 \text{ кА}$ ,  $I_{СКВ} = 102 \text{ кА}$ ,  $I_T = 40 \text{ кА}$ ,

$t_{відкл} = 0,07 \text{ сек}$ .  $\beta_H = 36 \%$ .

$$I_{a \text{ ном.}} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{\text{ном.відкл.}}/100 = 1,41 \cdot 36 \cdot 31,5/100 = 16 \text{ кА,}$$

$$I_T^2 \cdot t_y = 40^2 \cdot 0,07 = 112 \text{ кА}^2\text{с.}$$

На стороні низької напруги рекомендується обирати вакуумні вимикачі.  
 $t$  – розрахунковий час розбіжності контактів після початку КЗ.

Для вимикачів на вищій стороні  $t = 0,06$  с, на нижчій стороні  $t = 0,1$  с.

ПВБ - повітряні вимикачі з металевими гасильними камерами. Вимикачі мають двофазні дугогасильні пристрої одностороннього дугтя. Камери (резервуари) постійно заповнені стисненим повітрям і знаходяться під високим потенціалом. Напруга підводиться до камер через епоксидні вводи, захищені зовні порцеляновими покришками.

Таблиця 2.4 - Вибір вимикачів в колі трансформатора на стороні 10 кВ.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	1,62 кА	2000 А
$I_{по} \leq I_{прСКВ}$	1,13 кА	40 кА
$i_{уд2} \leq I_{СКВ}$	19, кА	54,6 кА
$I_{нт} \leq I_{вickl.ном}$	1,13 кА	40 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	1,59 кА	11,28 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	10,5 кА <sup>2</sup> с	17,92 кА <sup>2</sup> с

Вибираємо ВВУ-10  $t_{відк} = 0,07$  сек,  $\beta_H = 20$  %.

$$I_{a \text{ ном.}} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{\text{ном.відкл.}}/100 = 1,41 \cdot 20 \cdot 40/100 = 11,28 \text{ кА,}$$

$$I_T^2 \cdot t_y = 16^2 \cdot 0,07 = 17,92 \text{ кА}^2\text{с.}$$

ПВП — повітряний вимикач посилений за швидкістю відновлювальної напруги. Половина розривів вимикачів типу ВВУ-10 шунтована низькоомними резисторами. При відключенні обидва головних розриви камери цього вимикача

розмикаються одночасно. Після згасання дуги на розриві, шунтованому резистором, інший розрив відключає супроводжувачий струм, обмежений цим резистором.

Таблиця 2.5 – Вибір секційного вимикача на стороні 10 кВ [10]

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	1,62 кА	3150 А
$I_{ПО} \leq I_{пр.СКВ}$	1,13 кА	120 кА
$I_{y\delta} \leq I_{СКВ}$	19 кА	45 кА
$I_{нт} \leq I_{вickl.ном}$	1,13 кА	45/20 кА
$I_{a.\tau} \leq I_{a.ном}$	1,6 кА	
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	10,5 кА <sup>2</sup> с	303,75 кА <sup>2</sup> с

Обрано вимикач ВМПЭ-10-3150-31,5.

У таблиці 2.6 наведено вибір роз'єднувачів на стороні 220 кВ. Роз'єднувачі необхідні з одним і двома комплектами заземлюючих ножів.

Таблиця 2.6 - Вибір роз'єднувачів 220 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	220 кВ	220 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	147 А	1000 А
$i_{y\delta} \leq I_{пр.СКВ}$	1,13 кА	80 кА
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	0,021 кА <sup>2</sup> с	992 кА <sup>2</sup> с



Рекомендується прийняти до установки на стороні 220 кВ роз'єднувачі типу РНД(3)-220/1000 УХЛ1 і РНД 32-220/1000 УХЛ1.

$U_{НОМ} = 220$  кВ,  $I_{НОМ} = 1000$  А,  $I_{СКВ.Пр.} = 80$  кА,

$I_{Тг} = 31,5$  кА,  $t_{ТЕРг} = 3$  сек.  $I_{Тз} = 31,5$  кА,  $t_{ТЕРз} = 1$  сек.

$I^2_T \cdot t_y = 31,2 \cdot 3 = 2977$  кА<sup>2</sup>с.  $I^2_T \cdot t_y = 31,2 \cdot 1 = 992$  кА<sup>2</sup>с.

					БР.5.141.796.ПЗ.ЕТ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

## 2.5 Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги

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

У колі силового трансформатора з боку нижчої напруги амперметр, вольтметр, варметр, лічильники активної і реактивної енергії; на шинях 220 кВ - вольтметр з перемикачем для вимірювання трьох міжфазних напруг; на секційному вимикачі 10 кВ – амперметр; на лініях, що відходять 10 кВ - амперметр, лічильники активної і реактивної енергії.

Таблиця 2.7 - Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму

Прилад	Тип	Клас	Навантаження по фазах		
			А	В	С
Амперметр	Э-335	1	0,5	0,5	0,5
Ватметр	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 струму в колі тр-ра з боку НН			6,5	0,5	6,5
Сумарне навантаження струму в колі секційн. вимикача на НН			0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра з боку ВН			0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі лінії, що відходить			0,5	0,5	0,5

Таблиця 2.8 - Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на стороні вищої напруги.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	220 кВ	220 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	147	50-600 А
$i_{y\delta} \leq I_{np.CKB}$	1,13 кА	62 кА
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	0,021 кА <sup>2</sup> с	162,5 кА <sup>2</sup> с
$Z_H \leq Z_{н.ном}$	1,25 Ом	4 Ом

Обрано трансформатор струму ТФЗМ –220 – У1

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів:

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

Тоді опір вимірювальних проводів може бути:

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

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

$Z_{прил}$  – опір приладів, Ом;

$Z_K$  – опір контактів, Ом.

$$Z_{прил} = 4 - 0,02 - 0,1 = 3,88 \text{ Ом.}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинен становити не менше 4мм<sup>2</sup> для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабелю  $l = 160$  м

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

де  $\rho$  – питомий опір алюмінію, (0,0283 Ом·мм/м) ,

$F$  – перетин жил, мм<sup>2</sup>,

$$Z_{np} = \frac{0,028 \cdot 160}{4} = 1,13 \text{ Ом}$$

Загальний опір кола струму:

$$Z_H = Z_{npил} + Z_K + Z_{np} = 0,02 + 0,1 + 1,13 = 1,25 \text{ Ом},$$

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

Трансформатор струму ТФЗМ-220-У1 відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.9 – Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на стороні нижчої напруги.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	1,62 кА	2,0 кА
$i_{уд} \leq I_{np.СКВ}$	19 кА	—
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	10,5 кА	74,42 кА
$Z_H \leq Z_{н.ном}$	1,25 Ом	4 Ом

Обрано трансформатор струму ТШЛ-10-0,5/10Р.

Таблиця 2.10 - Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	1,62 кА	5-200 кА
$i_{уд} \leq I_{np.СКВ}$	19 кА	250 кА
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	10,5 кА <sup>2</sup> С	74,42 кА <sup>2</sup> С
$Z_H \leq Z_{н.ном}$	1,25 Ом	4 Ом

Приймається до установки трансформатор струму ТЛП-10.

