

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

«Розрахунок нормального режиму електричної мережі та  
високовольтної підстанції»

спеціальність: 141– Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

Виконав

студент гр. ЕТз-71С \_\_\_\_\_ Б.Р. Шимко

Керівник

старший викладач \_\_\_\_\_ С.М. Лебедка

**Сумський державний університет**

Факультет: Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

Кафедра: електроенергетики

Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на кваліфікаційну роботу бакалавра**

Шимка Богдана Романовича

1. Тема роботи: «Розрахунок нормального режиму електричної мережі та високовольтної підстанції»

затверджена наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 10.06.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: Конфігурація мережі, довжини ліній, потужність навантажень та категорії споживачів

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

1. Розрахунок електричної мережі.
2. Розрахунок електричної частини підстанції.
3. Розрахунок релейного захисту.
4. Розрахунок зон захисту стрижневих блискавковідводів ВРП.

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

1. Схема електричної мережі.
2. Електрична схема підстанції.
3. Схема релейного захисту.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Розрахунок електричної мережі	До 22.04.2021	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	До 06.05.2021	
3	Розрахунок релейного захисту	До 20.05.2021	
4	Розрахунок зон захисту стрижневих блискавковідводів ВРП	До 27.05.2021	
5	Оформлення графічного матеріалу	До 03.06.2021	
6	Оформлення кваліфікаційної бакалаврської роботи	До 10.06.2021	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Обсяг роботи: 60 сторінок, 14 рисунків, 25 таблиць, 19 джерел.

**Назва:** Розрахунок нормального режиму електричної мережі та високовольтної підстанції

**Автор:** Шимко Б.Р.

**Ключові слова:** електрична мережа, трансформатор, підстанція, коротке замикання, релейний захист, блискавкозахист, переріз провідників, електричні апарати.

Электрическая сеть, трансформатор, подстанция, короткое замыкание, релейная защита, молниезащита, сечение проводников, электрические аппараты.

Electrical network, transformer, substation, short circuit, relay protection, lightning protection, cross section of conductors, electrical devices

**Бібліографічний опис:** Шимко Б.Р. Розрахунок нормального режиму електричної мережі та високовольтної підстанції [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Б.Р. Шимко; керівник С.М. Лебеда. - Суми: СумДУ, 2021. - 60 с.

**Короткий огляд (реферат):** Об'єктом дослідження є електрична мережа та високовольтна підстанція з метою розрахунку та вибору електричних апаратів та обладнання. блискавкозахист Виконано аналіз режимів роботи високовольтних мереж. Проведено розрахунок перетоків потужностей на лініях і трансформаторах. Розраховано розподіл напруг на електричній мережі. Проведено розрахунок номінальних струмів, струмів при короткому замиканні найбільш завантаженої лінії. Окремо проведено розрахунок втрат напруги. Проведено розрахунки по вибору електричного високовольтного обладнання для підстанції даної мережі.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПЛ – повітряна лінія;

ВН – висока напруга;

НН – низька напруга;

ЛЕП – лінія електропередач;

ПУЕ – правила улаштування електроустановок;

ПС – підстанція;

РПН – регулювання напруги під навантаження;

СН – середня напруга;

ТП – трансформаторна підстанція;

КЗ – коротке замикання;

ГОСТ – державний стандарт;

РП – розподільний пристрій;

ВРП – відкритий розподільчий пристрій



3	Розрахунок диференціального захисту трансформатора з застосуванням реле ДЗТ-11.....	39
3.1	Розрахунок струмів КЗ.....	41
3.2	Обчислення номінальних параметрів.....	42
3.3	Обчислення витків реле ДЗТ-11.....	43
4	Розрахунок зон захисту стрижневих блискавковідводів ВРП.....	45
4.1	Зона захисту одиничного стрижневого блискавковідводу.....	46
	Висновки.....	54
	Список використаної літератури.....	55
	Додатки.....	58

## ВСТУП

Даною роботою передбачений розрахунок нормального режиму електричної мережі та високовольтної підстанції, яка в свою чергу забезпечує електроенергією споживачів, розрахунок електричної частини підстанції, релейного захисту, та блискавкозахист для підстанції.

Для виконання завдання даної роботи необхідно:

- потрібно розрахувати потужності ліній електропередач;
- обчислити струми і напруги на ділянках без урахування втрат та зробити вибір проводів для ліній які з'єднують трансформаторні підстанції;
- обчислити перетоки потужностей, втрати потужності, втрати напруги та електроенергії;
- перевірити мережу на надійність, у випадку аварійної ситуації, мережа повинна забезпечувати постійне постачання електроенергією споживачів відповідних категорій.

Для електричних підстанцій необхідно:

- розрахувати електричну частину та вибрати силові трансформатори;
- розрахувати струми коротких замикань та на основі них вибрати високовольтні апарати розподільчого пристрою, струмоведучі частини;
- вибрати шини розподільчого пристрою, електровимірювальні трансформатори струму і напруги, трансформатори власних потреб;

Також для підстанцій розрахувати релейний захист, розрахувати номінальні струми трансформатора, обчислити кількість обмоток реле. Розрахувати зони захисту стрижневого блискавковідводу ВРП.

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		8



# 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

## 1.1 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Для успішного виконання роботи достатньо таких вихідних даних та матеріалів:

- 1) однолінійна електрична схема з'єднань заданої електричної мережі, показана на рис. 1.1;
- 2) довжини ліній і потужності навантажень наведені в табл. 1.1;
- 3) марки проводів і трансформаторів.

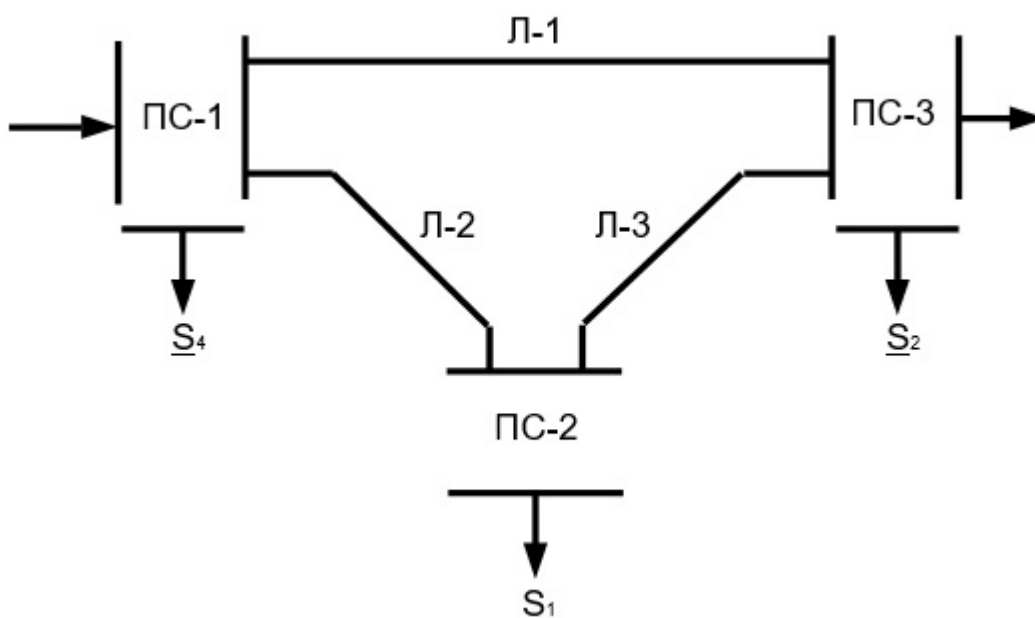


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема

Таблиця 1.1 – Вихідні дані до схеми на рисунку 1.1

Довжина ПЛ, км			Потужності навантажень, МВА			
Л-1	Л-2	Л-3	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
50	40	20	60+j30 I	40+j20 II	15+j10 III	10+j5 II

## 1.2 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

### 1.2.1 ВИБІР НОМІНАЛЬНИХ НАПРУГ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Для вибору номінальних напруг у замкненій частині електричної мережі знаходимо сумарні навантаження вузлів 1 і 2:

$$S_{1P} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 125 + j65 \text{ МВА}$$

$$S_{2P} = S_1 = 60 + j30 \text{ МВА}$$

$$S_{3P} = S_2 + S_3 = 55 + j30 \text{ МВА}$$

Потім складаємо розрахункову схему заміщення замкненої частини мережі:

Вибираємо додатні напрямки потужностей ділянок мережі.

