

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.  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**Тема: “Розрахунок параметрів обладнання електричної мережі та визначення зон захисту блискавковідводів відкритого розподільного пристрою”**

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

**Освітня програма Електротехнічні системи електроспоживання**

Виконав студент гр. ЕТдн-84п

Свистун Д.Р.

Керівник, доцент, канд.техн.наук

Лебединський І.Л.

Кваліфікаційна робота

Захищена на засіданні ДЕК

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

Голова ДЕК

Горбуль В.Ю.

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу бакалавра**  
**Свистуна Данила Руслановича**

**1 Тема роботи “Розрахунок параметрів обладнання електричної мережі та визначення зон захисту блискавковідводів відкритого розподільного пристрою”**

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;
- розрахунок зони захисту блискавковідводів ВРП.

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	Примітка
1	Розрахунок електричної мережі	22.05.-24.05.2022	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	25.05.-29.05.2022	
3	Розрахунок релейного захисту	30.05.-02.06.2022	
4	Розрахунок зони захисту блискавковідводів ВРП	03.06.-07.2022	
5	Оформлення пояснювальної записки	08.06.-12.06.2022	

Студент гр ЕТдн-84п \_\_\_\_\_

Свистун Д.Р.

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Лебединський І.Л.

## РЕФЕРАТ

с. 69, рис. 13, табл. 25, кресл. 2.

Бібліографічний опис: **“Розрахунок параметрів обладнання електричної мережі та визначення зон захисту блискавковідводів відкритого розподільного пристрою”** [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”; Освітня програма – “Електротехнічні системи електроспоживання” / Свистун Д.Р. ; керівник І. Л. Лебединський. - Суми: СумДУ, 2022. - 69 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. Розрахунок зони захисту блискавковідводів ВРП.

## 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
- ТВЕ – технологічні витрати електроенергії
- ЛЕП – лінії електропередач
- МСЗ – максимальний струмовий захист
- ВРП – відкритий розподільчий пристрій

## Зміст

	Вступ.....		8
1	Розрахунок режиму роботи замкненого кола та вибір параметрів ліній і трансформаторів підстанцій.....		10
1.1	Вибір напруг ліній.....		10
1.2	Розрахунок потужностей трансформаторів підстанцій.....		13
1.3	Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням трансформаторів.....		16
1.4	Розрахунок потужностей на ділянках мережі з урахуванням втрат потужності в трансформаторах.....		19
1.5	Визначення напруг в вузлах навантаження.....		20
2	Розрахунок електричної частини підстанції .....		23
2.1	Вихідні дані.....		23
2.2	Вибір головної схеми електричних з'єднань підстанцій.....		23
2.3	Вибір трансформаторів власних потреб .....		24
2.4	Розрахунок струмів короткого замикання .....		26
2.5	Вибір високовольтних електричних апаратів РП і струмоведучих частин.....		28
2.6	Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги .....		32
2.7	Вибір ошиновки розподільних пристроїв.....		38
2.8	Компонування розподільних пристроїв 110 кВ і конструкційна частина		40
2.8	Компонування розподільних пристроїв 10 кВ і конструкційна частина		41
2.10	Заземлюючі пристрої ПС .....		42
3	Розрахунок релейного захисту трансформатора .....		43
3.1	Призначення і область застосування захисту типу ДЗС-21.....		43
3.2	Технічні дані трансформатора, що захищається.....		44

					БР.5.6.141.120. ПЗ ЕТ			
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Свистун			“Розрахунок параметрів обладнання електричної мережі та визначення зон захисту блискавковідводів відкритого розподільного пристрою ”	Н	6	69
Перев.		Лебединський				СумДУ ЕТдн-84п		
Нач.бюро								
Н. контр.								
Затв.		Лебединський						







- розрахунок електромагнітних перехідних процесів в мережі (розраховується симетричне коротке замикання на шинах вищої напруги підстанції);
- розрахунок релейного захисту трансформатора
- розрахунок зони захисту блискавковідводів ВРП-110 кВ

					БР.5.6.141.120. ПЗ ЕТ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

# 1 Розрахунок режимів роботи ліній і трансформаторів підстанцій

Вихідні дані

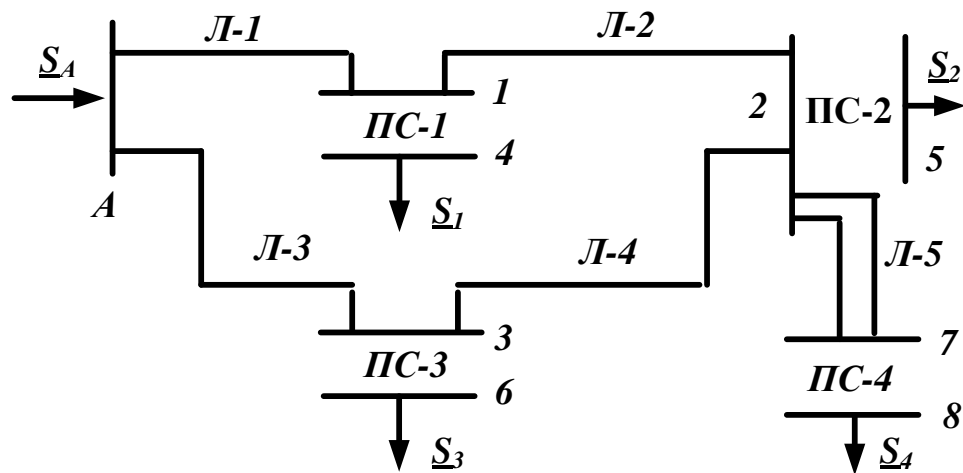


Рисунок 1.1 – Однолінійна електрична схема заданої електричної мережі

На рисунку 1.1 представлена схема з'єднань заданої електричної мережі.

Дана мережа живиться від джерела напруги А.

Таблиця 1.1 - Вихідні дані до схеми

Довжина ПЛ, км					Потужності завантажень вузлів, МВА			
Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	$\underline{S}_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
20	40	30	20	20	$\frac{30+j18}{I}$	$\frac{40+j30}{II}$	$\frac{28+j17}{II}$	$\frac{10+j8}{II}$

## 1.1 Вибір напруг ліній

Приймемо навантаження вузла 2 рівним навантаженню вузла 5, вузла 1 рівним навантаженню вузла 4, а навантаження вузла 3 рівним навантаженню вузлів 8 і 4.

Визначимо розрахункові навантаження вузлів електричної мережі [1]:

$$\underline{S}_{1P} = \underline{S}_1 = 28 + j17 \text{ МВА};$$

					БР.5.6.141.120.ПЗ.ЕТ		
Вим	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Свистун				Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Лебединський				Н	10	69
Нач.бюро					СумДУ ЕТДН-84п		
Н. контр.							
Затв.	Лебединський						

“Розрахунок параметрів ліній і трансформаторів підстанцій”

$$\underline{S}_{2P} = \underline{S}_2 + \underline{S}_4 = 50 + j38 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{3P} = \underline{S}_3 = 28 + j17 \text{ МВА};$$

Зобразимо замкнуту мережу, що складається з ліній Л-1, Л-2, Л-3, Л-4 (рисунок 1.2).

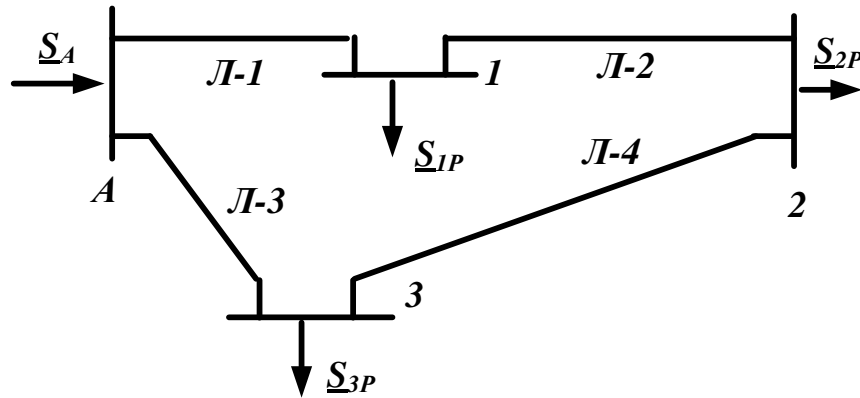


Рисунок 1.2 – Замкнута мережа

Розімкнемо замкнуту мережу, наведену на рисунку 1.2, за джерелом живлення А (рисунок 1.3), позначимо потужності на ділянці мережі. А' - А''

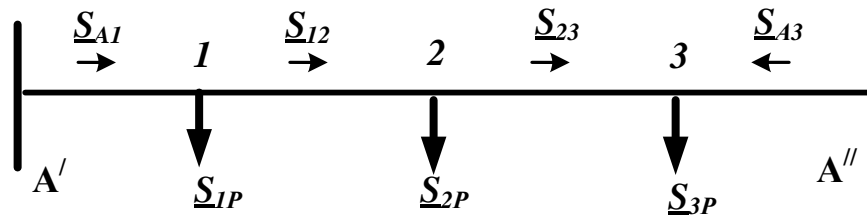


Рисунок 1.3 – Розімкнута мережа

Визначаємо потужності на ділянках розімкнутої мережі:

$$\underline{S}_{A1} = \frac{\underline{S}_{1P} \cdot (l_{12} + l_{32} + l_{A3}) + \underline{S}_{2P} \cdot (l_{23} + l_{A3}) + \underline{S}_{3P} \cdot l_{A3}}{l_{A1} + l_{32} + l_{12} + l_{A3}} = 54,9 + j36,62 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{12} = \underline{S}_{A1} - \underline{S}_{1P} = 25 + j18,62 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_{12} - \underline{S}_{2P} = -25,3 - j19,38 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{A3} = \frac{\underline{S}_{3P} \cdot (l_{12} + l_{32} + l_{A1}) + \underline{S}_{2P} \cdot (l_{21} + l_{A1}) + \underline{S}_{1P} \cdot l_{A1}}{l_{A1} + l_{32} + l_{12} + l_{A3}} = 53,1 + j36,38 \text{ МВА}$$

Складемо рівняння балансу потужності:

$$\underline{S}_{A1} + \underline{S}_{A3} = \underline{S}_{1P} + \underline{S}_{2P} + \underline{S}_{3P}$$

$$108 + j73 = 108 + j73$$

Визначимо напруги на ділянках замкнутої мережі (рисунок 1.2) [2].

$$U_L = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_L}}}$$

Таблиця 1.2 – Напруги на ділянках мережі

Номер ділянки	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4
Довжина ділянки, км	10	40	30	20
Напруга ділянки, кВ	<b>119</b>	<b>94</b>	<b>125</b>	<b>89</b>

Приймаємо напругу в замкнутій мережі 110 кВ.