В якості трансформаторів напруги вибираємо на стороні 220 кВ трансформатори НКФ-220-58, на стороні 10 кВ - ЗНОЛ.06-10-У3. Їх характеристики наведені в таблиці 2.11

Таблиця 2.11 – Характеристики вибраних трансформаторів напруги

Тип	Номінальна напруга обмотки			Номінальна потужність, В · А, в класі точності				Максимальна потужність, В · А
	первинної, кВ	основної вторинної, В	додаткової, В	0,2	0,5	1	3	
ЗНОЛ.06	$\frac{6}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	100:3 или 100	30	50	75	200	400
	$\frac{10}{\sqrt{3}}$			50	75	150	300	630
	$\frac{15}{\sqrt{3}}$			50	75	150	300	630
	$\frac{20}{\sqrt{3}}$			50	75	150	300	630
	$\frac{24}{\sqrt{3}}$			50	75	150	300	630
НКФ-220-58	$\frac{220}{\sqrt{3}}$	$\frac{220}{\sqrt{3}}$	100:3	—	400	600	1200	2000

## 2.6 Вибір ошиновки розподільних пристроїв

Ошиновку в розподільчих пристроях (РП) 220 кВ виконують, як правило, сталю-алюмінієвими проводами марки АС. При цьому переріз шин має бути не менше **120 мм<sup>2</sup>** (за умовами коронування). Вибір перерізу здійснюється за довго допустимим струмом. Мінімальний переріз, виходячи з умови термічної стійкості, визначається за формулою:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{0,0211}}{90 \cdot 10^{-3}} = 51,1 \text{ мм}^2$$

де  $C = 90 \cdot 10^{-3}$  кАс/мм<sup>2</sup>.

Переріз **51,1 мм<sup>2</sup>** підходить по термічній стійкості, з цього і для ошиновки ПС приймаємо АС– 240/32 [1].

Ошиновка закритих РП 10 кВ виконується жорсткими шинами. Вибір перерізу також проводиться по допустимому струму. Жорсткі шини повинні бути перевірені на динамічні дії струмів КЗ і на можливість виникнення резонансних явищ. Зазначені явища не виникають при КЗ, якщо власна частота коливань шини менша 30 і більша 200 Гц. Частота власних коливань для алюмінієвих шин визначається за формулою:

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{q}},$$

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

$\gamma$  – момент інерції поперечного перерізу шини щодо осі, перпендикулярної до напрямку згинальної сили, см<sup>4</sup>;

$q$  – поперечний переріз шини, см<sup>2</sup>

$$\gamma = \frac{b \cdot h^3}{12},$$

де  $b$  – товщина шини, см,

$h$  – ширина шини, см.

Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$\gamma = \frac{b \cdot h^2}{12} = \frac{0,0026 \cdot 0,026^2}{12} = 1,464 \times 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{q}} = \frac{173,2}{1,5^2} \cdot \sqrt{\frac{1,464 \cdot 10^{-7}}{6,76 \cdot 10^{-5}}} = 3,6 \text{ Гц.}$$

Так як  $f_0 < 30$  Гц резонансні явища в шині при КЗ виникати не будуть.

Умовою механічної міцності шин є:

$$\sigma_{розр} \leq \sigma_{дон},$$

де  $\sigma_{розр}$  – розрахунковий механічний напрямок в матеріалі шин, МПа;

$\sigma_{дон} = 75$  МПа – допустиме механічне напруження в матеріалі шин для алюмінієвого сплаву ДДЗТТ.

Розрахункове механічне напруження визначається за формулою:

$$\sigma_{розр} = \sqrt{3} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{i_y^2 \cdot l^2}{W \cdot a},$$

де  $W = b \cdot h^2 / 6$  – момент опору шини,

$a = 0,5$  м – відстань між фазами.

За допустимим опором вибираємо алюмінієву шину [2,6×26] мм, з двома смугами на фазу.

$$\sigma_{розр} = \sqrt{3} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{i_y^2 \cdot l^2}{W \cdot a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{19^2 \cdot 1,5^2}{\left(\frac{0,0026^2 \cdot 0,026}{6}\right) \cdot 0,5} = 66,8 \text{ МПа}$$

Умова механічної міцності  $\sigma_{розр} \leq \sigma_{прип}$ , дотримується, так як  $66,75 \leq 75$ .

Таким чином, обрані алюмінієві шини прямокутного перерізу [2,6×26] мм, перевірені на можливість виникнення резонансних явищ і на динамічну стійкість. Вони задовольняють необхідні вимоги.

## 2.7 Компонування розподільних пристроїв 220 кВ і конструкційна частина

Підстанції (ПС) 220 кВ споруджують, як правило, відкритими. Їх рекомендується проектувати переважно комплектними, заводського виготовлення.

Спорудження закритих ПС напругою 220 кВ допускається в наступних випадках: розташування ПС з трансформаторами 16 МВА і вище на службовій території міст, розташування ПС на території міст, коли це допускається містобудівними міркуваннями.

Розташування ПС з великими сніговими заметами, в зонах сильних промислових викидів і в прибережних зонах з сильно засоленою атмосферою.

На ПС 220 кВ зі спрощеними схемами на боці ВН з мінімальною кількістю апаратури, розміщеної в районах із забрудненою атмосферою, рекомендується відкрита установка обладнання ВН і трансформаторів з посиленою зовнішньою ізоляцією.

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

Бідівлі ЗРП (закритих РП) допускається виконувати як окремо стоячими, так і зблокованими з будинками РПП, в тому числі і по вертикалі.

КРПЕ напругою 220 кВ і вище приймають при техніко-економічному обґрунтуванні при обмежених умовах, а також в районах із забрудненою атмосферою. Трансформатори 220 кВ слід встановлювати відкритими, а в районах із забрудненою атмосферою - з посиленою ізоляцією. В ЗРП 220 кВ і в закритих камерах трансформаторів необхідно передбачати стаціонарні вантажно-підйомні пристрої, або можливість застосування вантажопідіймальних машин (самохідних, пересувних) для механізації ремонту і технічного обслуговування.

						БР.5.141.796.ПЗ.ЕТ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			40



## 2.8 Компонування розподільних пристроїв 10 кВ і конструкційна частина

РП 6-10 кВ для комплектних трансформаторів ПС виконується у вигляді КРПН або КРП, що встановлюються в закритих приміщеннях.

РП 6 і 10 кВ закритого типу (в будинках, в тому числі з ПТБ або полегшених конструкцій типу панелі «сендвіч» і ін. можуть застосовуватися:

а) в районах, де за кліматичними умовами (забруднення атмосфери, або наявність снігових заметів, або пилових заносів) неможливе застосування КРПН;

б) при кількості шаф більше 25;

в) при наявності техніко-економічного обґрунтування.

В ЗРП 6 і 10 кВ рекомендується встановлювати шафи КРП заводського виготовлення. Для їх ремонту і зберігання викочуваного візка в ЗРП слід передбачати спеціальне місце.

									Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.141.796.ПЗ.ЕТ				41

## 2.9 Заземлювальні пристрої підстанції

Всі електричні частини електроустановок, які нормально не перебувають під напругою, але здатні опинитися під нею через пошкодження ізоляції, повинні надійно з'єднуватися з землею. Таке заземлення називається захисним.