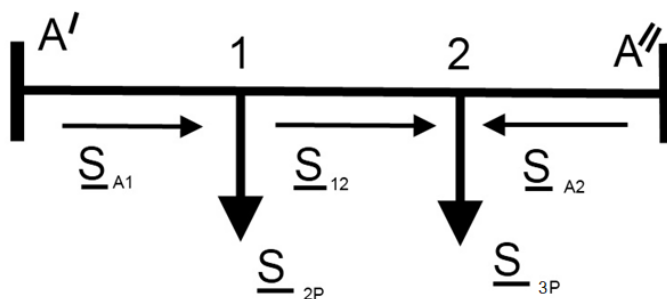


Рисунок 1.2 – розрахункова схема заміщення замкненої частини мережі

Визначимо потужності у лініях А – 1, А – 2 і 1 – 2:

$$S_{A1} = \frac{S_{2P}l_{13} + S_{3P}l_{11}}{l_{123}} = 51,82 + j27,27 \text{ МВА}$$

$$S_{A2} = \frac{S_{3P}l_{23} + S_{2P}l_{22}}{l_{123}} = 63,18 + j32,73 \text{ МВА} \quad (1.1)$$

$$S_{12} = S_{A1} - S_{2P} = 3,18 + j2,72 \text{ МВА}$$

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

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} \quad (1.2)$$

де  $U$  – напруга відповідної лінії, кВ;

$L$  – довжина відповідної лінії, км;

$P$  – активна потужність відповідної лінії, МВт.

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		10

Для нашої вихідної достатньо визначити для ділянки Л4, оскільки після неї йде замкнена мережа. Тому маємо такі результати розрахунку котрі показані в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунку

Відрізок лінії	A-1	A-2	1-2
U, кВ	144,89	137,76	40,11
U <sub>НОМ</sub> , кВ	110	110	110

### 1.2.2 ВИБІР ПРОВОДІВ

Визначаємо струм в лініях за формулою (1.3):

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (1.3)$$

де I – струм у відповідній лінії, А;

S – повна потужність лінії, МВА;

U<sub>n</sub> – обрана номінальна напруга.

Згідно методу економічної густини струму, економічний переріз розраховуємо за формулою (1.4):

$$F_e = \frac{I_m}{j_e} \quad (1.4)$$

де F<sub>e</sub> – економічний переріз проводу, мм<sup>2</sup>;

I<sub>m</sub> – струм в лінії в режимі максимальних навантажень, що відповідає нормальному режиму роботи мережі, А;

j<sub>e</sub> – економічна густина струму, А/мм<sup>2</sup>

Таблиця 1.3 – Вибір перерізів проводів схеми мережі

Лінія	U <sub>ном.</sub> , кВ	I <sub>р</sub> , А	Провід	I <sub>доп.</sub> , А
А-1	220	187	АС-240/32	605
А-2	220	154	АС-240/32	605
1-2	220	11	АС-240/32	605

Із оцінювання перерізу проводів з економічної густини струму випливає, що при напрузі 110 кВ для ліній А – 1 необхідний переріз 185 мм<sup>2</sup>, а для лінії А– 2 – 120 мм<sup>2</sup>. Однак у післяаварійному режимі, наприклад, при обриві лінії А – 1 на ділянці лінії А – 2 буде проходити струм

$$I_{A2}^{ПА110} = I_{A1} + I_{A2} = 680 \text{ А}$$

Значить, за умовою нагріву необхідний провід площею поперечного перерізу 400 мм<sup>2</sup>, для якого допустимий струм I<sub>доп</sub> = 860 А.

Зробимо такі самі оціночні розрахунки для напруги 220 кВ. Як відомо, по короні переріз проводу для ліній напругою 220 кВ не може бути прийнято менше 240 мм<sup>2</sup>. Саме таким виявляється переріз, визначений за економічною густиною струму для лінії А – 2. Для ліній напругою 220 кВ на уніфікованих опорах можна застосовувати переріз від 240 до 400 мм<sup>2</sup>. Допустимий струм за умовою нагріву для АС-240/32 мм<sup>2</sup> I<sub>доп</sub> = 605 А, що більший за струм післяаварійного режиму:

$$I_{A2}^{ПА220} = I_{A1} + I_{A2} = 341 \text{ А.}$$

Тому у розглянутому прикладі для ліній кільцевої мережі вибирається номінальну напругу 220 кВ.

### 1.2.3 ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ПІДСТАНЦІЯХ

Вибір кількості трансформаторів на понижуючих підстанціях у першу чергу визначається вимогами, що пред'являються споживачами до надійності електропостачання.

У відповідності з практикою проектування, потужність трансформаторного обладнання на понижуючих підстанціях може вибиратися за умови допустимого перенавантаження у після аварійних режимах до 40% (на період максимуму загальної добової тривалості не більше 5 годин на протязі не більше 6 діб).

Розрахункову потужність кожного трансформатора визначаємо за формулою:

Для ПС – 1 категорія споживачів 2, тому обираємо 2 трансформатора:

$$S_{1T} = \frac{S_{1p}}{1,4} = 100,64 \text{ МВА}$$

За довідником вибираються трансформатори ТДЦ-125000/220.

Визначається коефіцієнт завантаження трансформаторів в нормальному режимі

$$K_3 = \frac{S_{m.розр}}{n_T \cdot S_{m.ном}} \quad (1.5)$$

$$K_3 = \frac{S_{1T}}{2 \cdot S_{1T.ном}} = 0,403$$

Для ПС – 2 категорія споживачів 1, тому обираємо 2 трансформатора:

$$S_{2T} = \frac{S_{2p}}{1,4} = 47,916 \text{ МВА}$$

За довідником вибираються трансформатори ТДЦ-63000/220.

Визначається коефіцієнт завантаження трансформаторів в нормальному режимі

$$k_3 = \frac{S_{2T}}{2 \cdot S_{2T.ном}} = 0,38$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	АДК	№ докцм.	Підпис	Дата		13

Для ПС – 3 категорія споживачів 2 і 3, тому обираємо 2 трансформатора:

$$S_{3T} = \frac{S_{3p}}{1.4} = 44,75 \text{ МВА}$$

За довідником вибираються трансформатори ТДЦ-63000/220.

Визначається коефіцієнт завантаження трансформаторів в нормальному режимі

$$k_3 = \frac{S_{3T}}{2 \cdot S_{3T.\text{НОМ}}} = 0,355$$

Таблиця 1.4 – Результати розрахунку для вибору трансформаторів

№ ПС	Категорія споживачів	$S_{\text{т.розр}}$ , МВА	$S_{\text{т.ном}}$ , МВА	$K_3$	Кількість трансформаторів
1	II	100,64	ТРДЦН-125000/220	0,403	2
2	I	47,916	ТРДЦН-63000/220	0,38	2
3	II та III	44,75	ТРДЦН-63000/220	0,355	2