Визначаємо струми проводів ліній:

$$I = \frac{S_L}{\sqrt{3}U_L}$$

Таблиця 1.3 – Струми на ділянках мережі

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4
Струм, кА	0,347	0,163	0,338	0,167

Вибираємо марки проводів [3]:

Таблиця 1.4 – Марка проводів

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3
Марка і переріз проводу	АС-120/19	АС-120/19	АС-120/19

Таблиця 1.5 – Технічні дані проводу АС-120/19

Переріз проводу, мм <sup>2</sup>	Тривалий допустимий струм, А	Діаметр проводу, мм	r <sub>0</sub> , Ом/км, при +20° С	110 кВ	
				x <sub>0</sub> , Ом/км	b <sub>0</sub> , 10 <sup>-6</sup> См/км
120/19	390	14,4	0,244	0,427	2,66

## 1.2 Розрахунок потужностей трансформаторів підстанцій

### Підстанція ПС-1

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

Потужність одного трансформатора ПС-1 визначається наступною формулою:

$$S_{T1} = \frac{S_1}{1,4} = \frac{\sqrt{30^2 + 18^2}}{1,4} = 25 \text{ МВА}$$

Вибираємо трансформатор ТРДН--25000/110 [3] по напрузі мережі і розрахунковій потужності.

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$K_{зав} = \frac{S_1}{2 \cdot S_{T1}} = \frac{\sqrt{30^2 + 18^2}}{2 \cdot 25} = 0,7$$

Так як коефіцієнт завантаження менший 0,7, то два паралельно працюючих трансформатори ТРДН--25000/110 задовольняють вимоги, що пред'являються.

Таблиця 1.6 – Технічні дані трансформатора ТРДН--25000/110 [5]

Межі регулювання	Каталожні дані					Розрахункові дані			
	Уном обмоток, кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	P <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> , Ом	X <sub>т</sub> , Ом	ΔQ <sub>х</sub> , кВАр
	ВН	НН							
±9*1,78%	115	6,3/6,5; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	120	27	0,7	2,54	55,9	175

### Підстанція ПС-2

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

Потужність одного трансформатора ПС-2 визначається наступною формулою:

$$S_{T2} = \frac{S_2}{1,4} = \frac{\sqrt{40^2 + 30^2}}{1,4} = 35,69 \text{ МВА}$$

Вибираємо триобмотковий трансформатор ТРДН-40000/110 [4] по напрузі мережі і розрахунковій потужності.

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$K_{3AB} = \frac{S_2}{2 \cdot S_{T2}} = \frac{\sqrt{40^2 + 30^2}}{2 \cdot 40} = 0,63$$

Так як коефіцієнт завантаження менший 0,7, то два паралельно працюючих трансформатори ТРДН -40000/110 задовольняють вимоги, що пред'являються.

Таблиця 1.7 – Технічні дані трансформатора ТРДН -40000/110 [5]

Каталожные данные					Расчетные данные			
U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , МВт	I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> , Ом	X <sub>т</sub> , Ом	ΔQ <sub>х</sub> , МВАр
ВН	НН							
115	6,3/6,5; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	172	36	0,65	1,4	34,7	260

### Підстанція ПС-3

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

Потужність одного трансформатора ПС-3 визначається наступною формулою:

$$S_{T3} = \frac{S_3}{1,4} = \frac{\sqrt{28^2 + 17^2}}{1,4} = 23,4 \text{ МВА}$$

Вибираємо трансформатор ТРДН--25000/110 [3] по напрузі мережі і розрахунковій потужності.

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$K_{3AB} = \frac{S_3}{2 \cdot S_{T3}} = \frac{\sqrt{28^2 + 17^2}}{2 \cdot 25} = 0,66$$

Так як коефіцієнт завантаження менший 0,7, то два паралельно працюючих трансформатори ТРДН--25000/110 задовольняють вимоги, що пред'являються.

Таблиця 1.8 – Технічні дані трансформатора ТРДН--25000/110 [5]

Межі регулювання	Каталожні дані					Розрахункові дані			
	U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	P <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> , Ом	X <sub>т</sub> , Ом	ΔQ <sub>х</sub> , кВАр
	ВН	НН							
±9*1,78%	115	6,3/6,5; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	120	27	0,7	2,54	55,9	175

Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

БР.5.6.141.120.ПЗ.ЕТ

Арк.

14



### 1.3 Розрахунок навантажень вузлів з урахуванням трансформаторів

#### Підстанція ПС-1

Визначаємо розрахункову потужність у вузлі 1 з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів при максимальному навантаженні [6].

Зображуємо схему заміщення двох двообмоткових трансформаторів.

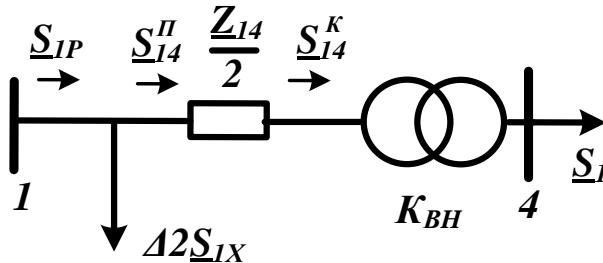


Рисунок 1.4 – Схема заміщення підстанції ПС-1

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{14}^K$ :

$$\underline{S}_{14}^K = \underline{S}_1 = 30 + j18 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{14}^II$ :

$$\underline{S}_{14}^II = \underline{S}_{14}^K + \frac{(P_{14}^K)^2 + (Q_{14}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{14}}{2} = 30,1 + j20,82 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{1P}$ :

$$\underline{S}_{1P} = \underline{S}_{14}^II + 2\Delta S_{IX} = 30,18 + j21,18 \text{ МВА}$$

#### Підстанція ПС-4

Визначаємо розрахункову потужність у вузлі 7 з урахуванням втрат потужності в обмотках трансформаторів при максимальному навантаженні.

Зображуємо схему заміщення двообмоткових трансформаторів (рис 1.5) [6].

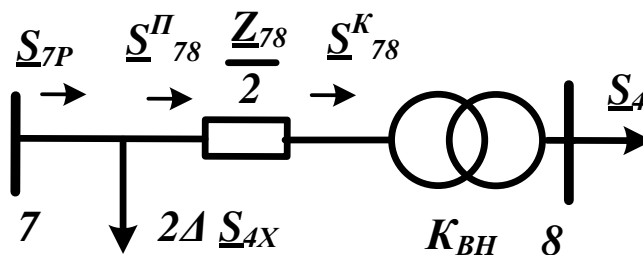




Рисунок 1.5 – Схема заміщення підстанції ПС-4

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{78}^K$  :

$$\underline{S}_{78}^K = \underline{S}_4 = 10 + j8 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{78}^{\Pi}$  :

$$\underline{S}_{78}^{\Pi} = \underline{S}_{78}^K + \frac{(P_{78}^K)^2 + (Q_{78}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{78}}{2} = 10,05 + j8,94 \text{ МВА}$$

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

$$\underline{S}_{7P} = \underline{S}_{78}^{\Pi} + 2\Delta\underline{S}_{4X} = 10,08 + j9,08 \text{ МВА}$$

### Розрахунок лінії Л-5

Зображуємо схему заміщення лінії Л-5

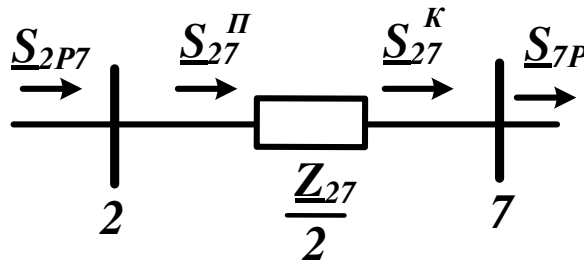


Рисунок 1.5 – Схема заміщення лінії Л-5

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{72}^K$  :

$$\underline{S}_{27}^K = \underline{S}_{7P} = 10,08 + j9,08 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{27}^{\Pi}$  :

$$\underline{S}_{27}^{\Pi} = \underline{S}_{27}^K + \frac{(P_{27}^K)^2 + (Q_{27}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{27}}{2} = 10,12 + j9,15 \text{ МВА}$$

### Підстанція ПС-2

Визначаємо розрахункову потужність у вузлі 2 з урахуванням втрат потужності в обмотках трансформаторів при максимальному навантаженні.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

Зображуємо схему заміщення двообмоткових трансформаторів (рис 1.6) [6].

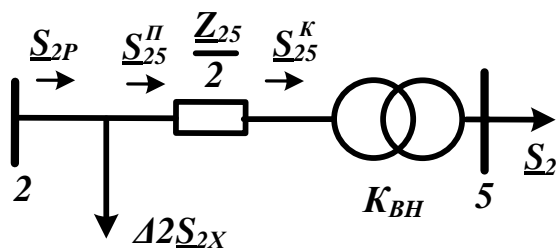


Рисунок 1.6 – Схема заміщення підстанції ПС-2

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{25}^K$ :

$$\underline{S}_{25}^K = \underline{S}_2 = 40 + j30 \text{ МВА}$$

Визначаємо потужність  $\underline{S}_{25}^H$ :

$$\underline{S}_{25}^H = \underline{S}_{25}^K + \frac{(P_{25}^K)^2 + (Q_{25}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{25}}{2} = 40,14 + j33,58 \text{ МВА}$$

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

$$\underline{S}_{2P} = \underline{S}_{25}^H + 2\Delta\underline{S}_{2X} + \underline{S}_{27}^H = 50,34 + j44,05 \text{ МВА}$$

### Підстанція ПС-3

Визначаємо розрахункову потужність у вузлі 3 з урахуванням втрат потужності в обмотках трансформаторів при максимальному навантаженні.