Заземлення, призначене для створіння нормальних умов роботи апарату або електроустановки, називається робочим.

Для захисту обладнання від пошкодження ударом блискавки застосовується грозозахист за допомогою розрядників, стрижневих і тросових блискавковідводів, які приєднуються до грозозахисного заземлення. На підстанціях використовується один спільний заземлювальний пристрій.

					БР.5.141.796.ПЗ.ЕТ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

### 3 Розрахунок релейного захисту трансформатора

Розрахувати релейний захист трансформатора типу ТРДН-40000/220 на основі диференційного захисту реле ДЗС-21 [11]:

#### Дані для розрахунку захисту

ТРДН- 40000/220:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{НОМ}} &= 40 \text{ МВА} & U_{\text{КЗ}} &= 12 \% & I_x &= 0,9 \% \\
 U_{\text{НОМ.В}} &= 230 \text{ кВ}; & \Delta P_{\text{К}} &= 170 \text{ кВт}; & R_{\text{T}} &= 5,6 \text{ Ом}; \\
 U_{\text{НОМ.Н}} &= 11 \text{ кВ}; & \Delta P_x &= 50 \text{ кВт}; & X_{\text{T}} &= 158,7 \text{ Ом} \\
 \Delta Q_x &= 360 \text{ кВАр}.
 \end{aligned}$$

#### 3.1 Розрахунок струмів короткого замикання

Вибираємо уставки диференційних і максимальних струмових захистів трансформатора типу ТРДН- 40000/220; напруга КЗ –  $U_{\text{КЗ}} = 11,5 \% ; 12 \% ; 12,5 \%$  для положень РП, що відповідає мінімальній середній і максимальній напрузі.

Трансформатор має розщеплену нижню обмотку, тоді маємо:

$$X_{\text{вн}} = 0,125 \cdot X_{\text{т}} = 0,125 \cdot 158,7 = 19,83 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{ин}} = 1,75 \cdot X_{\text{т}} = 1,75 \cdot 158,7 = 277,73 \text{ Ом}.$$

При розрахунку струмів КЗ трансформаторів з РПН потрібно враховувати зміну опору за рахунок регулювання напруги:

$$U_{\text{мін.вн}} = 230 \cdot (1 - 0,12) = 202,4 \text{ кВ},$$

Для трансформаторів 220 кВ можна прийняти:

$$X_{\text{т.мін}} = X_{\text{т.ном}} \cdot (1 - \Delta U)^2,$$

$$X_{\text{т.макс}} = X_{\text{т.ном}} \cdot (1 + \Delta U)^2,$$

$$X_{\text{вн.мін}} = 19,83 \cdot (1 - 0,12)^2 = 15,36 \text{ Ом},$$

					БР.5.141.796.ПЗ.ЕТ			
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Мазуренко Б.В.			<b>Розрахунок релейного захисту трансформатора</b>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Лебединський				Н	43	65
Нач.бюро						СумДУ ЕТДН-51п		
Н. контр.								
Затв		Лебединський						

$$X_{вн.макс} = 19,83 \cdot (1 + 0,12)^2 = 24,87 \text{ Ом},$$

$$X_{нн.мін} = 277,73 \cdot (1 - 0,12)^2 = 215 \text{ Ом},$$

$$X_{нн.макс} = 277,73 \cdot (1 + 0,12)^2 = 348,4 \text{ Ом}$$

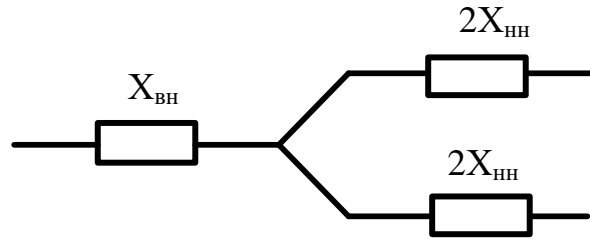


Рисунок 3.1 – Схема заміщення трансформатора

Розрахуємо струми при трифазному КЗ за трансформатором [13].

Максимальне значення струмів КЗ:

$$I_{к.макс.вн} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot (X_c + X_{вн.мін} + X_{нн.мін})} = \frac{220000}{\sqrt{3} \cdot (484 + 15,36 + 215)} = 202 \text{ А}.$$

Максимальне значення напруги в мережі:

$$U_{макс.вн} = 1,1 \cdot U_{ном} = 1,1 \cdot 220 = 242 \text{ кВ}.$$

$$I_{к.макс.нн} = I_{к.макс.вн} \cdot \frac{U_{макс}}{U_{нн}} = 202 \cdot \frac{242}{11} = 4,85 \text{ кА}.$$

Мінімальне значення струмів КЗ:

$$I_{к.мін.вн} = \frac{U_{макс}}{2 \cdot (X_{с.мін} + X_{вн.макс} + X_{нн.макс})} = \frac{242000}{2 \cdot (484 + 24,87 + 348,38)} = 191 \text{ А}$$

$$I_{к.мін.нн} = I_{к.мін.вн} \cdot \frac{U_{макс}}{U_{нн}} = 191 \cdot \frac{242}{11} = 4,2 \text{ кА}$$

### 3.2. Розрахунок диференційного струмового захисту

3.2.1 Визначаємо первинний струм для всіх сторін трансформатора:

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

для 220 кВ:

$$I_{ном} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 100,5 \text{ А}$$

для 10 кВ:

$$I_{ном} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 2,1 \text{ кА.}$$

За цими струмами визначаються відповідні вторинні струми  $I_{IV}$ ,  $I_{IIV}$ ,  $I_{IIIV}$ , виходячи з коефіцієнтів трансформації трансформаторів струму  $K_I$  и коефіцієнт схеми  $K_{сх}$  ( $K_{сх} = \sqrt{3}$ ):

$$I_{ном.в} = \frac{I_{ном} \cdot K_{сх}}{K_I}$$

Для 220 кВ:  $K_I = 300/5$

$$I_{ном.в} = \frac{100,53 \cdot \sqrt{3}}{\frac{300}{5}} = 2,9 \text{ А}$$

Для 10 кВ:  $K_I = 4000/5$

$$I_{ном.в} = \frac{2101,94 \cdot \sqrt{3}}{\frac{4000}{5}} = 4,55 \text{ А}$$

На рис. 3.2 приведена пояснювальна схема включення струмових кіл диференційного захисту трансформатора.