## 1.2.4 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ ЛІНІЙ І ТРАНСФОРМАТОРІВ

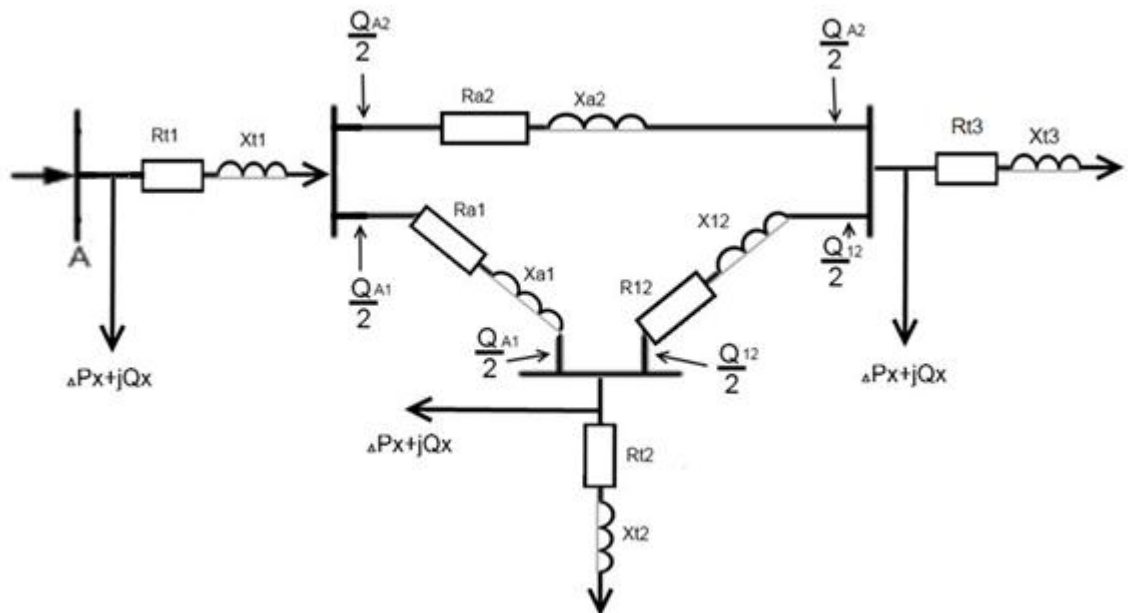


Рисунок 1.3 – Схема заміщення

Таблиця 1.5 – Розрахункові дані ПЛ напругою 220 кВ

Переріз дроту, мм <sup>2</sup>	Тривало допустимий струм, А	Діаметр проводу, мм	r <sub>0</sub> , Ом/км, при +20° С	220 кВ	
				x <sub>0</sub> , См/км	b <sub>0</sub> × 10 <sup>-6</sup> См/км
240/32	605	21,6	0,118	0,435	2,60

Знайдемо параметри схеми заміщення:

$$R = \frac{r_0 \cdot l}{n_y}; \quad X = \frac{x_0 \cdot l}{n_y}; \quad \frac{B}{2} = \frac{b_0 \cdot l \cdot n_y}{2} \quad (1.6)$$

де r<sub>0</sub>, x<sub>0</sub>, b<sub>0</sub> відповідно, питомі параметри (на 1 км довжини) активного і реактивного опорів, а також ємнісна провідність лінії, l – довжина лінії, n<sub>y</sub> – кількість ланцюгів.

Для лінії A2:

$$R_{A2} = r_0 \cdot l_1 = 5,9 \text{ Ом};$$

$$X_{A2} = x_0 \cdot l_1 = 21,75 \text{ Ом};$$

$$\frac{Q_{A2}}{2} = \frac{U_H^2 \cdot b_0 \cdot l_1}{2} = 3,146 \text{ МВар};$$

Для лінії А1:

$$R_{A1} = r_0 \cdot l_2 = 4,72 \text{ Ом};$$

$$X_{A1} = x_0 \cdot l_2 = 17,4 \text{ Ом};$$

$$\frac{Q_{A1}}{2} = \frac{U_H^2 \cdot b_0 \cdot l_2}{2} = 2,517 \text{ МВар};$$

Для лінії 12:

$$R_{12} = r_0 \cdot l_3 = 2,36 \text{ Ом};$$

$$X_{12} = x_0 \cdot l_3 = 8,7 \text{ Ом};$$

$$\frac{Q_{12}}{2} = \frac{U_H^2 \cdot b_0 \cdot l_3}{2} = 1,258 \text{ МВар}.$$

## 1.2.5 ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Таблиця 1.6 – Розрахункові дані трифазних двообмоткових трансформаторів 220кВ

Тип	S <sub>НОМ</sub> , МВА	Каталожні дані					
		U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %
		ВН	НН				
ТРДЦН-63000/220	63	230	11/11; 6,6/6,6	12	300	82	0,8
ТДЦ-125000/220	125	242	10,5;13,8	11	380	135	0,5

Визначимо втрати на ПС – 1 (ТДЦ-125000/220 x 2):

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		16



$$R_T = \frac{\left(\frac{\Delta P_K \cdot U_n^2}{S_n^2}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{380 \cdot 10^3 \cdot (242 \cdot 10^3)^2}{(125 \cdot 10^6)^2}\right)}{2} = 0,712 \text{ Ом};$$

$$X_T = \frac{\left(\frac{U_K \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{11 \cdot 242^2}{100 \cdot 125}\right)}{2} = 25,768 \text{ Ом}.$$

$$\Delta S_x = 2 \cdot (\Delta P_x + \Delta Q_x) = 2 \cdot \left(\Delta P_x + j \frac{I_x \cdot S_n}{100}\right) = 0,27 + j1,25 \text{ MBA};$$

$$\Delta S_T = \frac{S_{1P}^2}{U_n^2} \cdot (R_T + jX_T) = 0,287 + j10,56 \text{ MBA};$$

$$S_T = \Delta S_T + \Delta S_x = 0,287 + j10,56 + 0,27 + j1,25 = 0,557 + j11,81 \text{ MBA}$$

Визначимо втрати на ПС – 2 (ТРДЦН-63000/220 x 2):

$$R_T = \frac{\left(\frac{\Delta P_K \cdot U_n^2}{S_n^2}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{300 \cdot 10^3 \cdot (230 \cdot 10^3)^2}{(63 \cdot 10^6)^2}\right)}{2} = 1,999 \text{ Ом};$$

$$X_T = \frac{\left(\frac{U_K \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{12 \cdot 230^2}{100 \cdot 63}\right)}{2} = 50,381 \text{ Ом}.$$

$$\Delta S_x = 2 \cdot (\Delta P_x + \Delta Q_x) = 2 \cdot \left(\Delta P_x + j \frac{I_x \cdot S_n}{100}\right) = 0,164 + j1,008 \text{ MBA};$$

$$\Delta S_T = \frac{S_{2P}^2}{U_n^2} \cdot (R_T + jX_T) = 0,181 + j4,681 \text{ MBA}$$

$$S_T = \Delta S_T + \Delta S_x = 0,181 + j4,681 + 0,164 + j1,008 = 0,345 + j5,689 \text{ MBA}$$

Визначимо втрати на ПС – 3 (ТРДЦН-63000/220 x 2):

$$R_T = \frac{\left(\frac{\Delta P_K \cdot U_n^2}{S_n^2}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{300 \cdot 10^3 \cdot (230 \cdot 10^3)^2}{(63 \cdot 10^6)^2}\right)}{2} = 1,999 \text{ Ом};$$

$$X_T = \frac{\left(\frac{U_K \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{12 \cdot 230^2}{100 \cdot 63}\right)}{2} = 50,381 \text{ Ом}.$$

$$\Delta S_x = 2 \cdot (\Delta P_x + \Delta Q_x) = 2 \cdot \left(\Delta P_x + j \frac{I_x \cdot S_n}{100}\right) = 0,164 + j1,008 \text{ MBA};$$

$$\Delta S_T = \frac{S_{2P}^2}{U_n^2} \cdot (R_T + jX_T) = 1,581 + j40,83 \text{ кВА}$$

$$S_T = \Delta S_T + \Delta S_x = 0,002 + j0,041 + 0,164 + j1,008 = 0,166 + j1,049 \text{ MBA}$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	АДК	№ докum.	Підпис	Дата		17

Визначення приведених до сторони ВН навантажень трансформаторних підстанцій:

$$P + jQ = \left( P_{\text{нагр}} + \Delta P_x + \frac{P_{\text{нагр}}^2 + Q_{\text{нагр}}^2}{U^2} \cdot R_T \right) + j \left( Q_{\text{нагр}} + \Delta Q_x + \frac{P_{\text{нагр}}^2 + Q_{\text{нагр}}^2}{U^2} \cdot X_T - \sum \Delta Q_C \right) \quad (1.7)$$

Для ПС – 1:

$$\begin{aligned} P + jQ &= \left( 125 + 0,27 + \frac{125^2 + 65^2}{230^2} \cdot 0,712 \right) \\ &+ j \left( 65 + 1,25 + \frac{125^2 + 65^2}{230^2} \cdot 25,768 - (2,517 + 3,146) \right) \\ &= 125,537 + j70,256 \text{ МВА} \end{aligned}$$