Зображуємо схему заміщення двообмоткових трансформаторів (рис 1.7) [6].

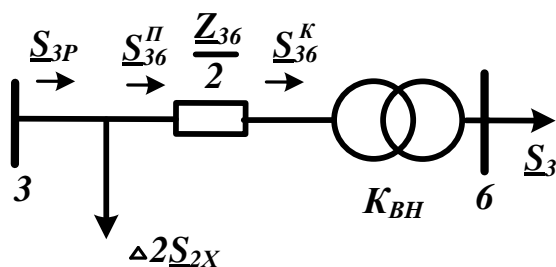


Рисунок 1.7 – Схема заміщення підстанції ПС-3

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

$$\underline{S}_{36}^K = \underline{S}_3 = 28 + j17 \text{ МВА}$$

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

$$\underline{S}_{36}^{\Pi} = \underline{S}_{36}^K + \frac{(P_{36}^K)^2 + (Q_{36}^K)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{36}}{2} = 28,1 + j19,48 \text{ МВА}$$

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

$$\underline{S}_{3P}^T = \underline{S}_{36}^{\Pi} + 2\Delta S_{3X} = 28,172 + j20,82 \text{ МВА}$$

#### 1.4 Розрахунок потужностей на ділянках замкнутої мережі з урахуванням втрат потужності в трансформаторах

$$\underline{S}_{A1} = \frac{\underline{S}_{1P} \cdot (l_{12} + l_{32} + l_{A3}) + \underline{S}_{2P} \cdot (l_{23} + l_{A3}) + \underline{S}_{3P} \cdot l_{A3}}{l_{A1} + l_{32} + l_{12} + l_{A3}} = 55,27 + j43,03 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{12} = \underline{S}_{A1} - \underline{S}_{1P} = 25,06 + j21,8621 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_{12} - \underline{S}_{2P} = -25,26 - j22,2 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{A3} = \frac{\underline{S}_{3P} \cdot (l_{12} + l_{32} + l_{A1}) + \underline{S}_{2P} \cdot (l_{21} + l_{A1}) + \underline{S}_{1P} \cdot l_{A1}}{l_{A1} + l_{32} + l_{12} + l_{A3}} = 55,62 + j43,05 \text{ МВА}$$

Складемо рівняння балансу потужності [7]:

$$\underline{S}_{A1} + \underline{S}_{A3} = \underline{S}_{1P} + \underline{S}_{2P} + \underline{S}_{3P}$$

$$108,685 + j86 = 108,685 + j86$$

Баланс потужності зійшовся.

Потужність ділянки 2-3 вийшла негативною, тому точка 2 є точкою поточкорозподілу

Складемо розрахункову розімкнену схему заміщення мережі

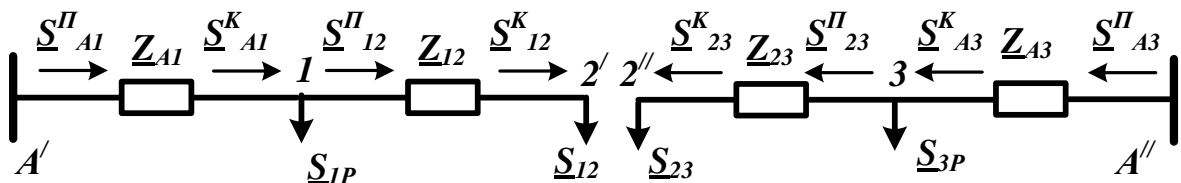


Рисунок 1.8 – Розімкнута мережа

Визначимо поточкорозподіл в двох схемах заміщення, наведених на рисунку

1.8. Знайдемо потужність джерела  $\underline{S}_A$ :



$$U_3 = U_A - \frac{P_{A3}'' R_{A3} + Q_{A3}'' X_{A3}}{U_A} = 112 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 2'':

$$U_2'' = U_3 - \frac{P_{32}'' R_{32} + Q_{32}'' X_{32}}{U_3} = 109,5 \text{ кВ}$$

Визначимо напругу вузла 7:

$$U_7 = U_2 - \frac{P_{72}'' R_{72} + Q_{72}'' X_{72}}{U_2} = 109 \text{ кВ}$$

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

ПС-1

$$U_4^B = U_1 - \frac{P_{14}'' \frac{R_{14}}{2} + Q_{14}'' \frac{X_{14}}{2}}{U_1} = 109,87 \text{ кВ}$$

ПС-2

$$U_5^B = U_2 - \frac{P_{25}'' \frac{R_{25}}{2} + Q_{25}'' \frac{X_{25}}{2}}{U_2} = 104,345 \text{ кВ}$$

ПС-3

$$U_6^B = U_3 - \frac{P_{36}'' R_{36} \cdot 0,5 + Q_{36}'' X_{36} \cdot 0,5}{U_3} = 107,22 \text{ кВ}$$

ПС-4

$$U_8^B = U_7 - \frac{P_{87}'' R_{87} \cdot 0,5 + Q_{87}'' X_{87} \cdot 0,5}{U_7} = 103 \text{ кВ}$$

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

ПС-1

$$U_4 = \frac{U_4^B}{\frac{U_B}{U_H}} = 10,04 \text{ кВ}$$

ПС-2

$$U_5 = \frac{U_5^B}{\frac{U_B}{U_H}} = 9,52 \text{ кВ}$$

ПС-3

$$U_6 = \frac{U_6^B}{\frac{U_B}{U_H}} = 9,7943 \text{ кВ}$$

ПС-4

$$U_8 = \frac{U_8^B}{\frac{U_B}{U_H}} = 9,84 \text{ кВ}$$

					БР.5.6.141.120.ПЗ.ЕТ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 2. Розрахунок електричної частини підстанції

### 2.1. Вихідні дані

Тип трансформатора	ТРДН-40000/110
Потужність трансформатора	S=40 МВА
Напруга	U=110 кВ
Опір трансформатора	X=34,7 Ом
Опір лінії 1-2	X <sub>12</sub> = 17,081 Ом
Опір лінії 3-2	X <sub>23</sub> = 8,54 Ом
Потужність системи	S <sub>C</sub> = 500 МВА

### 2.2 Вибір головної схеми електричних з'єднань підстанцій

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.

					БР.5.6.141.120. ПЗ ЕТ			
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Свистун				<b>Розрахунок електричної частини підстанції</b>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Лебединський					Н	23	69
Нач.бюро						СумДУ ЕТдн-84п		
Н. контр.								
Затв.	Лебединський							

### 2.3 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;

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

Оскільки  $S_{СН} = 17,7$  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. Остаточо для живлення споживачів власних потреб приймаємо два трансформатори ТМ-40/10.

					БР.5.6.141.120. ПЗ ЕТ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

## 2.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору обладнання на стороні 110 кВ і 10 кВ. Підстанція живиться за двома тупиковими лініями. Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 2.1.

Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центру живлення складає  $S_C = 500$  МВА.

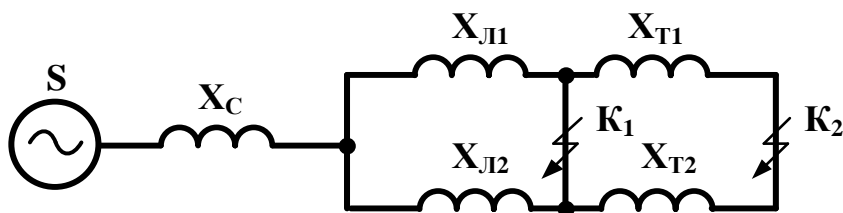


Рисунок 2.1 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Опір системи дорівнює:

$$X_C = \frac{U_L^2}{S_C} = \frac{110^2}{500} = 24,2 \text{ Ом}$$

Періодична складова СКЗ в точці  $K_1$ :

$$I_{K(1)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{L2})} = 1,54 \text{ кА.}$$

$$I_{K(2)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{T2})} = 1,94 \text{ кА.}$$

$$I_{K1} = I_{K(1)} + I_{K(2)} = 3,48 \text{ кА.}$$

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

$$I_{K2(1)}^B = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{T2} + X_T)} = 0,84 \text{ кА}$$

$$I_{K2(2)}^B = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{L2} + X_T)} = 0,94 \text{ кА}$$

Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------



для сторони НН (точка К<sub>2</sub>):

$$B_R = I_{K2}^2 \cdot (t + Ta) = 57 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Результати розрахунку зведені в табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку

Струми короткого замикання	СКЗ в поч. момент часу кА	Ударний СКЗ $i_y$ , кА	СКЗ в момент розмикання контактів вимикача, кА	Аперіодич. складова СКЗ, $i_a$ кА	Інтеграл Джоуля $B_k$ , кА <sup>2</sup> с
Шини 110 кВ К <sub>1</sub>	<b>3,48</b>	<b>7,91</b>	<b>3,48</b>	<b>0,44</b>	<b>1,031</b>
Шини 10 кВ К <sub>2</sub>	<b>19,49</b>	<b>44,25</b>	<b>19,49</b>	<b>3,71</b>	<b>56,99</b>

## 2.5 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:

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

Вибору підлягають:

- вимикачі на боці високої напруги;
- вступні вимикачі на боці 10 кВ;
- секційні вимикачі на боці 10 кВ;
- вимикачі ліній, що відходять 10 кВ;

роз'єднувачі високої напруги;  
трансформатори струму і напруги 110 і 10 кВ;  
ошиновка розподільних пристроїв 110 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:

$$I_{110.макс} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 294 \text{ А}$$

Струм в колі ввідних вимикачів на стороні 10 кВ:

$$I_{10}^{вим} = \frac{1,4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot 2} = \frac{1,4 \cdot 40000}{1,73 \cdot 10 \cdot 2} = 1618 \text{ А}.$$

Струм в колі секційного вимикача:

$$I_{10}^{с.в} = \frac{0,7 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{0,7 \cdot 4000}{1,73 \cdot 10} = 1618 \text{ А}.$$

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

$$I_{10}^{відх} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 163,41 \text{ А}.$$

на стороні вищої напруги рекомендується установка елегазових вимикачів типу 100SFMT63SF.