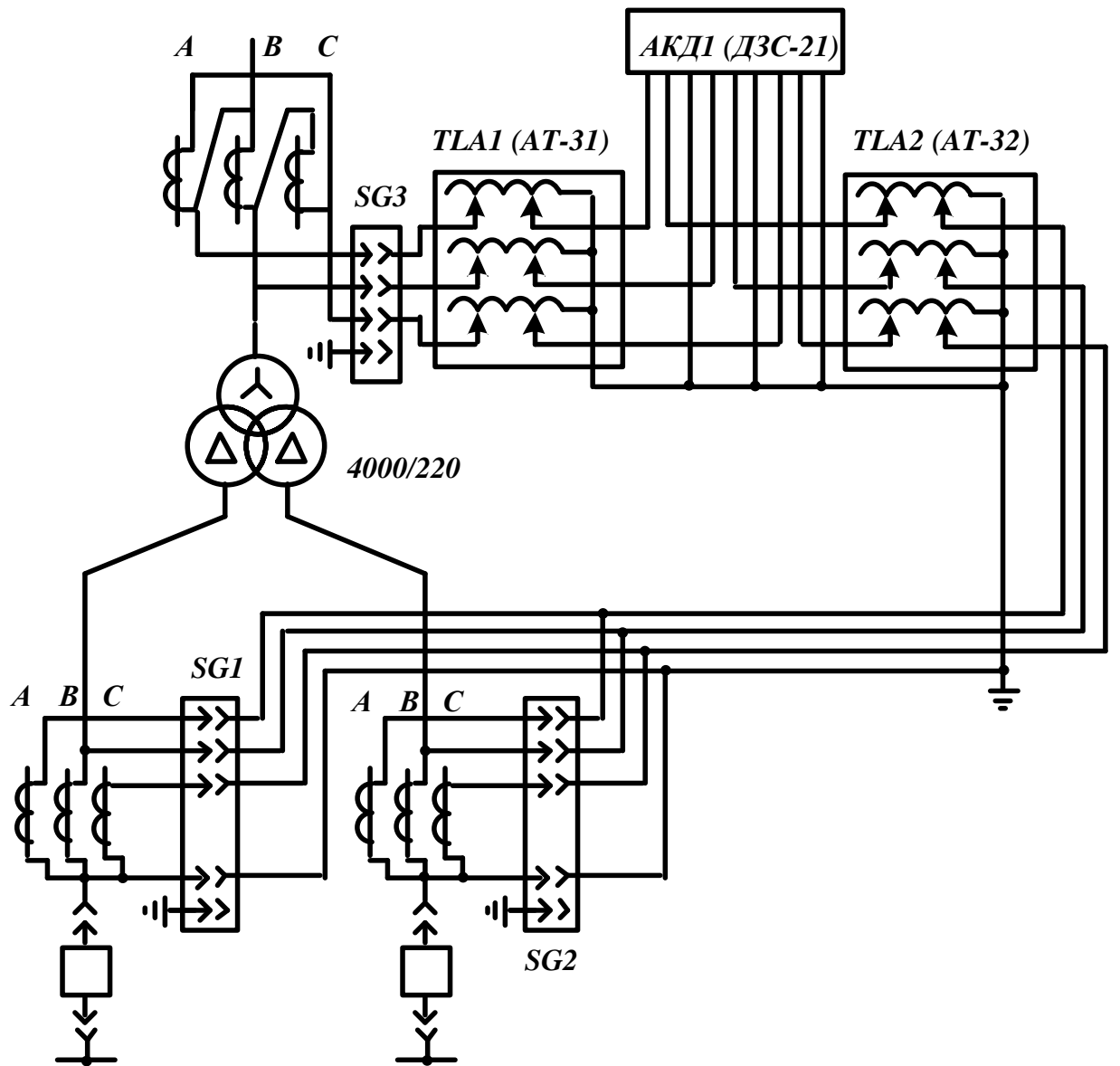


Рисунок 3.2 – Принципова схема включення реле ДЗС-21

Таблиця 3.1

№ з/п	Назва величини	Позначення і метод визначення	220 кВ	10 кВ
1	Номінальний струм прийнятого відгалуження трансформатора реле на основній стороні, А	$I_{відг.ном.осн} \leq I_{ном.в.осн}$	4,6	–
2	Розрахунковий струм розгалуження автотрансформаторів струму на неосновних сторонах, А	$I_{відг.розр.неосн} =$ $= I_{ном.в.неосн} \cdot \frac{I_{відг.ном.осн}}{I_{ном.в.осн}}$	–	$4,13 \cdot \frac{4,6}{4,55} =$ $= 4,16$
3	Тип автотрансформаторів струму, які включаються в плече захисту			АТ-31
4	Номінальний струм використовуваного відгалуження АТ струму, до якого підводяться вторинні струми в плечі захисту, А		–	4,55
5	Номер використовуваного відгалуження автотрансформаторів струму, до якого підводяться вторинні струми		–	1-9
6	Номер використовуваного відгалуження АТ струму, до якого підключається реле		–	1-10
7	Номінальний струм використовуваного відгалуження АТ струму, до якого підключається реле		–	4,6
8	Номінальний струм прийнятого відгалуження трансреактора реле на неосновних сторонах, А,		–	,6
9	Номер використовуваного відгалуження трансреактора реле		2	
10	Розрахунковий струм відгалуження проміжних трансформаторів струму кола гальмування реле, А	$I_{відг.гал.розр} = \frac{I_{ном.в}}{k_{АТ}}$	4,54	$\frac{4,13 \cdot 5}{4,25} = 4,86$
11	Номінальний струм прийнятого відгалуження приставки і проміжних трансформаторів струму, А	$I_{відг.гал.ном}$	5	5
12	Номер використовуваного відгалуження приставки і проміжних трансформаторів струму реле		1	1

**3.2.2** Вибираємо відгалуження трансреактора реле ТАУ, або автотрансформатора струму для основної сторони (за основну сторону вибирається сторона 220 кВ, на якій вторинний струм в плечі захисту приблизно дорівнює номінальному струму відгалуження трансреактора реле)  $I_{відн.ном.осн}$ :

$$I_{відн.ном.осн} \leq I_{ном.в.осн}$$

**3.2.3** Вибираємо відгалуження автотрансформатора струму АТ-31 для неосновної сторони 10 кВ  $I_{відн.ном.неосн}$ . Виходячи з зворотного відгалуження трансформаторів реле ТАУ для основної сторони  $I_{відн.ном.осн}$  і номінального вторинного струму в плечі захисту на розглянутій неосновній стороні:

$$I_{відг.ном.неосн} \leq I_{відг.розр.неосн} = I_{відг.ном.осн} \cdot \frac{I_{ном.в.неосн}}{I_{ном.в.осн}}$$

**3.2.4** Вибираємо сторони, на яких використовується гальмування

Гальмування, як правило, слід виконувати від струмів на всіх сторонах трансформатора, але в трансформаторі, в якому розраховується диференційний струмовий захист, гальмування виконується тільки від струмів груп трансформаторів струму, встановлених на приймаючих (високої напруги) сторонах захисного трансформатора.

**3.2.5** Вибираємо установку «початкового гальмування»  $I_{гал.поч}$ .

Установку приймаємо в залежності від сторін, на яких використовується гальмування, тому виходячи з умов, прийнятих в п. 2.4  $I_{гал.поч} = 0,6$ .