Для ПС – 2:

$$\begin{aligned} P + jQ &= \left( 60 + 0,164 + \frac{60^2 + 30^2}{230^2} \cdot 1,999 \right) \\ &+ j \left( 30 + 1,008 + \frac{60^2 + 30^2}{230^2} \cdot 50,381 - (2,517 + 1,258) \right) \\ &= 60,334 + j31,519 \text{ МВА} \end{aligned}$$

Для ПС – 3:

$$\begin{aligned} P + jQ &= \left( 55 + 0,164 + \frac{55^2 + 30^2}{230^2} \cdot 1,999 \right) \\ &+ j \left( 30 + 1,008 + \frac{55^2 + 30^2}{230^2} \cdot 50,381 - (1,258 + 3,146) \right) \\ &= 55,312 + j30,342 \text{ МВА} \end{aligned}$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		18

## 1.2.6 РОЗРАХУНОК НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМУ ЗАМКНУТОЇ МЕРЕЖІ

### 1.2.6.1 РЕЖИМ МАКСИМАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

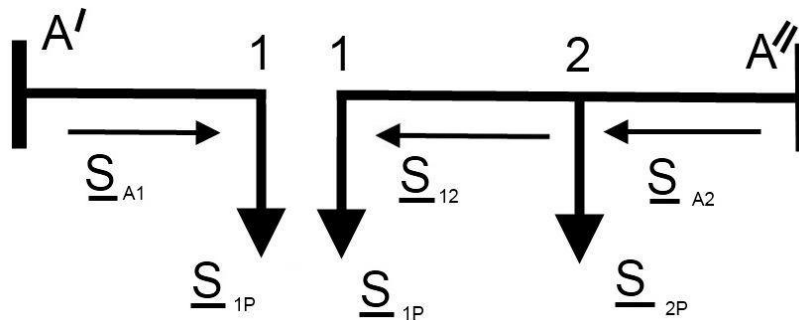


Рисунок 1.4 – Розрахункова схема

Так, як нам невідома напруга джерела живлення А, однак понижувальні трансформатори на 220 кВ, то приймаємо середню напругу 230 кВ,  $U_H=230$  кВ.

Таблиця 1.7 – Розрахункові дані ПЛ

Лінія	Довжина, м	$r_0 \cdot l$ , Ом	$x_0 \cdot l$ , Ом	Q, Мвар
A2	50	5,9	21,75	3,146
A1	40	4,72	17,4	2,517
12	20	2,36	8,7	1,258

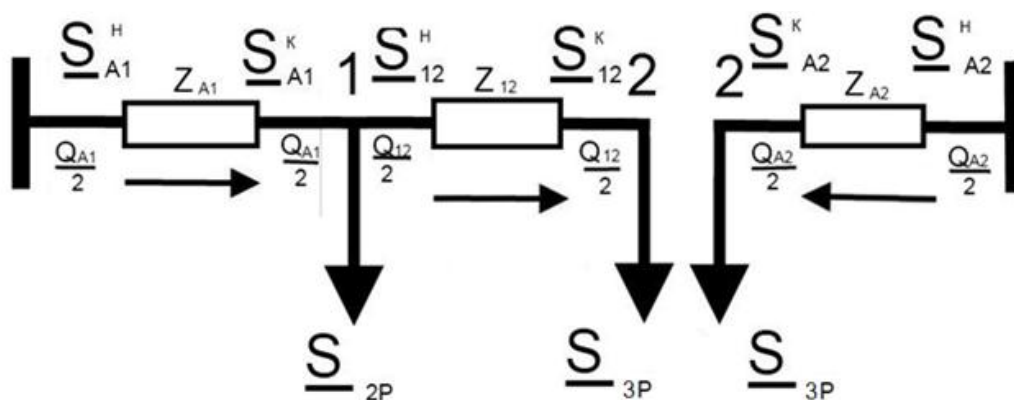


Рисунок 1.5 – Розрахункова схема заміщення

Для розрахунків будемо приймати раніше визначені приведені до сторони ВН навантаження трансформаторних підстанцій.

$$S_{1P} = PC - 1 = 125,537 + j70,256 \text{ МВА};$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		19

$$S_{2P} = PC - 2 = 60,334 + j31,519 \text{ MBA};$$

$$S_{3P} = PC - 3 = 55,312 + j30,342 \text{ MBA}.$$

$$\Delta S = \frac{P_{\text{нагр}}^2 + Q_{\text{нагр}}^2}{U^2} \cdot (R + X) \quad (1.8)$$

$$\Delta S_{A1} = \frac{125,537^2 + 70,256^2}{230^2} \cdot (4,72 + j17,4) = 1,847 + j6,807 \text{ MBA};$$

$$S_{A1}^N = S_{A1}^K + \Delta S_{A1}$$

$$S_{A1}^N = 125,537 + j70,256 + 1,847 + j6,807 = 127,384 + j77,063 \text{ MBA};$$

$$\Delta S_{12} = \frac{3,18^2 + 2,72^2}{230^2} \cdot (2,36 + j8,7) = 0,0008 + j0,003 \text{ MBA};$$

$$S_{A2}^K = S_{2P} + \Delta S_{12}$$

$$S_{A2}^K = 60,334 + j31,519 + 0,0008 + j0,003 = 60,335 + j31,522 \text{ MBA};$$

$$\Delta S_{A2} = \frac{60,334^2 + 31,519^2}{230^2} \cdot (5,9 + j21,75) = 0,517 + j1,905 \text{ MBA};$$

$$S_{A2}^N = S_{A2}^K + \Delta S_{A2}$$

$$S_{A2}^N = 60,334 + j31,522 + 0,517 + j1,905 = 60,851 + j33,427 \text{ MBA};$$

Потужність, споживана з шин електростанції:

$$\begin{aligned} SA &= S_{A1}^N + S_{A2}^N = 127,384 + j77,063 + 60,852 + j33,427 \\ &= 188,236 + j110,49 \text{ MBA} \end{aligned}$$

Розрахунок напруги та  $U_{\text{НБ}}$  без урахування втрат потужності, тобто по потокам потужності:

$$\Delta U = \frac{P_{\text{нагр}} \cdot r + Q_{\text{нагр}} \cdot x}{U} \quad (1.9)$$

$$\Delta U_{A1} = \frac{125,537 \cdot 4,72 + 70,256 \cdot 17,4}{230} = 7,891 \text{ кВ}$$

$$U_1 = U - \Delta U_{A1} = 230 - 7,891 = 222,109 \text{ кВ}$$

$$\Delta U_{A2} = \frac{60,334 \cdot 5,9 + 31,519 \cdot 21,75}{230} = 4,528 \text{ кВ}$$

$$U_2 = U - \Delta U_{A2} = 230 - 4,528 = 225,472 \text{ кВ}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3,18 \cdot 2,36 + 2,72 \cdot 8,7}{230} = 0,136 \text{ кВ}$$

$$U_{12} = U_2 - \Delta U_{12} = 229,864 \text{ кВ}$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	АДК	№ докцм.	Підпис	Дата		20

Найбільша втрата напруги в нормальному режимі, що визначається без урахування втрат потужності:

$$\Delta U_{\text{НБ}} = \Delta U_{A1} = 7,891 \text{ кВ}$$

Визначимо напруги і  $U_{\text{НБ}}$  з урахуванням втрат потужності, тобто по потокам потужності, знайденим раніше:

$$\Delta U_{A1} = \frac{127,384 \cdot 4,72 + 77,063 \cdot 17,4}{230} = 8,403 \text{ кВ};$$

$$U_1 = U - \Delta U_{A1} = 230 - 8,403 = 221,597 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{A2} = \frac{60,851 \cdot 5,9 + 33,427 \cdot 21,75}{230} = 4,722 \text{ кВ};$$

$$U_2 = U - \Delta U_{A2} = 230 - 4,722 = 225,278 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3,18 \cdot 2,36 + 2,723 \cdot 8,7}{230} = 0,136 \text{ кВ};$$

$$U_1 = U_2 - \Delta U_{12} = 229,864 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{A21} = \Delta U_{A2} + \Delta U_{12} = 4,722 + 0,136 = 4,858 \text{ кВ}.$$

Таким чином:  $\Delta U_{\text{НБ}} = \Delta U_{A1} = 8,403 \text{ кВ}$ .

Похибка розрахунку найбільшої напруги дорівнює  $\Delta U_{A1} - \Delta U_{A21} = 3,545 \text{ кВ}$ .