$U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}$ ,  $I_{НОМ} = 1200 \text{ А}$ ,  $I_{НОМ.ВІД} = 63 \text{ кА}$ ,

$I_{СКВ.Пр.} = 63 \text{ кА}$ ,  $I_{СКВ} = 102 \text{ кА}$ ,  $I_T = 63 \text{ кА}$ ,

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

$I_{а ном.} = 1,4 \cdot \beta_H \cdot I_{НОМ.ВІДК.}/100 = 1,41 \cdot 36 \cdot 63/100 = 32 \text{ кА}$ ,

$I_T^2 \cdot t_y = 443 \cdot 0,07 = 31 \text{ кА}^2\text{с.}$

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

Подальший вибір вимикачів і роз'єднувачів наведено в таблицях.

									Арк.
									29
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.6.141.120. ПЗ ЕТ				

Таблиця 2.3 - Вибір вимикача на стороні 110 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	294 А	1200 А
$I_{по} \leq I_{прСКЗ}$	3,48 кА	63 кА
$I_{уд} \leq I_{СКЗ}$	7,91 кА	102 кА
$I_{нт} \leq I_{викл.Ном}$	3,48 кА	63 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	0,44 кА	32 кА
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	1,031 кА <sup>2</sup> с	31,5 кА <sup>2</sup> с

Обраний вимикач повинен повністю задовольняти умовам вибору.

На стороні низької напруги рекомендується обирати вакуумні вимикачі.

$t$  – розрахунковий час розмикання 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 дуття. 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
$I_{розр} \leq I_{ном}$	1618 А	3150 А
$I_{по} \leq I_{прСКЗ}$	19,49 кА	80 кА
$I_{уд2} \leq I_{СКВ}$	44,25 кА	74,6 кА
$I_{нт} \leq I_{викл.ном}$	19,49 кА	31,5 кА

$I_{a\tau} \leq I_{aном}$	3,71 кА	8,83 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	56,99 кА <sup>2</sup> с	81 кА <sup>2</sup> с

Вибираємо МГГ-10-4000-45УЗ [20]

$$t_{\text{Відк}} = 0,04 \text{ сек, } \beta_H = 20 \text{ \%}$$

$$I_{a \text{ ном.}} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{\text{ном.відк.}} / 100 = 1,41 \cdot 20 \cdot 31,5 / 100 = 8,83 \text{ кА,}$$

$$I_T^2 \cdot t_y = 45^2 \cdot 0,04 = 81 \text{ кА}^2\text{с.}$$

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 затухання дуги на розриві, шунтованому резистором, інший розрив відключає супроводжуючий струм, обмежений цим резистором.

Таблиця 2.5 – Вибір секційного вимикача на стороні 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	1618 А	3150 А
$I_{по} \leq I_{прСКЗ}$	19,49 кА	80 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	44,25 кА	74,6 кА
$I_{пт} \leq I_{викл.ном}$	19,49 кА	31,5 кА
$I_{a\tau} \leq I_{aном}$	3,71 кА	8,83 кА
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	56,99 кА <sup>2</sup> с	81 кА <sup>2</sup> с

Обрано вимикач МГТ –10 –4000 – 45У3

У таблиці 2.6 наведено вибір роз'єднувачів на стороні 110 кВ. Роз'єднувачі необхідні з одним і двома комплектами заземлюючих ножів.

Таблиця 2.6 - Вибір роз'єднувачів 110 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	294 А	1000 А
$i_{y0} \leq I_{пр.СКВ}$	7,91 кА	80 кА
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	1,031 кА <sup>2</sup> с	2927 кА <sup>2</sup> с

Рекомендується прийняти до установки на стороні 110 кВ роз'єднувачі типу РДЗ-110/1000 НУХЛ1.

$$U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}, I_{НОМ} = 1000 \text{ А},$$

$$I_{СКВ.Пр.} = 80 \text{ кА},$$

$$I_{Тг} = 31,5 \text{ кА}, t_{ТЕРг} = 3 \text{ сек.}$$

$$I_{Тз} = 31,5 \text{ кА}, t_{ТЕРз} = 1 \text{ сек.}$$

$$I_T^2 \cdot t_y = 31,2^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}^2\text{с.}$$

$$I_T^2 \cdot t_y = 31,2^2 \cdot 1 = 992 \text{ кА}^2\text{с.}$$

## 2.6 Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги

Для підключення приладів і пристроїв релейного захисту необхідна установка трансформаторів струму і напруги. У цій роботі 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 шинах 110 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.

Трансформатори напруги також вибираємо відповідно до вимірювальних приладів і реле, що підлягають приєднанню до них. Далі підраховується очікуване навантаження і перевіряється похибка. У нормальному режимі навантаження трансформатора визначається споживанням приєднаних приладів і реле. За цих умов визначається, в якому класі і з якою похибкою працюватимуть трансформатори. Опір проводів від трансформатора напруги до приладів не враховується. Але згідно з ПУЕ втрати напруги лічильником не повинні перевищувати 0,5 %, а в проводах щитка – 3 %. З умов міцності переріз мідних проводів повинен бути не менше 1,5 мм<sup>2</sup>, а алюмінієвих – не менше 2,5 мм<sup>2</sup>.

Вторинне навантаження трансформаторів напруги наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Вторинне навантаження трансформатора напруги

№ з/п	Прилад	Клас	Споживана потужність, Вт
1	Ватметр	Д-305	2
2	Варметр	Д-305	2
3	Ватметр реєструючий	Н-348	10
4	Варметр реєструючий	Н-348	10
5	Лічильник ватгодин	І-675	3
6	Лічильник ватгодин реактивний	І-673	3
7	Вольтметр	Э-378	2
8	Частотомір	Э-371	3

Коефіцієнт потужності перерахованих приладів дорівнює 1. Відстань від трансформаторів, встановлених в РП, до щита управління приймаємо 50 мм.

Вторинні проводи проектуємо алюмінієвими.

Для установки вибираємо трифазні трансформатори НТМИ-10-66.

Таблиця 2.8 - 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 2.9 - Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на стороні вищої напруги.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	294 А	1000 А
$i_{уд} \leq I_{пр.СКВ}$	7,91 кА	62-124 кА
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	1,031 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 елегазові з порцелянової ізоляцією ТОГФ–110 (УХЛ1)  
[20]

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів:

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

Тоді опір вимірювальних проводів може бути:

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_{\text{к}},$$

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

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

$Z_{\text{к}}$  – опір контактів, Ом.

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

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

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

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

$F$  – переріз жил, мм<sup>2</sup>,

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

Загальний опір кола струму:

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

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

Трансформатор струму ТОГФ–110(УХЛ1) відповідає умовам вибору.

									Арк.
									35
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.6.141.120. ПЗ ЕТ				

Таблиця 2.10 – 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
$I_{розр} \leq I_{ном}$	1618 А	8000 А
$i_{y\delta} \leq I_{пр.СКВ}$	44,25 кА	—
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	56,99 кА <sup>2</sup> с	625 кА <sup>2</sup> с
$Z_H \leq Z_{н.ном}$	1,25 Ом	4 Ом

Обрано трансформатор струму ТВ –10–ІV.

Таблиця 2.11 - Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	1,618 кА	8000 кА
$i_{y\delta} \leq I_{пр.СКВ}$	44,25 кА	74,6 кА
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r$	56,99 кА <sup>2</sup> с	625 кА <sup>2</sup> с
$Z_H \leq Z_{н.ном}$	1,25 Ом	4 Ом

Приймається до установки трансформатор струму TV–10–ІV.

В якості трансформаторів напруги вибираємо на стороні 110 кВ трансформатори ТОГФ–110 (УХЛ1), на стороні 10 кВ - TV–10–ІV. Їх характеристики наведені в таблиці 2.12

Таблиця 2.12 – Характеристики вибраних трансформаторів напруги

Тип	Номинальна напруга обмотки			Номинальна потужність, В · А, в класі точності				Максимальна потужність, В·А
	первинної, кВ	основної вторинної, В	додаткової, В	0,2	0,5	1	3	
ТВ–10–IV	$\frac{6}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	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
ТОГФ–110	$\frac{220}{\sqrt{3}}$	$\frac{220}{\sqrt{3}}$	100:3	—	400	600	1200	2000





## 2.8 Компонування розподільних пристроїв 110 кВ і конструкційна частина

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

Спорудження закритих ПС напругою 110 кВ допускається в наступних випадках: розташування ПС з трансформаторами 16 МВА і вище на службовій території міст, розташування ПС на території міст, коли це допускається містобудівними міркуваннями.

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

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

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 110 кВ і вище приймають при техніко-економічному обґрунтуванні при обмежених умовах, а також в районах із забрудненою атмосферою. Трансформатори 110 кВ слід встановлювати відкритими, а в районах із забрудненою атмосферою - з посиленою ізоляцією. В ЗРП 110 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.

										Арк.
										40
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.6.141.120. ПЗ ЕТ					



## 2.9 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.
									41
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.6.141.120. ПЗ ЕТ				

## 2.10 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.5.6.141.120. ПЗ ЕТ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

### 3 Розрахунок релейного захисту

#### 3.1 Призначення і область застосування захисту типу ДЗС-21

Диференційний захист типу ДЗС-21 (ДЗС-23) призначений для використання в якості основного захисту силових трансформаторів, автотрансформаторів і блоків генератор-трансформатор, генератор-автотрансформатор при всіх видах КЗ [11].