**3.2.6** Вибираємо відгалуження проміжних трансформаторів струму і приставки додаткового гальмування, виходячи з вторинних струмів  $I_{ном.в}$  і коефіцієнтів трансформації автотрансформаторів струму АТ-31  $k_{ат}$ :

$$I_{відг.гал.ном} \leq I_{відг.гал.розр} = \frac{I_{ном.в.}}{k_{ат}}$$

**3.2.7** Знаходимо первинний гальмовий струм:





**3.2.10** Визначаємо відносний мінімальний струм спрацьовування реле (його чутливого органу) при відсутності гальмування. За розрахункову приймаємо сторону низької напруги:

$$I_{с.р.мін} = \frac{I_{с.з.мін} \cdot \frac{U_{вн.ном}}{U_{ном.П}} \cdot k_{сх}}{K_I \cdot I_{від.ном}} = \frac{30,16 \cdot \frac{230}{11} \cdot \sqrt{3}}{\frac{4000}{5} \cdot 4,25} = 0,32 \text{ А}$$

**3.2.11** Визначаємо первинний максимальний струм, який проходить через трансформатор, що захищається, при внутрішньому КЗ:

$$I_{к.мах} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot (X_c + X_T)} = \frac{220000}{\sqrt{3} \cdot (484 + 158,7)} = 197,86 \text{ А}$$

і відповідний йому розрахунковий струм небалансу. Коефіцієнт, який враховує перехідний режим  $k_{пер} = 2$ :

$$I_{нб.розр} = (k_{пер} \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U \cdot k_{II} + \frac{I_{одн.розр.П} - I_{одн.ном.П}}{I_{одн.розр.П}}) \cdot I_{к.мах}^{(3)} =$$

$$= (1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,12 \cdot 1 + \frac{4,16 - 4,25}{4,16}) \cdot 198 = 118,5 \text{ А.}$$

**3.2.12** Визначаємо коефіцієнт гальмування захисту:

$$K_{гальм} = \frac{k_{відс} I_{*нб.розр} \cdot \frac{I_{ном.в.осн}}{I_{відв.ном.осн}} - I_{*с.р.мін}}{0,5 \cdot \sum I_{*гальм.розр} \cdot \frac{I_{відв.гал.розр}}{I_{відв.гал.ном}} - I_{*гал.поч.п}} =$$

$$= \frac{1,5 \cdot \frac{205}{100,53} \cdot \frac{4,57}{4,6} - 0,5}{0,5 \cdot 100,53 \cdot \left( \frac{4,57}{5} + \frac{4,86}{5} \right) - 0,6} = 0,59 \approx 0,6$$

де  $I_{*гальм.поч.п} = 0,6$  - відносний вторинний струм початку гальмування;

$$I_{*нб.розр} = \frac{I_{нб.розр}}{I_{ном}}$$

**3.2.13** Знаходимо первинний струм спрацьовування відсічення  $I_{с.відс}$  за умовами відбудови максимального первинного струму небалансу (коефіцієнт  $k_{пер}$  приймаємо рівним 3):

$$I_{нб.розр} = (k_{пер} \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U \cdot k_{II} + \frac{I_{від.розр.II} - I_{від.ном.II}}{I_{від.розр.II}}) \cdot I_{к.мах}^{(3)} =$$

$$= (3 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,16 \cdot 1 + \frac{4,6 - 4,29}{4,6}) \cdot 199 = 96,34 \text{ A}$$

$$I_{с.від.розр} = k_{від} \cdot I_{нб.розр} = 1,5 \cdot 96,34 = 144 \text{ A}$$

Вставка відсічення прийнята  $6 \cdot I_{від.ном}$ . При такій вставці первинний струм спрацьовування відсікання дорівнює:

$$I_{с.відс} = 6 \cdot 3,63 \cdot \frac{300}{5 \cdot \sqrt{3}} = 755 \text{ A}$$

**3.2.14** Визначаємо коефіцієнт чутливості захисту КЗ між двома фазами на стороні НН трансформатора:

$$k_{ч}^{(m)} = \frac{I_{к.мин.вн}^{(m)} \cdot K_{сх.п}^{(m)}}{I_{с.з.мін} \cdot K_{сх.п}^{(3)}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 191}{30,16 \cdot \sqrt{3}} = 6,33$$

$$k_{ч}^{(m)} = \frac{I_{к.мин.нн}^{(m)} \cdot K_{сх.п}^{(m)}}{I_{с.з.мін} \cdot K_{сх.п}^{(3)}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,2}{30,16 \cdot \sqrt{3}} = 139$$

## 4 Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання

До технологічних витрат електричної енергії відносять втрати енергії, обумовлені електромагнітними процесами у струмопровідних частинах електричної мережі і осердях апаратів при її передачі, а також кліматичні втрати та втрати енергії в ізоляції елементів мережі (далі – втрати електричної енергії) [16].

### 4.1 Втрати електричної енергії в електричній мережі

Втрати електричної енергії в електричній мережі (елементах електричної мережі) визначаються за результатами вимірювань як різниця обсягів електричної енергії, обчислена за одночасно знятими показами лічильників, встановлених на вході і виході електричної мережі (елементів електричної мережі).

У разі технічної неможливості або економічної недоцільності вимірювання витрат, їх (втрати) визначають розрахунковим шляхом, як суму витрат в окремих елементах електричної мережі. Розрахунок витрат проводиться для схеми нормального режиму.

Кількість активної електричної енергії  $W^P_C$  у кВт·год. та кількість реактивної енергії  $W^Q_C$  у кВАр·год. за період часу від  $T_1$  до  $T_2$ , яка перетікає через межу балансової належності, обчислюють за різницею показів лічильника в кінці та на початку цього періоду часу за формулами [18]:

$$W^P_C = W^P \pm \Pi^P, \quad (4.1)$$

$$W^Q_C = W^Q \pm \Pi^Q, \quad (4.2)$$

де  $W^P$  – кількість активної електричної енергії за період часу від  $T_1$  до  $T_2$ , яку визначено за показами лічильників електричної енергії відповідно до [4], кВт·год.;

					БР.5.141.796.ПЗ.ЕТ			
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Мазуренко Б.В.					Н	52	65
Перев.	Лебединський					СумДУ ЕТдн-51п		
Нач.бюро								
Н. контр.								
Затв.	Лебединський							

$W^Q$  – кількість реактивної електричної енергії за період часу від  $T_1$  до  $T_2$ , яку визначено за показами лічильників електричної енергії відповідно до [3], кВАр·год.;

$\Pi^P$  – поправка до кількості активної електричної енергії, яка обумовлена незбігом точки вимірювання електричної енергії з межею балансової належності елементів електричної мережі, кВт·год.;

$\Pi^Q$  – поправка до кількості реактивної електричної енергії, яка обумовлена незбігом точки вимірювання електричної енергії і межі балансової належності елементів електричної мережі, кВАр·год.

У формулах 4.1 і 4.2 знак “+” ставлять у випадках, якщо у напрямку передачі електричної енергії точку вимірювання встановлено після межі балансової належності елементів електричної мережі і ділянка мережі від межі балансової належності до точки вимірювання знаходиться на балансі споживача (субспоживача); знак “–” ставлять у випадках, якщо точку вимірювання електричної енергії встановлено до межі балансової належності елементів електричної мережі і ділянка мережі від межі балансової належності до точки вимірювання знаходиться на балансі електропередавальної організації (основного споживача).