#### 1.2.6.2 РЕЖИМ МІНІМАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Виконаємо розрахунок мінімального режиму замкнутої таким, що дорівнює 50% від заданого.

Таблиця 1.8 – Розрахункові дані 50% потужностей

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		21

Потужності навантаження, МВА			
S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
30+j15	20+j10	7,5+j5	5+j2,5
I	II	III	II

$$S_{1P}=S_4=5+j2,5 \text{ МВА}$$

$$S_{2P}=S_1=30+j15 \text{ МВА}$$

$$S_{3P}=S_2+S_3=20+j10+7,5+j5=27,5+j15 \text{ МВА}$$

Приведені до сторони ВН навантаження трансформаторних підстанцій:

$$P + jQ = \left( P_{\text{нагр}} + \Delta P_x + \frac{P_{\text{нагр}}^2 + Q_{\text{нагр}}^2}{U^2} \cdot R_T \right) + j(Q_{\text{нагр}} + \Delta Q_x + \frac{P_{\text{нагр}}^2 + Q_{\text{нагр}}^2}{U^2} \cdot X_T - \sum \Delta Q_C)$$

Для ПС – 1:

$$P + jQ = \left( 5 + 0,27 + \frac{5^2 + 2,5^2}{230^2} \cdot 0,712 \right) + j \left( 2,5 + 1,25 + \frac{5^2 + 2,5^2}{230^2} \cdot 25,768 - (2,517 + 3,146) \right) = 5,27 - j1,898 \text{ МВА}$$

Для ПС – 2:

$$P + jQ = \left( 30 + 0,164 + \frac{30^2 + 15^2}{230^2} \cdot 1,999 \right) + j \left( 15 + 1,008 + \frac{30^2 + 15^2}{230^2} \cdot 50,381 - (2,517 + 1,258) \right) = 30,207 + j13,304 \text{ МВА}$$

Для ПС – 3:

$$P + jQ = \left( 27,5 + 0,164 + \frac{27,5^2 + 15^2}{230^2} \cdot 1,999 \right) + j \left( 15 + 1,008 + \frac{27,5^2 + 15^2}{230^2} \cdot 50,381 - (1,258 + 3,146) \right) = 27,701 + j12,539 \text{ МВА}$$

$$\Delta S_{A2} = \frac{P_{\text{Нагр}}^2 + Q_{\text{Нагр}}^2}{U^2} \cdot (R_{A2} + X_{A2})$$

$$\Delta S_{A2} = \frac{27,701^2 + 12,539^2}{230^2} \cdot (5,9 + j21,75) = 0,103 + j0,38 \text{ МВА};$$

$$S_{A2}^N = S_{A2}^K + \Delta S_{A2}$$

$$S_{A2}^N = 27,701 + j12,539 + 0,103 + j0,38 = 27,804 + j12,919 \text{ МВА};$$

$$\Delta S_{12} = \frac{1,59^2 + 1,36^2}{230^2} \cdot (2,36 + j8,7) = 0,0002 + j0,0007 \text{ МВА};$$

$$S_{A1}^K = S_{2P} + \Delta S_{12}$$

$$S_{A1}^K = 30,207 + j13,304 + 0,0002 + j0,0007 = 30,207 + j13,305 \text{ МВА};$$

$$\Delta S_{A1} = \frac{30,207^2 + 13,304^2}{230^2} \cdot (5,9 + j21,75) = 0,114 + j0,419 \text{ МВА};$$

$$S_{A1}^N = S_{A1}^K + \Delta S_{A1}$$

$$S_{A1}^N = 30,207 + j13,305 + 0,114 + j0,419 = 30,321 + j13,724 \text{ МВА};$$

Потужність, споживана з шин електростанції:

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		23

$$SA = S_{A1}^N + S_{A2}^N = 30,321 + j13,724 + 27,804 + j12,919$$

$$= 58,125 + j26,643 \text{ MVA}$$

Розрахунок напруги на  $U_{\text{НБ}}$  без урахування втрат потужності, тобто по потокам потужності:

$$\Delta U = \frac{P_{\text{нагр}} \cdot r + Q_{\text{нагр}} \cdot x}{U}$$

$$\Delta U_{A1} = \frac{30,207 \cdot 4,72 + 13,304 \cdot 17,4}{230} = 1,626 \text{ кВ};$$

$$U_1 = U - \Delta U_{A1} = 230 - 1,626 = 228,374 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{A2} = \frac{27,701 \cdot 5,9 + 12,539 \cdot 21,5}{230} = 1,896 \text{ кВ};$$

$$U_2 = U - \Delta U_{A2} = 230 - 1,896 = 228,104 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{1,59 \cdot 2,36 + 1,362 \cdot 8,7}{230} = 0,068 \text{ кВ};$$

$$U_1 = U_2 - \Delta U_{12} = 228,036 \text{ кВ}.$$

Найбільша втрата напруги в нормальному режимі, що визначається без урахування втрат потужності:

$$\Delta U_{\text{НБ}} = \Delta U_{A2} = 1,896 \text{ кВ}$$

Визначимо напруги і  $U_{\text{НБ}}$  з урахуванням втрат потужності, тобто по потокам потужності, знайденим раніше:

$$\Delta U_{A1} = \frac{27,804 \cdot 4,72 + 12,919 \cdot 17,4}{230} = 1,548 \text{ кВ};$$

$$U_1 = U - \Delta U_{A1} = 230 - 1,548 = 228,452 \text{ кВ};$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		24



$$\Delta U_{A2} = \frac{30,321 \cdot 5,9 + 13,724 \cdot 21,75}{230} = 2,076 \text{ кВ};$$

$$U_2 = U - \Delta U_{A2} = 230 - 2,076 = 227,924 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{1,59 \cdot 2,36 + 1,362 \cdot 8,7}{230} = 0,068 \text{ кВ};$$

$$U_1 = U_2 - \Delta U_{12} = 227,856 \text{ кВ}.$$

$$\Delta U_{A21} = \Delta U_{A1} + \Delta U_{12} = 1,548 + 0,068 = 1,616 \text{ кВ}.$$

Таким чином:  $\Delta U_{\text{НБ}} = \Delta U_{A2} = 2,076 \text{ кВ}.$

Похибка розрахунку найбільшої втрати напруги дорівнює:

$$\Delta U_{A2} - \Delta U_{A21} = 0,46 \text{ кВ}.$$

## 2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДСТАНЦІЇ

Вибираємо потужність силових трансформаторів для підстанції з максимальною потужністю активного навантаження  $P_{\text{макс}}=12 \text{ МВт}$  і  $\cos\phi=0,91$ .

Від підстанції живляться споживачі всіх категорій. Еквівалентна температура навколишнього середовища становить  $-20^\circ\text{C}$ .

Таблиця 2.1 – Вихідні дані підстанції

$P_{\text{ном. нав}}, \text{ МВт}$	$\cos\phi_{\text{нав}}$	$X_{L1}, \text{ Ом}$	$X_{L2}, \text{ Ом}$	$S_{\text{кз. с}}, \text{ МВА}$	$t, ^\circ\text{C}$
12	0,91	12	22	2500	-20

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для графіку навантаження

Навантаження в % від номінальної потужності											
0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22

					БР 5.6.141.012 ПЗ						Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата							25

60	30	60	80	90	70	80	105	95	110	120	108
----	----	----	----	----	----	----	-----	----	-----	-----	-----

## 2.1 ВИБІР ПОТУЖНОСТІ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Повна потужність навантаження підстанції становить:

$$S_{\max} = \frac{P_{\text{ном.наб}}}{\cos\varphi_{\text{наб}}} = \frac{12}{0,91} = 13,18 \text{ МВА}$$

З урахуванням припустимого аварійного перевантаження на 40% понад номінальне значення потужність трансформатора складе:

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\max}}{k_{\text{ан}}} = \frac{16}{1,4} = 9,4 \text{ МВА}$$

Для підстанції були обрані трансформатори потужністю 10 МВА типу ТДН. Більш точно вибір можна зробити, якщо врахувати графік навантаження.