Виконання захисту трифазне із загальним виходом трьох фаз у ДЗС-21 і пофазним виходом у ДЗС-23, що дозволяє його використання в якості основного захисту групи однофазних силових трансформаторів або автотрансформаторів.

Використання в захисті нових принципів налагодження від кидків намагнічувального струму силових трансформаторів (автотрансформаторів) і перехідних струмів небалансу в поєднанні з використанням гальмування від струмів плечей захисту для налагодження від сталих і перехідних струмів небалансу дозволяє знизити мінімальну уставку по струму спрацьовування захисту до  $0,3 \cdot I_{НОМ}$  трансформатора [11].

Використання напівпровідникової елементної бази дозволило крім збільшення чутливості в ряді випадків зменшити споживану захистом потужність колами змінного і постійного струму і підвищити швидкодію в порівнянні з диференційними захистами на електромеханічних реле типів РНС-560 і ДЗС-11.

Спеціальне виконання вхідних кіл по змінному струму забезпечує правильну роботу захисту при похибці трансформаторів струму до 40 %. З урахуванням низької споживаної потужності в колах змінного струму це може при необхідності полегшити вибір трансформаторів струму для диференційного захисту типу ДЗС-21 (ДЗС-23) за кривими граничної кратності.

Захист типу ДЗС-21 призначений для роботи при живленні від мережі постійного оперативного струму напругою 220 або 110 В і від блоків живлення з номінальною вихідною напругою випрямленого струму 110 кВ.

					БР.5.6.141.120.ПЗ.ЕТ			
Вим	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Свистун			“Розрахунок релейного захисту”	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Лебединський				Н	43	69
Нач.бюро						СумДУ ЕТДн-84п		
Н. контр.								
Затв.		Лебединський						

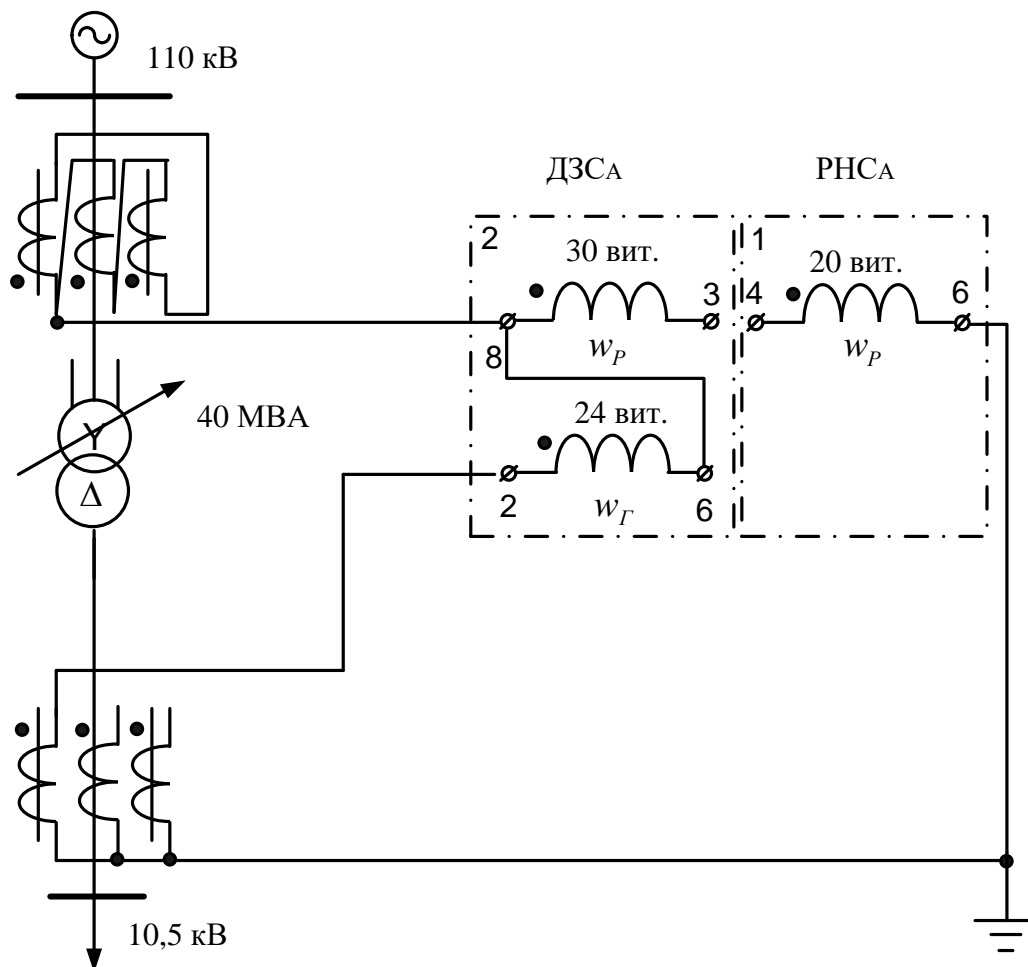


Рисунок 3.1– Принципова схема включення реле ДЗС-21

### 3.2 Технічні дані трансформатора, що захищається

Трансформатор силовий двообмотковий з розщепленою обмоткою низької напруги типу ТРДН-40000/110 призначений для зв'язку електричних мереж напругою 110 і 10 кВ.

Структура умовного позначення:

ТРДН-40000/110

Т – трансформатор;

Р – розщеплена обмотка;

Д – двообмотковий;

Н – з регулюванням напруги під навантаженням;

Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

БР.5.6.141.122.ПЗ.ЕТ

Арк.

44

40000 – номінальна потужність, кВ·А;

110 – клас напруги обмотки ВН, кВ;

Висота установки над рівнем моря не більше 1000 м. Температура навколишнього повітря від мінус –45 до +40°С.

Технічні характеристики трансформатора:

$$U_K = 10,5 \%,$$

$$\Delta P_K = 172 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_X = 36 \text{ кВт},$$

$$I_X = 0,65 \%,$$

$$U_B = 115 \text{ кВ},$$

$$U_H = 10,5 \text{ кВ},$$

$$\text{РПН} \pm 9 \times 1,78 \%,$$

$$K_3 = 0,63$$

### 3.3 Розрахунок диференційного струмового захисту трансформатора, виконаного з реле типу ДЗС-21

У цьому пункті дано розрахунок диференційного струмового захисту трансформатора ТРДН-40000/110 кВ потужністю 40 МВА. Трансформатор має вбудоване регулювання напруги під навантаженням (РПН) [12].

Опір трансформатора (таблиця 1.7) –  $R_T = 1,4 \text{ Ом}$ ,  $X_T = 34,7 \text{ Ом}$

$$R_{T1} = R_{T2} = 0,5 \cdot R_T = 0,7 \text{ Ом.}$$

$$X_{T1} = X_{T2} = 0,5 \cdot X_T = 17,35 \text{ Ом.}$$

$$X_{BH} = 0,125 \cdot X_T = 0,125 \cdot 17,35 = 2,17 \text{ Ом};$$

$$X_{HH} = 1,75 \cdot X_T = 1,75 \cdot 17,35 = 30,36 \text{ Ом}$$

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

$$U_{\text{макс.вн}} = 1,1 \cdot U_{\text{ном}} = 126,5 \text{ кВ},$$

$$U_{\text{мін.вн}} = 115 \cdot (1 - 0,16) = 96,577 \text{ кВ}$$

Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.5.6.141.122.ПЗ.ЕТ

Арк.

45

Для трансформаторів 110 кВ можна прийняти:

$$X_{T.МІН} = X_{T.НОМ} \cdot (1 - \Delta U)^2,$$

$$X_{T.МАКС} = X_{T.НОМ} \cdot (1 + \Delta U)^2,$$

$$X_{ВН.МІН} = 2,17 \cdot (1 - 0,16)^2 = 1,53 \text{ Ом},$$

$$X_{ВН.МАКС} = 2,17 \cdot (1 + 0,16)^2 = 2,919 \text{ Ом},$$

$$X_{НН.МІН} = 30,36 \cdot (1 - 0,16)^2 = 21,414 \text{ Ом},$$

$$X_{НН.МАКС} = 30,36 \cdot (1 + 0,16)^2 = 40,87 \text{ Ом}$$

Опір енергосистеми  $X_c = 14,23 \text{ Ом}$ .

Визначимо струм короткого замикання на шинах трансформатора:

$$I_{K.МАКС.ВН} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot (X_c + X_{ВН.МІН} + X_{НН.МІН})} = 1,71 \text{ кА}$$

$$I_{K.МАКС.НН} = I_{K.МАКС.ВН} \cdot \frac{U_{МАКС}}{U_{НН}} = 19,71 \text{ кА}$$

Мінімальне значення струмів КЗ:

Для цієї мережі  $U_{МАКС} = 121 \text{ кВ}$ , тоді:

$$I_{K.МІН.ВН} = \frac{U_{МАКС}}{2 \cdot (X_c + X_{ВН.МАКС} + X_{НН.МАКС})} = 1042,66 \text{ А}$$

$$I_{K.МІН.НН} = I_{K.МІН.ВН} \cdot \frac{U_{МАКС}}{U_{НН}} = 12,0152 \text{ кА}$$

Визначимо первинні номінальні струми:

$$I_{ВН.НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН.НОМ}} = 201,06 \text{ А}$$

$$I_{НН.НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН.НОМ}} = 2202,04 \text{ А}$$

Розрахунковим є реле типу ДЗС-21. Для нього струм спрацьовування захисту вибирається за умовами:

а) налагодження від кидка намагнічуючого струму:

$$I_{с.з} = k_{відс} \cdot I_{ном} = 1,5 \cdot 201,06 = 301,583 \text{ А}$$

Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

б) налагодження від струму небалансу при КЗ на ВН:

$$I_{к.мах}^{(3)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot (X_c + X_T)} = 2013 \text{ А}$$

$$I_{с.з} = k_3 \cdot (k_{від} \cdot \varepsilon + \Delta U) \cdot I_{к.мах}^{(3)} = 1,5(1,0 \cdot 0,1 + 0,16) \cdot 2013 = 785 \text{ А}$$

Струм спрацьовування захисту вибираємо рівним 785 А.