#### 4.1.1 Рівень інформаційного забезпечення А

За рівня інформаційного забезпечення А поправки розраховують за формулами (рівень інформаційного забезпечення визначення втрат А (рівень А) - визначення втрат електричної енергії за умов, коли вимірювання обсягів електричної енергії здійснюється з використанням лічильників інтегрального типу) [18] (4.3) і (4.4):

$$\Pi^P = \Delta W^P_{\tau} + \Delta W^P_{\Pi} + \Delta W^P_p + \Delta W^P_k + \Delta W^P_{\text{із.к}} \quad (4.3)$$

$$\Pi^Q = \Delta W^Q_{\tau} + \Delta W^Q_{\Pi} + \Delta W^Q_p, \quad (4.4)$$



#### 4.1.2 Рівень інформаційного забезпечення Б

За рівнів інформаційного забезпечення Б, поправки розраховують за формулами (рівень інформаційного забезпечення визначення втрат Б (рівень Б) - визначення втрат електричної енергії за умов, коли вимірювання обсягів електричної енергії здійснюється з використанням лічильників інтервального типу за допомогою засобів локального устаткування збору та обробки даних та/або автоматизованих систем обліку електричної енергії, прийнятих у промислову (постійну) експлуатацію відповідно до вимог діючих нормативних документів) [18] (4.5) и (4.6):

$$\Pi^P = \sum_{i=1}^N (\Delta W_{T,i}^P + \Delta W_{п,i}^P + \Delta W_{р,i}^P + \Delta W_{к,i}^P + \Delta W_{в.к,i}^P) \quad (4.5)$$

$$\Pi^Q = \sum_{i=1}^N (\Delta W_{T,i}^Q + \Delta W_{п,i}^Q + \Delta W_{р,i}^Q), \quad (4.6)$$

де  $\Delta W_{T,I}^P$  – втрати активної енергії в силових трансформаторах і автотрансформаторах на ділянці мережі від межі балансової належності елементів електричної мережі до точки вимірювання протягом  $I$  – го інтервалу часу з умовно-сталим навантаженням, кВт·год.;

$\Delta W_{п,I}^P$  – втрати активної енергії в проводах ПЛ і жилах кабелів КЛ на ділянці мережі від межі балансової належності елементів електричної мережі до точки вимірювання протягом  $I$  – го інтервалу часу з умовно-сталим навантаженням, кВт·год.;

$\Delta W_{р,I}^P$  – втрати активної енергії в реакторах на ділянці мережі від межі балансової належності елементів електричної мережі до точки вимірювання протягом  $I$  – го інтервалу часу з умовно-сталим навантаженням, кВт·год.;

$\Delta W_{к,I}^P$  – кліматичні втрати активної енергії в ПЛ на ділянці мережі від межі балансової належності елементів електричної мережі до точки вимірювання, які обумовлені короною та недосконалістю ізоляції ПЛ і залежать від погодних умов, протягом  $I$  – го інтервалу часу, кВт·год.;







## 4.2 Розрахунок питомих параметрів лінії

### 4.2.1 Питомий індуктивний опір ПЛ

Питомий індуктивний опір транспонованої ПЛ з розщепленою фазою з однаковим перерізом проводів з кольорових металів в Ом/км обчислюють за формулою [7] (4.7):

$$X_{\Pi} = 0,144 \cdot \lg \frac{D_{\text{сер}}}{r_{\text{екв}}} + \frac{0,157}{n} \quad (4.7)$$

де  $D_{\text{сер}} = \sqrt[3]{a_{\text{AB}} \cdot a_{\text{BC}} \cdot a_{\text{CA}}}$  – середньгеометрична відстань між проводами окремих фаз ПЛ (параметр  $D_{\text{сер}}$  на рис. В1 – В3 [3]);

$a_{\text{AB}}, a_{\text{BC}}, a_{\text{CA}}$  – відповідно відстані між проводами фаз А, В і С, м;

$r_{\text{екв}} = \sqrt[n]{r \cdot a_{\text{сер}}^{n-1}}$  – еквівалентний радіус проводу, м;

$a_{\text{сер}}$  – середньгеометрична відстань між проводами однієї фази, м;

$r$  – радіус проводу, м.

Питомий індуктивний опір транспонованої ПЛ з нерозщепленою фазою розраховується за формулою (2.7) при  $n = 1$  та  $r_{\text{екв}} = r$ .

### 4.2.2 Питома реактивна ємнісна провідність ПЛ

Питому реактивну ємнісну провідність транспонованої ПЛ з розщепленою фазою з однаковим перерізом проводів в мкСм/км обчислюють за формулою [7] (4.8):

$$b = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{\text{сер}}}{r_{\text{екв}}}} \quad (4.8)$$

Питома реактивна ємнісна провідність транспонованої ПЛ з нерозщепленою фазою розраховується за формулою (4.8) при  $r_{\text{екв}} = r$ .

Відомості про питому ємнісну провідність ПЛ наведено в [7].

### 4.2.3 Питома реактивна ємнісна провідність фази КЛ

Питому реактивну ємнісну провідність фази КЛ напругою понад 20 кВ з однаковим перерізом жил в мкСм/км приймають згідно з ТУ на кабель або обчислюють за формулою [7]:

$$b = \omega \cdot \frac{\epsilon_r}{18 \cdot \ln \frac{D_{i3}}{d_{i3}}} \quad (4.4)$$

де  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ ,

$f$  – частота електричного струму, Гц;

$\epsilon_r$  – відносна діелектрична проникність матеріалу ізоляції (для зшитого поліетилену  $\epsilon_r = 2,5$ ; для паперової просоченої  $\epsilon_r = 3,5 \div 3,7$ );

$D_{i3}$  - зовнішній діаметр основної ізоляції кабелю, мм;

$d_{i3}$  - внутрішній діаметр основної ізоляції кабелю, мм.

Тривалість у розрахунковому періоді погодних умов певного виду визначають за даними метеорологічної служби, усередненими за 3 – 5 років.

## Висновки

В результаті виконання випускної роботи бакалавра був проведений розрахунок параметрів електричної мережі, визначені напруги в вузлах мережі, втрати напруги і втрати потужності в мережі.

Виконано розрахунок електричної частини підстанції з подальшим вибором комутаційного вимірювального обладнання; Виходячи з забезпечення надійності електропостачання та з огляду на перспективи розвитку та можливість виконання ремонтних і експлуатаційних робіт був зроблений вибір головної схеми електричних з'єднань підстанцій. Виходячи з навантаження, був зроблений вибір електровимірювальних трансформаторів.

Були розраховані електричні перехідні процеси в електричній мережі, в результаті розрахунку були визначені зверхперехідний і ударний струм при симетричному трифазному замиканні.

Виконано основний релейний захист трансформаторів (диференційний струмовий захист), визначені уставки спрацьовування захисту і забезпечена чутливість захисту.