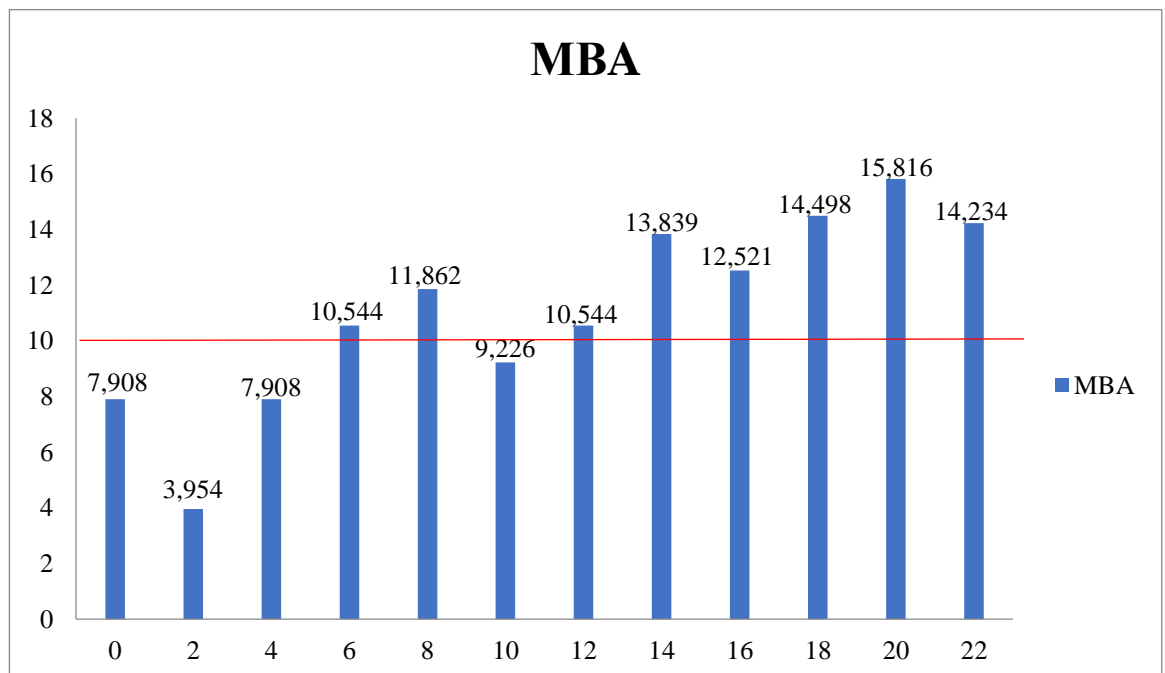


Рисунок 2.1 – Графік навантаження

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

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{НОМ}}} \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}},$$

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

$t_1, t_2, \dots, t_n$  - тривалість ступеня, година.

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

$$K_2 = \frac{1}{S_{\text{НОМ}}} \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}},$$

де  $S_1, S_2, \dots, S_n$  - навантаження вище лінії номінальної потужності трансформатора.

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{НОМ}}} \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + S_3^2 t_3 + S_6^2 t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_6}} = 0,751$$

$$K_2 = \frac{1}{S_{\text{НОМ}}} \sqrt{\frac{S_4^2 t_4 + S_5^2 t_5 + S_7^2 t_7 + S_8^2 t_8 + S_9^2 t_9 + S_{10}^2 t_{10} + S_{11}^2 t_{11} + S_{12}^2 t_{12}}{t_4 + t_5 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{12}}} = 1,311$$

Максимальне перевантаження трансформатора складає:

$$K_{\text{max}} = \frac{S_{\text{max}}}{S_n} = \frac{15.816}{10} = 1,582$$

$$K_2 = 0,9 \cdot K_{\text{max}} = 0,9 \cdot 1,582 = 1,4238$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	АДК	№ докцм.	Підпис	Дата		27

Оскільки  $K_2 < K_2^*$ ,  $1,379 < 1,4238$  то остаточно беремо  $K_2 = 1,4238$ . Згідно з ГОСТом 14209-85 значення  $K_2 = 1,379$  менше ніж реальне, проте для аварійного режиму  $K_2 = 1,6$ . Для систематичних навантажень не можна виключати 1 трансформатор, а за аварійним навантаженням ТРД-10000/110 нам підходить.

## 2.2 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору устаткування на стороні 110 кВ і 10 кВ. Підстанція живлення за двома тупиковими лініями: схеми заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 2.2.

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центра живлення складає  $S_{КЗ.С.} = 2500$  МВА.

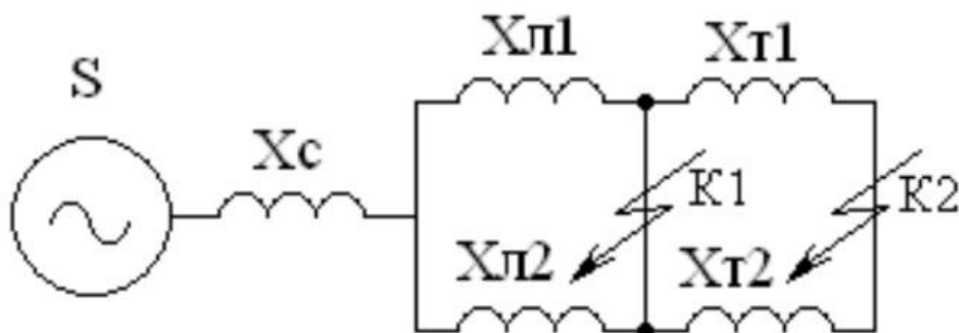


Рисунок 2.2 – Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

Опір системи дорівнює:

$$X_c = \frac{U_B^2}{S_c} = 4,172 \text{ Ом};$$

Опір працюючих ліній:

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		28

$$X_L = \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} = 7,765 \text{ Ом};$$

Опір трансформаторів:

$$X_T = \frac{U_K \% \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{НОМ}}} = 127,05 \text{ Ом};$$

Періодична складова СКЗ у точці К<sub>1</sub>:

$$I_{K1} = \frac{U_B}{\sqrt{3}(X_C + X_L)} = 5,32 \text{ кА};$$

Періодична складова СКЗ у точці К<sub>2</sub>:

$$I_{K2} = \frac{U_B}{\sqrt{3}(X_C + X_L + X_T)} \cdot \frac{U_B}{U_H} = 9,258 \text{ кА};$$

Ударний струм:

$$\text{в точці К}_1: i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K1} = 12,11 \text{ кА};$$

$$\text{в точці К}_2: i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K2} = 21,08 \text{ кА}.$$

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

$$I_{нт} = I_{K1} = 5,32 \text{ кА для точки К}_1;$$

$$I_{нт} = I_{K2} = 9,258 \text{ кА для точки К}_2.$$

Аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів вимикача:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{нт} \cdot e^{-\left(\frac{t}{T_a}\right)} \quad (2.1)$$

Де  $T_a$  – постійна часу затухання аперіодичної складової;

$$T_{a1} = 0,025 \text{ с}; T_{a2} = 0,05 \text{ с}; t_1 = 0,06 \text{ с}; t_2 = 0,1 \text{ с}.$$

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot I_{нт1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{T_a}\right)} = 0,683 \text{ кА};$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot I_{нт2} \cdot e^{-\left(\frac{t}{T_a}\right)} = 1,772 \text{ кА}.$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	АДК	№ докцм.	Підпис	Дата		29

Інтеграл Джоуля (термічна стійкість):

- для  $K_1$ :  $W_R = I_{K1}^2 \cdot (t + Ta) = 2,41 \text{ кА}^2\text{с}$ ;
- для  $K_2$ :  $W_R = I_{K2}^2 \cdot (t + Ta) = 12,86 \text{ кА}^2\text{с}$ .

Результати розрахунків заведені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків струмів КЗ

Точка КЗ	Період.склад. струму КЗ в поч. момент часу, кА	Ударний струм КЗ, кА	Період.склад. струму КЗ в момент спрац. вимикача, кА	Аперіод.склад. струму КЗ, кА	Інтеграл Джоуля $\text{кА}^2\cdot\text{с}$
Шини 110 кВ ( $K_1$ )	5,32	12,11	5,32	0,683	2,41
Шини 10 кВ ( $K_2$ )	9,258	21,08	9,258	1,722	12,86

### 2.3 ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНИХ АПАРАТІВ РП ЕЛЕКТРИЧНИХ ЧАСТИН

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

- 1) вибір за напругою;
- 2) вибір за нагріванням при тривалих струмах;
- 3) перевірка на електродинамічну стійкість;
- 4) перевірка на термічну стійкість;
- 5) вибір з виконання (для зовнішньої або внутрішньої установки).