Далі розрахунок параметрів зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункові параметри

Найменування величини	Позначення і метод визначення	110 кВ	10 кВ
Первинний струм на сторонах трансформатора, що захищається, А	$I_{ном} = \frac{S_{ном.прох}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$	201	2202
Схема з'єднання трансформаторів струму	–	Δ	Y
Коефіцієнт схеми	$K_{сх}$	$\sqrt{3}$	1
Коефіцієнт трансформації трансформаторів струму	$K_I$	600/5	6000/5
Вторинний струм в плечах захисту, А	$I_{ном.В} = \frac{I_{ном} \cdot k_{сх}}{K_I}$	2,89	3,17

Вторинні струми:

$$I_{В.НОМ} = \frac{I_{НОМ} \cdot K_{СХ}}{K_I}$$

$$I_{В.НОМ_I} = \frac{201 \cdot \sqrt{3} \cdot 5}{600} = 2,89 \text{ А}, \quad I_{В.НОМ_{II}} = \frac{2202 \cdot \sqrt{3} \cdot 5}{6000} = 3,17 \text{ А}$$

Виберемо відгалуження трансформаторів струму. Дані розрахунку наведемо в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок трансформаторів струму

№ п/п	Найменування величини	Позначення і метод визначення	Числове значення для сторони	
			110 кВ	10 кВ
1	Номінальний струм прийнятого відгалуження трансформатора на основній стороні, А	$I_{\text{ВІДГ.НОМ.ОСН}} \leq I_{\text{НОМ.В.ОСН}}$	2,89	–
2	Розрахунковий струм відгалуження автотрансформаторів струму на неосновних сторонах, А	$I_{\text{ВІДГ.РОЗР.НЕОСН}} = I_{\text{НОМ.В.НЕОСН}} \frac{I_{\text{ВІД.НОМ.ОСН}}}{I_{\text{НОМ.В.ОСН}}}$	–	$3,5 \frac{4,6}{4,6} = 3,5$
3	Тип автотрансформаторів струму, які включаються в плече захисту	–	–	АТ-31
4	Номінальний струм використовуваного відгалуження автотрансформаторів струму, до якого підводяться вторинні струми в плечі захисту, А	–	–	3,6
5	Номер використовуваного відгалуження автотрансформаторів струму, до якого підводяться вторинні струми	–	–	1 – 9
6	Номер використовуваного відгалуження автотрансформаторів струму, до якого підключається реле	–	–	1 – 11



Продовження таблиці 3.2

7	Номінальний струм використовуваного відгалуження автотрансформаторів струму, до якого підключається реле	$I_{НОМ.ВІД_{ТАВ}}$	—	4,25
8	Номінальний струм прийнятого відгалуження трансреактора реле на неосновних сторонах, А	—	—	4,6
9	Номер використовуваного відгалуження трансреактора реле	—	7	5
10	Розрахунковий струм відгалуження проміжних трансформаторів струму кола гальмування реле, А	$I_{ВІД.ГАЛЬМ.НОМ}$	4,6	$\frac{3,5 \times 4,6}{3,6} = 4,47$
11	Номінальний струм прийнятого відгалуження приставки і проміжних трансформаторів струму, А	$I_{ВІД.ГАЛЬМ.НОМ}$	5	5
12	Номер використовуваного відгалуження приставки і проміжних трансформаторів струму реле	—	1	1

Визначаємо первинний гальмовий струм, відповідний початку гальмування [12]:

$$I_{гал.поч.п} = 1,2 \cdot I_{ном} \left( k_{струмII} \frac{I_{відг.гал.номII}}{I_{відг.гал.розрII}} \right) = 248,22 \text{ А}$$

де  $k_{струм.п} = I$  – коефіцієнт струморозподілу, для сторін II (10 кВ) в розглянутому режимі.

Визначаємо струм небалансу в режимі, відповідному початку гальмування:

$$I_{\text{нб.гальм.поч}} = \left( k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{одн}} \cdot \varepsilon + \Delta U \cdot k_{II} + \frac{I_{\text{відв.розр.II}} - I_{\text{відв.ном.II}}}{I_{\text{відв.розр.II}}} \right) I_{\text{гальм.поч}} = 148,524 \text{ A}$$

Визначимо первинний мінімальний струм спрацьовування захисту (його чутливого органу) за наступними умовами:

1) налагодження від розрахункового первинного струму небалансу в режимі, відповідному початку гальмування:

$$I_{\text{с.з.мін}} \geq k_{\text{від}} I_{\text{нб.гальм.поч}} = 222,786 \text{ A};$$

2) налагодження від кидка струму намагнічування:

$$I_{\text{с.з.мін}} = 0,3 I_{\text{ном}} = 60,32 \text{ A}$$

За розрахункове приймається більше з отриманих розрахункових значень:

$$I_{\text{с.з.мін}} = 222 \text{ A}$$

Розрахуємо відносний мінімальний струм спрацьовування реле (його чутливого органу) при відсутності гальмування. За розрахункову приймається сторона ВН.

$$I_{*с.р.мін} = \frac{I_{\text{с.з.мін}} \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{номII}}} k_{\text{сх}}}{K_I K_{TL} I_{\text{відв.номTAV}}} = 0,828$$

Знайдемо максимальний розрахунковий струм небалансу  $I_{\text{нб.розр}}$  при зовнішньому трифазному КЗ на стороні низької напруги:

Визначимо коефіцієнт гальмування захисту:

$$K_{\text{гальм}} = \frac{k_3 I_{*нб.розр} \frac{I_{\text{в.ном.осн}}}{I_{\text{відв.ном.осн}}} - I_{*ср.мін}}{0,5 \cdot \sum I_{*гальм.розр.n} \frac{I_{\text{відв.гал.розр.n}}}{I_{\text{відв.гальм.ном.n}}} - I_{*гальм.поч}} = 7,2$$

де  $I_{\text{в.ном.осн}}$ ,  $I_{\text{від.ном.осн}}$ ,  $I_{\text{від.галь.розр.n}}$ ,  $I_{\text{від.гальм.ном.n}}$  – значення струмів;

$I_{*гал.поч} = 0,6$  – відносний вторинний струм початку гальмування, оскільки гальмування здійснюється тільки від груп ТС на приймальних сторонах.



### 3.4 Захист від надструмів при зовнішніх КЗ (Максимальний струмовий захист)

Максимальний захист служить для відключення трансформатора при КЗ на збірних шинах або на приєднаннях, що відходять від них, якщо РЗ або вимикачі цих елементів відмовили в роботі. Одночасно РЗ від зовнішніх КЗ використовується і для захисту від пошкодження в трансформаторі. Однак за умовами селективності МСЗ повинен мати витримку часу і, отже, не може бути швидкодіючим. З цієї причини в якості основного РЗ від пошкоджень в трансформаторах він використовується лише на малопотужних трансформаторах. На трансформаторах, що мають спеціальний РЗ від внутрішніх пошкоджень, РЗ від зовнішніх КЗ служить резервом до цього захисту на випадок його відмови.

МСЗ може бути виконаний на базі мікропроцесорного пристрою релейного захисту, автоматики і управління приєднань УЗА-10А.2. Він призначений для використання в схемах релейного захисту та протиаварійної автоматики для захисту електричних машин, трансформаторів і ліній електропередачі при коротких замиканнях і перевантаженнях, а також для управління і телемеханіки приєднання. Пристрій УЗА10А.2 - живиться від джерела як постійного, так і змінного оперативного струму. Від кіл змінного струму виконується комбіноване живлення від струму і напруги і захист може працювати тільки від струму короткого замикання.

Робочий діапазон температур від  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  (розширений від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ ).

Функції пристрою:

- двофазний (трифазний) МСЗ (може бути замінений на захист від перевантаження);
- струмове відсічення 2 ступені: CO1, CO2;
- захист від замикань на землю (ЗНЗ);
- прискорення МСЗ при включенні вимикача;
- дистанційне включення і відключення вимикача;
- контроль і управління вимикачем;

Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.5.6.141.122.ПЗ.ЕТ

Арк.

52

- зовнішнє блокування захисту;
- пуск УРОВ;
- одноразове АПВ;
- вимір струмів фаз і струму ЗНЗ;
- запам'ятовування струму КЗ (на замовлення - 5 подій з фіксацією струму і часу КЗ);

									Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.6.141.122.ПЗ.ЕТ				53

#### 4 Розрахунок зони захисту блискавковідводів ВРП-110 кВ

Розрахувати зону захисту блискавковідводів ВРП – 110 кВ, встановлених на двох порталах рис. 4.1 (поз. 1 і 2 ) і двох блискавковідводів, що стоять окремо, указаних на рис. 4.1 (поз. 3 і 4) [20].

Накреслити горизонтальний перетин зони захисту блискавковідводів на висоті  $h_x$  та вертикальний перетин зони захисту блискавковідводів, розташованих по діагоналі ВРП.

Відстані між блискавковідводами  $L_1, L_2$  і  $L_3$  , висоти блискавковідводів  $h_1$  і  $h_2$ , а також імовірність прориву блискавки через границю зони захисту, наведені в табл. 1.