Проведене визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання

									Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.141.796.ПЗ.ЕТ				60

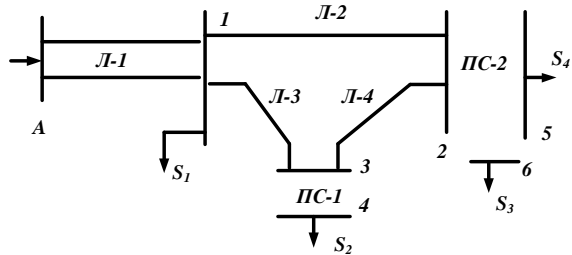
## Література

- 1 Електричні мережі та системи. Підручник. Сегеда М.С. / Третє видання, доповнене та перероблене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 540 с. ISBN 978-617-607-831-9
- 2 Електричні системи та мережі: конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми: Сумський державний університет, 2018.– 214 с.
- 3 3202 Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „Розрахунок замкнутої електричної мережі” з курсу „Електричні системи та мережі” / укладачі: І. Л. Лебединський, С. М. Лебедка, В. І. Романовський, В. В. Волохін. – Суми: Сумський державний університет, 2011.– 40 с.
- 4 Правила улаштування електроустановок - 5-те вид., переробл. й доповн. – Харків, Форт, 2014. – 782 с.
- 5 Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. / С.С. Ананичева, А.Л. Мызин, С.Н. Шелюг. ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. - 52 с  
<http://www.energyland.info/files/library/487586c140e2946c28be316cbcd800a3.pdf>
- 6 Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. Навчальний посібник. Лук'яненко Ю.В., Остапчук Ж.І., Кулик В.В. / Вінниця: ВДТУ, 2002.– 116 с.  
<http://kulykvv.vk.vntu.edu.ua/file/poslbn/cf207246a5ffede8257f5b865a7b60d9.pdf>
- 7 СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011. Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Київ. Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 399 від 21.06.2013.

- 8 Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. М. Гаряжа, А. О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва Ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ Ім. О. М. Бекетова, 2018. – 149 с.  
[http://eprInts.kname.edu.ua/48453/1/2015\\_%D0%BF%D0%B5%D1%87\\_89%20%D0%9B%20%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%81%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA.pdf](http://eprInts.kname.edu.ua/48453/1/2015_%D0%BF%D0%B5%D1%87_89%20%D0%9B%20%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%81%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA.pdf)
- 9 Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (для слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070103 – Електротехнічні системи електроспоживання (за видами)) / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва Ім. О. М. Бекетова; уклад. : В. М. Гаряжа, Є. Д. Дьяков, Г. В. Капустін. – Х. : ХНУМГ Ім. О. М. Бекетова, 2015.– 44 с.
- 10 Сегеда М.С., Гапанович В.Г., Олійник В.П., Покровський К.Б. Проектування структурних схем електростанцій та підстанцій: навч. посіб. – Львів: Вид-во НУ «ЛП», 2010.
- 11 Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2015. – 504 с.
- 12 Методичні вказівки до проведення практичних занять з курсу «Релейний захист та автоматика» / Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ва Ім. О. М. Бекетова; уклад.: Д. С. Шимук. – Х.: ХНУМГ, 2013 – 60 с.
- 13 Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Швняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, Л.І. Несен, за ред. Г.Г. Швняка ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 5-те вид., доопрац. та допов. – Дніпро : НГУ, 2016. – 600 с  
<http://eIr.pstu.edu/handle/123456789/24688>
- 14 ДСТУ ІЕС 60909-0:2007. Струми короткого замикання у трифазних сис-

						БР.5.141.796.ПЗ.ЕТ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			62





Початкова схема мережі

Потужності навантажень

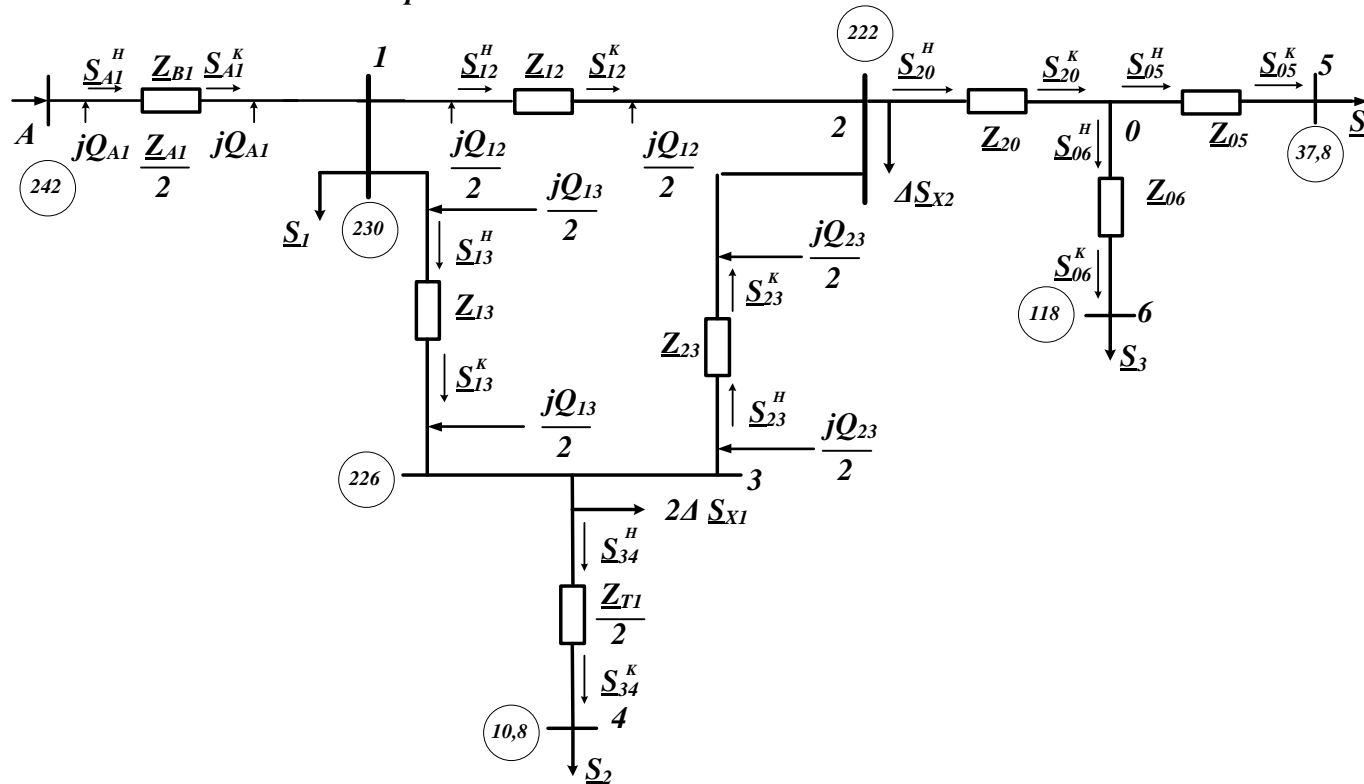
- $\underline{S}_1 = 30 + j 20 \text{ MVA}$
- $\underline{S}_2 = 50 + j 20 \text{ MVA}$
- $\underline{S}_3 = 10 + j 20 \text{ MVA}$
- $\underline{S}_4 = 40 + j 30 \text{ MVA}$

Категорія споживача

- $\underline{S}_1 - I$
- $\underline{S}_2 - I$
- $\underline{S}_3 - II$
- $\underline{S}_4 - III$