Вибору підлягають:

- вимикачі на боці вищої напруги;
- вступні вимикачі на боці 10 кВ;
- секційні вимикачі на боці 10 кВ;

- вимикачі ліній, що відходять, 10 кВ; роз'єднувачі вищої напруги;
- трансформатори типу і напруги 110 кВ і 10 кВ;
- ошиновка розподільних пристроїв 110 кВ і 10 кВ.

Для вибору апаратів і струмоведучих частин необхідно визначити струми нормального і післяаварійного режимів. Визначення струмів виконується для випадку установки на підстанції силового трансформатора. Розрахованого відповідно до графіка навантаження підстанції.

Максимальний струм на зовнішньому боці

$$I_{110 \text{ MAX}} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 73,481 \text{ А};$$

Струм у колі вступних вимикачів на боці 10 кВ:

$$I_{10}^B = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 808,29 \text{ А};$$

Струм у колі секційного вимикача:

$$I_{10}^{C.B} = \frac{0,7 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 404,145 \text{ А};$$

Струм у колі лінії, що відходить, (якщо від підстанції відходить 10 ліній):

$$I_{10}^{\text{omx}} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10} = 80,829 \text{ А}.$$

Таблиця 2.4 – Вибір вимикачів на напрузі 110 кВ. Каталожні параметри вимикача узяті з довідника. Попередньо вибираємо ВВУ-110Б 40/2000У1.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{\text{роз}} \leq I_{\text{ном}}$	73,481 А	2000 А
$I_{\text{ПО}} \leq I_{\text{прСКВ}}$	5,32 кА	40 кА
$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{СКВ}}$	12,11 кА	102 кА
$I_{\text{п т}} \leq I_{\text{отк ном}}$	5,32 кА	31,5 кА
$I_{\text{а т}} \leq I_{\text{а ном}}$	0,683 кА	9,2 кА
$W_K \leq I_T^2 t_T$	2,41 кА <sup>2</sup> ·с	4800 кА <sup>2</sup> ·с

Обраний вимикач цілком задовольняє умови вибору.

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		31

Таблиця 2.5 – Вибір вимикачів у колі трансформатора на напрузі 10 кВ.  
Попередньо вибираємо ММГ-10-4000-45УЗ.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{роз} \leq I_{ном}$	808,29 А	4000 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	9,258 кА	45 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	21,08 кА	120 кА
$I_{п\tau} \leq I_{отк\ ном}$	9,258 кА	45 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	1,722 кА	45 кА
$W_K \leq I_{Тг}^2 t_g$	12,86 кА <sup>2</sup> с	8100 кА <sup>2</sup> с

Обраний вимикач цілком задовольняє умови вибору.

Таблиця 2.6 – Вибір секційного вимикача на напрузі 10 кВ. Попередньо вибираємо ВМПЭ-10-3150-31,5УЗ.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{роз} \leq I_{ном}$	404,145 А	3150 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	9,258 кА	31,5 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	21,08 кА	80 кА
$I_{п\tau} \leq I_{отк\ ном}$	9,258 кА	31,5 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	1,722 кА	31,5 кА
$W_K \leq I_{Тг}^2 t_g$	12,86 кА <sup>2</sup> с	3969 кА <sup>2</sup> с

Обраний вимикач цілком задовольняє умови вибору.

Таблиця 2.7 – Вибір лінійних вимикачів на напрузі 10 кВ. Попередньо вибираємо ВМПЭ-10-630-31,5УЗ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{роз} \leq I_{ном}$	80,829 А	630 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	9,258 кА	31,5 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	21,08 кА	80 кА
$I_{п\tau} \leq I_{отк\ ном}$	9,258 кА	31,5 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	1,722 кА	31,5 кА
$W_K \leq I_{Тг}^2 t_g$	12,86 кА <sup>2</sup> с	3969 кА <sup>2</sup> с

Обраний вимикач цілком задовольняє умови вибору.



Таблиця 2.8 – Вибір роз'єднувачів на напрузі 110 кВ. Попередньо вибираємо ВО-750У1.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	750 кВ
$I_{роз} \leq I_{ном}$	73,481 А	500 А
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	12,11 кА	102 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	2,41 кА <sup>2</sup> ·с	3200 кА <sup>2</sup> ·с

Обраний роз'єднувач цілком задовольняє умови вибору.

## 2.4 ВИБІР ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ І НАПРУГИ

Для ввімкнення електровимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту необхідна установка трансформаторів струму і напруги. У даному проекті релейний захист детально не розробляється, тому перевірку трансформаторів за вторинним навантаженням виконуємо з урахуванням ввімкнення тільки вимірювальних приладів.

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

Таблиця 2.9 - Вторинне навантаження трансформаторів струму

Прилад	Тип	Клас	Навантаження по фазах, ВА		
			А	В	С
Амперметр	Э-335	1	0,5	0,5	0,5
Ватметр	Д-335	1,5	0,5	-	0,5
Варметр	Д-335	1,5	0,5	-	0,5

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		33

Лічильник активної енергії	Е-829	0,5	1	-	1
Лічильник реактивної енергії	Е-830	0,5	1	-	1
Фіксуєчий пристрій	ФІП	-	3	3	3
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра з боку НН			6,5	0,5	6,5
Сумарне навантаження струму в колі секц. вимикача на НН			0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра на боці ВН			0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі відхідної лінії			0,5	0,5	0,5

Вибір трансформатора струму наведений у таблицях 2.9-2.11.

Таблиця 2.9 - Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на боці вищої напруги

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{роз} \leq I_{ном}$	73,481 А	75 А
$I_y \leq I_{прСКВ}$	12,11 кА	15 кА
$B_K \leq I_T^2 t_T$	2,41 кА <sup>2</sup> ·с	27 кА <sup>2</sup> ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	0,89 Ом	1,2 Ом

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{прил} = \frac{S_{прил}}{I^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26(\text{Ом})$$

Тоді опір сполучних проводів може бути

$$Z_{пр} = Z_{ном} - Z_{прил} - Z_K$$

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

$Z_{прил}$  – опір приладів, Ом

$Z_K$  – опір контактів, Ом.

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		34

$$Z_{\text{пр}} = 1,2 - 0,26 - 0,1 = 0,84 \text{ (Ом)}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $4 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля  $l=75 \text{ м}$ .

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{F},$$

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

$F$  – перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 75}{4} = 0,53 \text{ (Ом)}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{Н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{К}} = 0,26 + 0,53 + 0,1 = 0,89 \text{ (Ом)}$$

що менше ніж  $1,2 \text{ Ом}$ , припустимих при роботі трансформатора в класі точності  $0,5$ .

Трансформатор струму ТФЗМ-110-Б-1 відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.10 - Вибір трансформатора струму у колі силового трансформатора на боці низької напруги

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{роз}} \leq I_{\text{ном}}$	808,29 А	1000 А
$I_y \leq I_{\text{прСКВ}}$	21,08 кА	100 кА
$B_K \leq I_T^2 t_T$	12,86 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	992,25 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
$Z_H \leq Z_{\text{H.ном}}$	0,35 Ом	0,4 Ом

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 сполучних 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

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		35

$Z_K$  – опір контакрів, Ом.

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 - 0,02 - 0,05 = 0,33 \text{ (Ом)}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $4 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля  $l=40 \text{ м}$ .

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{F},$$

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

$F$  – перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 40}{4} = 0,28 \text{ (Ом)}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_H = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{пр}} + Z_K = 0,02 + 0,28 + 0,05 = 0,35 \text{ (Ом)}$$

що менше ніж  $0,4 \text{ Ом}$ , припустимих при роботі трансформатора в класі точності  $0,5$ .

Трансформатор струму ТОЛ-10 відповідає умовам вибору.

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
$I_{\text{роз}} \leq I_{\text{ном}}$	80,829 А	100 А
$I_y \leq I_{\text{прСКВ}}$	21,08 кА	52 кА
$B_K \leq I_T^2 t_T$	12,86 кА <sup>2</sup> ·с	400 кА <sup>2</sup> ·с
$Z_H \leq Z_{H.\text{ном}}$	0,098 Ом	0,4 Ом

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 сполучних проводів може бути

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_K$$

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

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

$Z_K$  – опір контакрів, Ом.