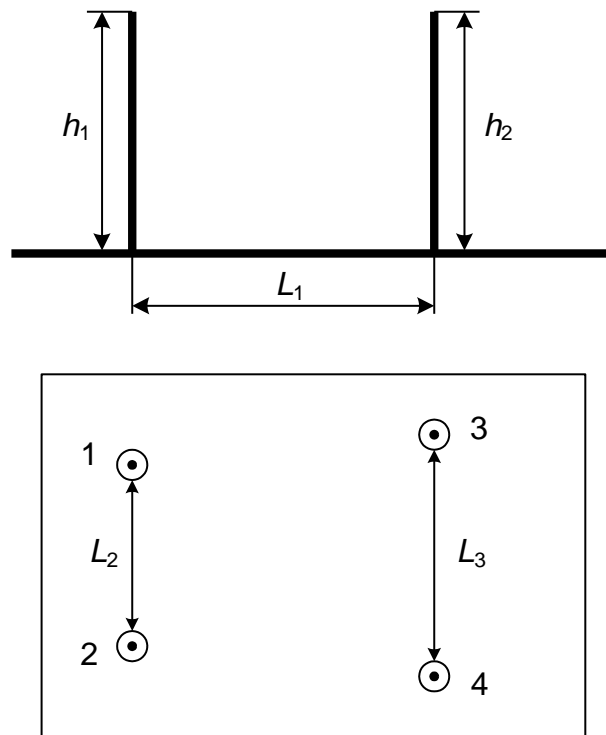


Рисунок 4.1 - Схема розміщення стрижневих блискавковідводів ВРП-110 кВ

					БР.5.6.141.120.ПЗ.ЕТ			
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок зони захисту блискавковідводів ВРП-110 кВ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Свистун					Н	54	69
Перев.	Лебединський					СумДУ ЕТДн-84п		
Нач.бюро								
Н. контр.								
Затв.	Лебединський							











$$r_{x4} = (1,1 - 0,002 \cdot 20) \cdot \left( 20 - \frac{8}{0,85} \right) = 11,23 \text{ м}$$

Мінімальна висота зони захисту двох найближчих блискавковідводів:

$$h_{\min 1} = 21,25 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 25) \cdot (42,72 - 25) = 19,88 \text{ м}$$

$$h_{\min} = 17 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 20) \cdot (42,72 - 20) = 13,0 \text{ м}$$

$$h_{\min} = \frac{19,88 + 13,0}{2} = 16,44 \text{ м}$$

Радіус перетину зони захисту  $r_x$  на висоті 0 знайдемо з формули:

$$r_{01} = (1,1 - 0,002 \cdot 25) \cdot \left( 25 - \frac{0}{0,85} \right) = 26,25 \text{ м}$$

$$r_{04} = (1,1 - 0,002 \cdot 20) \cdot \left( 20 - \frac{0}{0,85} \right) = 21,2 \text{ м}$$

Відстань між віссю симетрії, проведеною між блискавковідводами по діаго-  
налі і найбільш віддаленою точкою захисту посередині них на рівні  $h_x - d_{x1}$ :

$$d_{x1} = \frac{26,25 \cdot (19,88 - 8)}{19,88} = 15,68 \text{ м}$$

$$d_{x4} = \frac{21,2 \cdot (13 - 8)}{13} = 8,15 \text{ м}$$

$$d = \frac{d_{x1} + d_{x4}}{2} = \frac{15,68 + 8,15}{2} = 11,915 \text{ м}$$

$$d_x = \frac{d \cdot (h_{\min} - h_x)}{h_{\min}},$$

$$d_x = \frac{d \cdot (h_{\min} - h_x)}{h_{\min}} = \frac{11,915 \cdot (15,24 - 8)}{15,24} = 5,66 \text{ м}$$



## 4.2 Розрахунок опору заземлювального контуру відкритого розподільчого пристрою (ВРП)

Розрахувати опір заземлювального контуру відкритого розподільчого пристрою (ВРП), який складається із сітки вертикальних електродів, об'єднаних горизонтальними полосами. Зобразити схему заземлювального контуру ВРП. Вихідні дані до задачі знаходяться в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані

a, м	b, м	$\rho_{\text{вим}}$ , Ом·м	n <sub>тр</sub> , шт.	l <sub>пр</sub> , м
220	230	200	2	170

Заземлювальний контур виконуємо у вигляді сітки з горизонтальних смуг з вертикальними електродами, розташованими у вузлах сітки по її периметру. Крок сітки приймаємо рівним 10 м, довжину вертикальних електродів  $l = 10$  м.

Розрахункове значення питомого опору ґрунту при сезонних змінах:

$$\rho_{\text{розр}} = k \cdot \rho_{\text{вим}} = 1,4 \cdot 200 = 280 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

де  $k$  – сезонний коефіцієнт.

Для середньої вологості ґрунту при проведенні вимірів приймаємо  $k = 1,4$ .

Виходячи з  $\rho_{\text{розр}}$  визначаємо припустимий опір заземлення опору високовольтної лінії для грозового сезону:

$$R_{\text{он}} \leq 15 \text{ Ом}.$$

Опір заземлення системи трос – опора обчислюється по формулі:

$$R_{\text{тр.он}} = \sqrt{R_{\text{тр}} \cdot R_{\text{он}}},$$

де  $R_{\text{тр}}$  – опір троса між опорами,

Опір троса визначаємо по формулі:

$$R_{\text{тр}} = \frac{2,4 \cdot l_{\text{пр}}}{n_{\text{тр}}} = \frac{2,4 \cdot 170 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,204 \text{ Ом}$$

$R_{\text{он}}$  – опір заземлення опори.

$$R_{mp.on} = \sqrt{R_{mp} \cdot R_{on}} = 1,749 \text{ Ом}$$

Отриманий опір  $R_{mp.on}$  вважаємо опором заземлення природних заземлювачів ВРП.

$$R_{mp.on} = R_{np} = 1,749 \text{ Ом.}$$

Припустимий опір  $R_3$  штучного заземлювача при наявності природних заземлювачів визначимо з рівняння:

$$R_3 = \frac{R_{\partial on} \cdot R_{np}}{R_{np} - R_{\partial on}}$$

де  $R_{\partial on}$  – припустимий опір заземлення в мережах із заземленою нейтраллю:

$$R_{\partial on} = \frac{R_{np} \cdot R_3}{R_{np} + R_3},$$

$$R_{\partial on} \leq 0,5 \text{ Ом.}$$

$$R_3 = \frac{R_{\partial on} \cdot R_{np}}{R_{np} - R_{\partial on}} = \frac{0,5 \cdot 1,75}{0,5 + 1,75} = 0,388 \text{ Ом.}$$

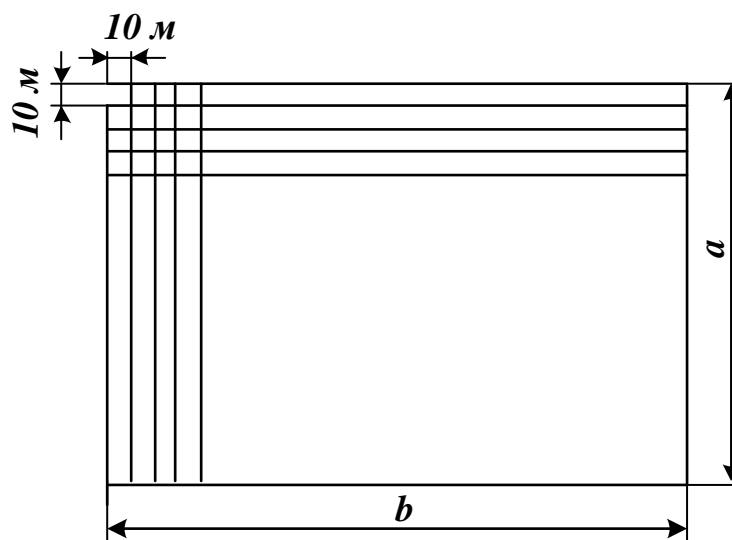


Рисунок 4.3 – Схема заземлювального контуру

Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------



## Висновки

У ході виконання бакалаврської роботи були вирішені поставлені завдання, досягнута описана у вступі мета.

Розділ «Розрахунок електричної мережі»: визначено потоки потужностей в мережі при нормальному режимі роботи, знайдено також падіння потужностей в елементах мережі. З урахуванням поздовжніх та поперечних падінь напруг розглянуто величини напруг в точках мережі.

Розділ «Розрахунок електричної частини станцій і підстанцій»: вибрано основне обладнання підстанції: основні силові трансформатори, за графіком навантаження підстанції перевірені вимірювальні трансформатори струму та напруги, обрані вимикачі та роз'єднувачі. Для установки на підстанції зазначено необхідний мінімальний набір вимірювальних приладів.

Розділ «Розрахунок релейного захисту»: зроблені розрахунки для релейного захисту лінії А1:

- максимального струмового захисту нульової послідовності на землю для ліній;
- комбінованим відсіченням по струму та напрузі;