Довжина ліній

- Л-1 80 км
- Л-2 70 км
- Л-3 50 км
- Л-4 70 км



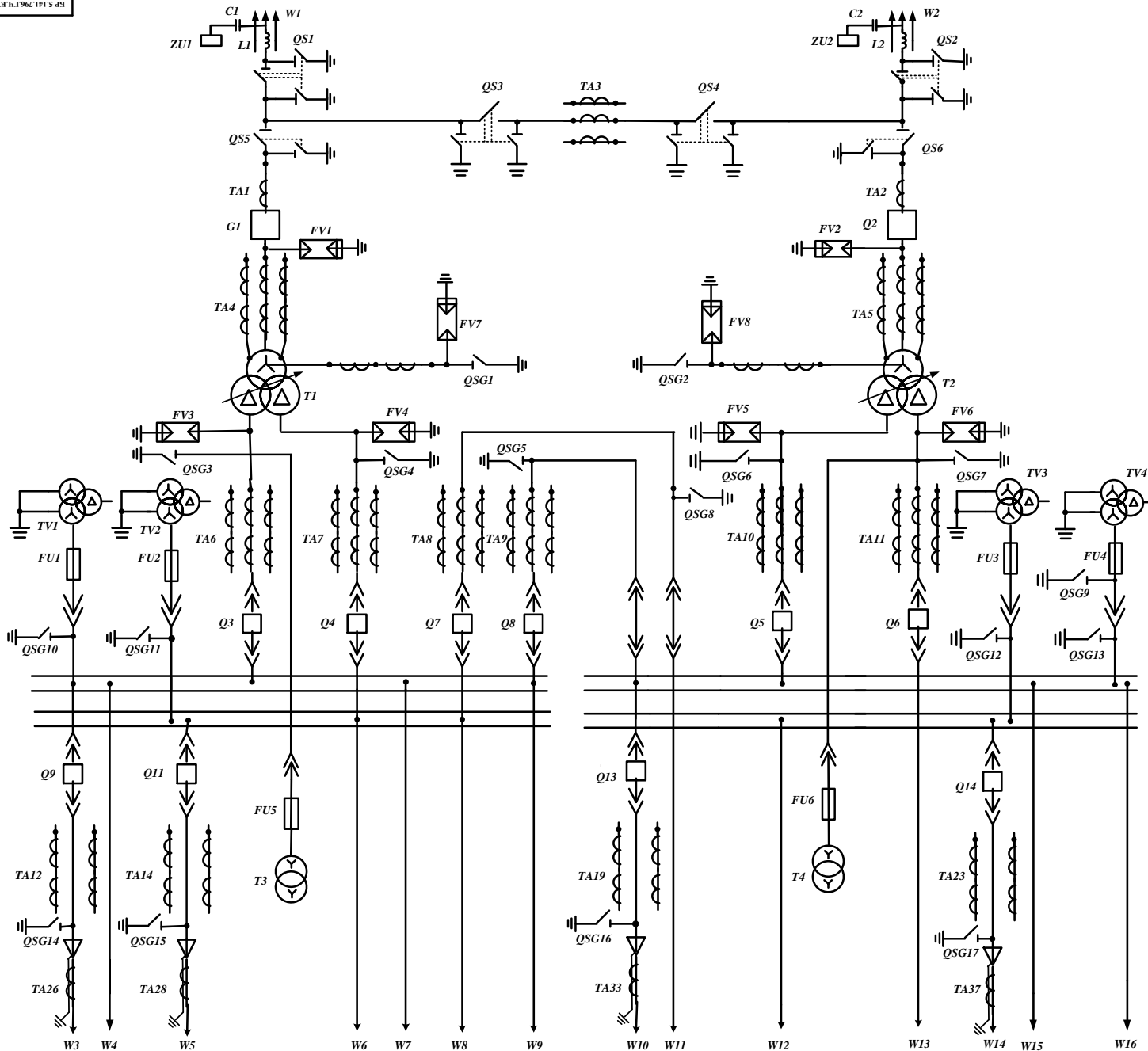
Розрахункова схема заміщення мережі

Потужності на ділянках мережі

Обозн	Начало	Обозн	Конец
$\underline{S}_{34}$	$50,17 + j24,7$	$\underline{S}_{34}$	$50 + j20$
$\underline{S}_{12}$	$45,6 + j45,4$	$\underline{S}_{12}$	$44,97 + j43$
$\underline{S}_{23}$	$5,63 + j12,82$	$\underline{S}_{23}$	$5,6 + j12,7$
$\underline{S}_{13}$	$56,4 + j32,5$	$\underline{S}_{13}$	$55,9 + j30,72$
$\underline{S}_{12}$	$45,66 + j45,4$	$\underline{S}_{12}$	$44,97 + j43$
$\underline{S}_{20}$	$50,23 + j63,8$	$\underline{S}_{20}$	$50,17 + j56,77$
$\underline{S}_{06}$	$10,04 + j20$	$\underline{S}_{06}$	$10 + j20$
$\underline{S}_{05}$	$40,65 + j36,7$	$\underline{S}_{05}$	$40 + j30$
$\underline{S}_{A1}$	$135,5 + j98,4$	$\underline{S}_{A1}$	$133 + j99,2$

БР.5.141.796.ГЧ.ЕТ					Лп	Маса	Масштаб
Вид	Лин	Мі. Ассамбл.	Лінійні	Деталі			
Розроб	Мельничук В.В.				Н		
Перевірив	Либідьович С.						
Коректур					Архив 1	Архив 2	
Рисувач							
Головний							
Заступ	Либідьович С.						
Розрахунок електричної мережі					СумДУ, гр.ЕТОн-51п		





Pos	Позначення	Найменування	Кол
1	T1, T2	Трансформатор силовий ТРДНЦ-40000/220	2
2	C1, C2	Конденсатор зв'язку СМП	2
3	L1, L2	Високочастотний загорджувач	2
4	QS1-QS6	Роз'єднувач зовнішньої установки РНД-(3)-220/1000	6
5	Q1, Q2	Вимикач ВВП-220/630	2
6	TA1- TA3	Трансформатор струму ТВТ-220-1	3
7	TA4, TA5	Трансформатор струму Вбудований ТВТ-220-1	6
8	FV1, FV2	Розрядник вентильний РВС-220МУ1	8
9	FV3- FV6	Розрядник вентильний РВП-10МУ1	4
10	FV7, FV8	Розрядник вентильний РВС-15 РВС-35	12
11	QSG1, QSG2	Заземлювач однополюсний ЗОН-220М	2
12	TA6- TA11	Трансформатор струму ТШЛ-10-0,5/10Р	18
13	T3, T4	Трансформатор власних потреб ТМ-40/10	2
14	Q3-Q6	Выключатель ВМПЭ-10-3150-31,5	4
15	Q7, Q8	Выключатель ВМПЭ-10-3150-31,5	2
16	FU1-FU6	Запобіжник ПКН001-10У1	6
17	TV1-TV4	Трансформатор напруги НТМИ-10-66	4
18	Q9-Q22	Вимикач ВММ-10+400/630-10	14
19	TA12-TA25	Трансформатор струму ТПЛ-10-0,5/10Р	28
20	TA26- 37	Трансформатор струму ТПЛ-10-У3	14
21	ZU1, ZU2	Фільтр приєднання ОФП	2
22	QSG3-QSG17	Заземлювачі внутрішньої установки ЗР-10НУ3	7

Б.П.Г.96С.141.5.49					Лист	Маса	Масштаб
Вид	Арх	М	Деталь	План	Лист		
Розроб	Машинно-ЕП						
Корекція	Лінійно-машин						
Результ							
Надзор							
Листер	Лінійно-машин						
Розробник електричної частини підстанції					Лист 2 з 2		
Сум.ДП, гр.ЕТОН-51п							