Виконано розрахунок зони захисту блискавковідводів ВРП-110 кВ

									Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.6.141.120.ПЗ.ЕТ				64

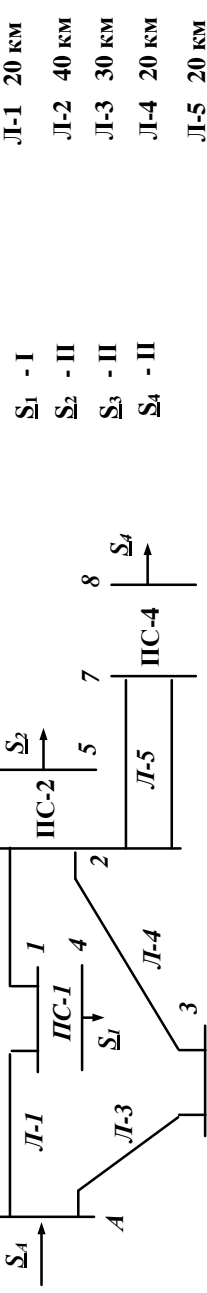








Категорія споживача



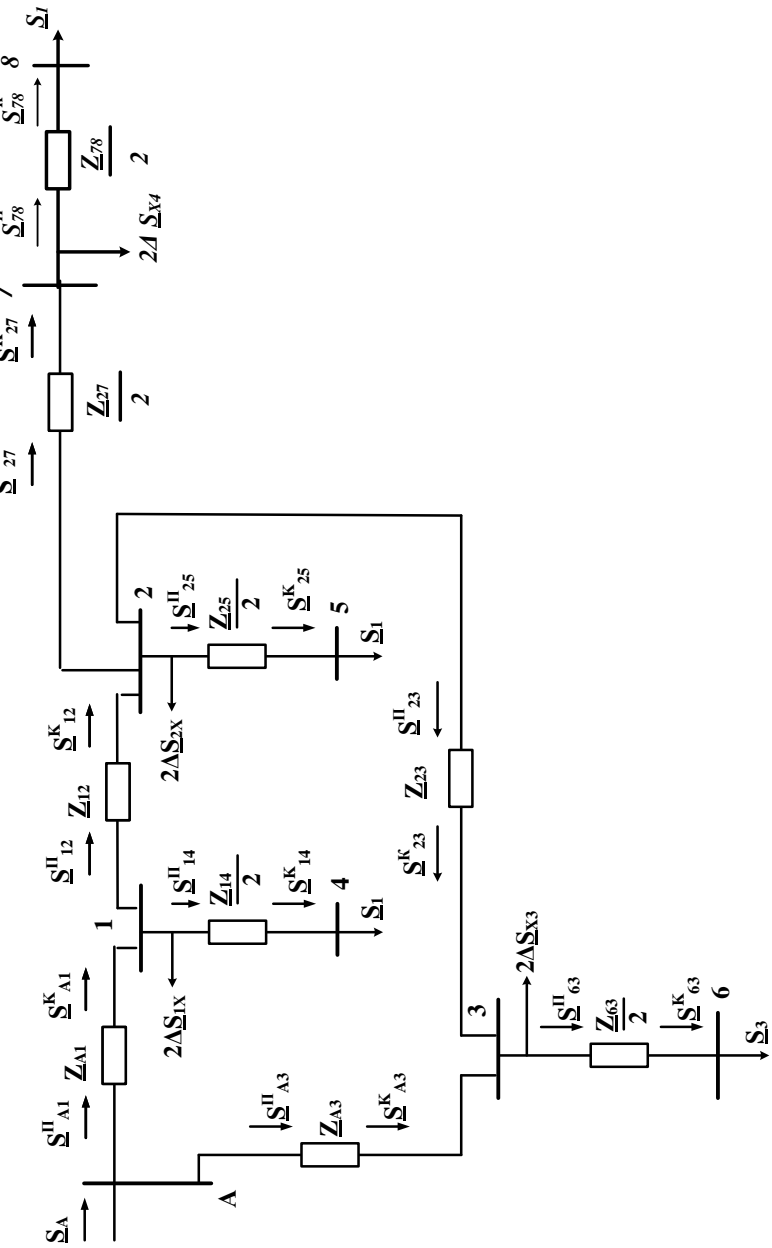
Довжина ліній

Л-1	20 км
Л-2	40 км
Л-3	30 км
Л-4	20 км
Л-5	20 км

Потужності навантажень

$S_1 = 30 + j18 \text{ МВА}$      $S_3 = 28 + j17 \text{ МВА}$   
 $S_2 = 40 + j30 \text{ МВА}$      $S_4 = 10 + j8 \text{ МВА}$

Початкова схема мережі



Потужності на ділянках мережі

Ділянка	Початок	Кінець
1-4	$30,1 + j20,82$	$30 + j18$
2-5	$40,14 + j33,58$	$40 + j30$
3-6	$28,1 + j19,48$	$28 + j17$
1-2	$25,97 + j23,42$	$25,06 + j21,86$
A-1	$58,22 + j48,252$	$56,15 + j44,52$
7-8	$10,05 + j8,94$	$10 + j8$
2-3	$25,726 + j22,97$	$25,26 + j22,17$
A-3	$56,8 + j48,927$	$53,88 + j43,85$
7-2	$10,12 + j9,15$	$10,08 + j9,08$

Напруги у вузлах мережі

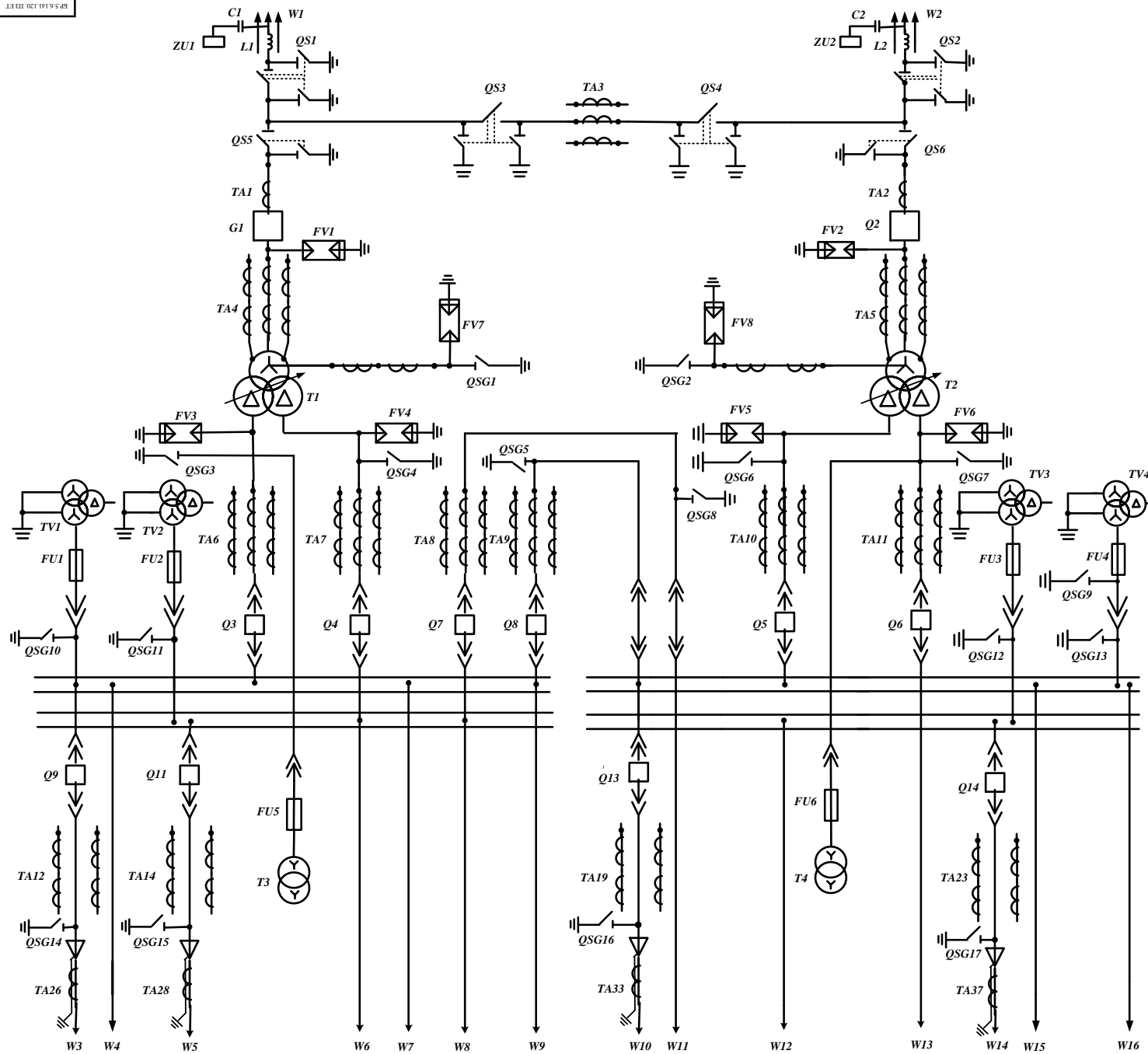
Ном	Значення	
	Висока	Низьке
A	121	
1	115,35	10,04
2	109,6	9,52
3	112	
4	109,92	10,04
5	104,4	9,52
6	107,4	9,794
7	109	
8	103	9,84

Розрахункова схема заміщення мережі

№	Значення	Місце	Масштаб
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			
91			
92			
93			
94			
95			
96			
97			
98			
99			
100			

БР.5.6.141.120.П3.ЕТ

Розрахунок електричної мережі  
 СумГУ, гр.ЕТ, Диб.84п



Поз	Позначення	Найменування	Кол
1	T1, T2	Трансформатор силовий ТРДН-4000/110	2
2	C1, C2	Конденсатор зв'язку СМП	2
3	L1, L2	Високочастотний загороджувач	2
4	QS1-QS6	Роз'єднувач зовнішньої установки РДЗ-110/1000-НУХП	6
5	Q1, Q2	Вимикач 100SFMT63SF	2
6	TA1- TA3	Трансформатор струму ТОГФ -110 - УХЛ1	3
7	TA4, TA5	Трансформатор струму ТОГФ -110 - УХЛ1	6
8	FV1, FV2	Розрядник вентильний РВС-110МУ1	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-110М	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	Вимикач МГГ-10-4000-45У3	4
15	Q7, Q8	Вимикач МГГ-10-4000-45У3	2
16	FU1-FU6	Запобіжник ПКН001-10У1	6
17	TV1-TV4	Трансформатор напруги НТМН-10-66	4
18	Q9-Q22	Вимикач ВММ-10+400/630-10	14
19	TA12-TA25	Трансформатор струму ТВ-10-IV	28
20	TA26- 37	Трансформатор струму ТВ-10-IV	14
21	ZU1, ZU2	Фільтр приєднання ОФП	2
22	QSG3-QSG17	Заземлювачі внутрішньої установки ЗР-10НУ3	7

				БР.5.6.141.120. ПЗ ЕТ							
Вид	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	"Розробку проєкту об'єкта електричної мережі та визначення координат її вузлів виконав цим підприємством"				Лист	Місяц	Місяць
Розроб.	Склад	Перев.	Ліцензійник						Лист	Місяц	Місяць
Рисув.	Проєкт.	Діагност.	Ліцензійник						Лист 2		Август 2
				Розробку електричної частини електричної				СумДУ, гр.ЕТЛн-84н			