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		36

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 - 0,02 - 0,05 = 0,33 \text{ (Ом)}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $4 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля  $l=4 \text{ м}$ .

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{F},$$

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

$F$  – перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{\text{пр}} = \frac{0,0283*4}{4} = 0,028 \text{ (Ом)}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{Н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{К}} = 0,02 + 0,028 + 0,05 = 0,098 \text{ (Ом)}$$

що менше ніж  $0,4 \text{ Ом}$ , припустимих при роботі трансформатора в класі точності  $0,5$ .

Трансформатор струму ТЛК-10 відповідає умовам вибору.

Як трансформатори напруги вибираємо на боці  $110 \text{ кВ}$  трансформатори НКФ-110-58У, на боці  $10 \text{ кВ}$  - ЗНОЛ06-10-У3.

## 2.5 ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

Приймачами власних потреб є:

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

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		37

Сумарна розрахункова потужність приймача власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту. Розрахунок потужності приймача власних потреб наведений нижче.

Таблиця 2.12 – Розрахунок потужності приймача власних потреб

Номер по порядку	Найменування споживача	Кількість одиниць	Потужність одиниць, кВт	Коеф. Попиту	cos φ	Споживана Потужність, кВА
1	Охолодження трансформаторів	2	2,5*2	0,8	0,85	5
2	Підігрів високовольтних вимикачів зовнішньої установки	2	1,8*2	0,8	1	3,6
3	Підігрів приводів роз'єднувачів зовнішньої установки	2	2*0,6	0,8	1	1,2
4	Опалення, освітлення, вентиляція закритого РП	-	7	0,8	1	7
5	Освітлення ВРП	-	2	0,8	1	2
Сумарне навантаження власних потреб кВА					18,8	3,09

Визначимо розрахункове навантаження при коефіцієнті попиту 0,8.

$$S_{\text{роз}} = k_{\text{попиту}} * \sqrt{P_{\text{сум}}^2 + Q_{\text{сум}}^2} = 0,8 * \sqrt{353,44 + 9,54} = 15,24 \text{ (кВА.)}$$

(2.2)

На підстанції передбачається встановлення двох трансформаторів власних потреб. Номінальна потужність вибирається з умови:

$$S_{\text{ТВП}} \geq S_{\text{роз}}/k_{\text{ар}}$$

-де  $S_{ТВП}$  потужність тр. власних потреб, кВА.,  $k_{ар}$  коефіцієнт допустимого авар. Перевантаження.

Беремо стандартну потужність трансформатора  $S_{ТВП}=25$  кВА.

$$S_{ТВП} = 25 \geq \frac{S_{роз}}{k_{ар}} = 10,88 \text{ (кВА.)} \quad (2.3)$$

Для живлення споживача власних потреб беремо два трансформатори ТМ-25/10.

### 3 РОЗРАХУНОК ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА З ЗАСТОСУВАННЯМ РЕЛЕ ДЗТ-11

Виконую розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту від усіх видів замикань на виводах і в обмотках сторін з заземленою нейтраллю, а також від багатofазних замикань на виводах і в обмотках сторін з ізолюваною нейтраллю. Також буду виконувати розрахунок захисту за допомогою реле ДЗТ-11. Опір системи:

$$X_{с,макс} = 12 \text{ Ом}, X_{с,мін} = 18 \text{ Ом}$$

Розраховую диференційний захист трансформатора ТРДЦН-25000/110, виконаного з застосуванням реле ДЗТ-11. Схема та параметри трансформатора наведені на рис. 3.1.

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		39

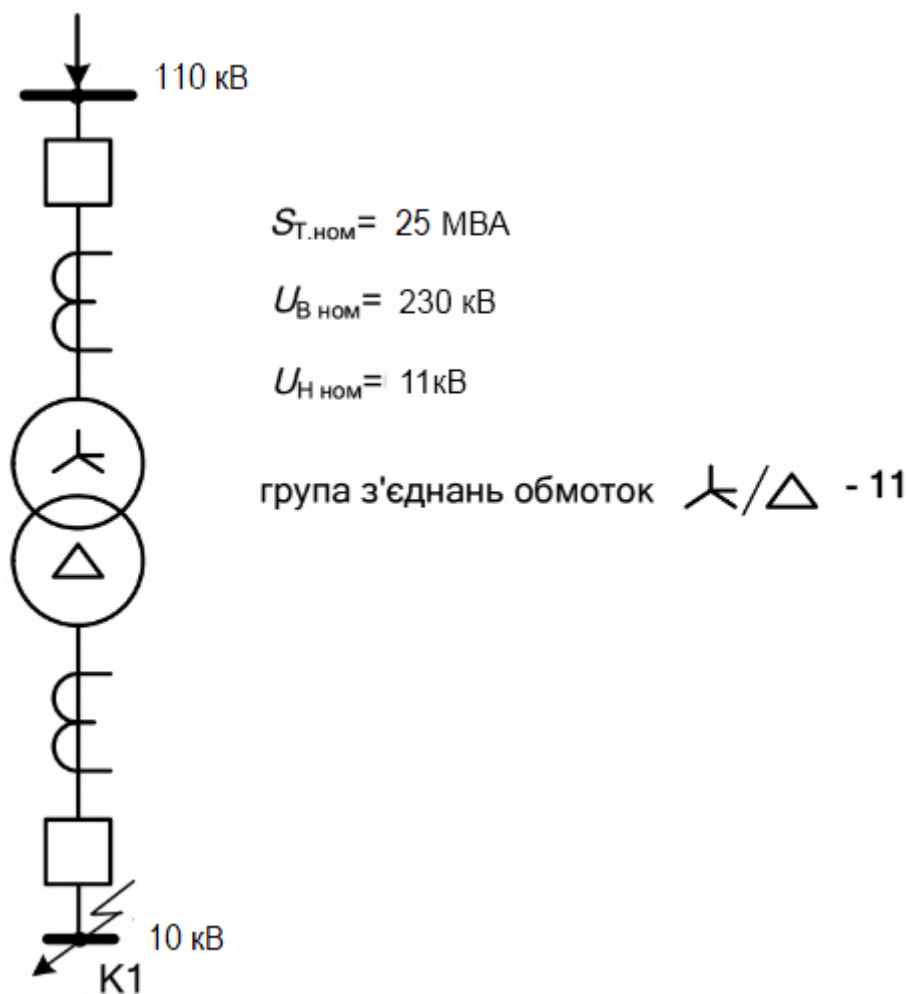


Рисунок 3.1 – Схема та параметри трансформатора

Таблиця 3.1 Каталожні дані трансформатора

Тип трансформатора	$S_H$ , МВА	Каталожні дані							
		$U_{ном}$ , кВ		$U_K$ , %	$\Delta P_K$ , кВт	$\Delta P_X$ , кВт	$I_x$ , %	Регулювання напруги	
		ВН	НН					Кі-льк ст.	% на ст..
ТДН-25000/110	25	115	6,3; 10,5	10,5	120	25	0,75	±2	2,5

Розрахуємо реактивні опори трансформатора:

$$X_T = \frac{U_K U_H^2}{100 \cdot S_H} = \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 25} = 55,55 \text{ Ом};$$

$$X_{Tm} = X_T \left(1 \pm \frac{\Delta U}{100}\right)^n \quad (3.1)$$



$\Delta U$  – половина діапазону регулювання напруги трансформатора пристроєм РПН.  $n$ –показник ступеня. Згідно каталожним даним діапазон регулювання напруги трансформатора пристроєм РПН  $\pm 9 \cdot 1,78\%$ . Тоді :

$$\Delta U = \frac{1}{2} (9 \cdot 1,78) = 8$$

$n$  – для трансформаторів напругою 110 кВ  $\approx 2,5$ , тоді:

$$X_{T \text{ мін}} = X_T \left( 1 - \frac{8}{100} \right) = 47,01 \text{ Ом};$$

$$X_{T \text{ макс}} = X_T \left( 1 + \frac{8}{100} \right) = 64,79 \text{ Ом}.$$

### 3.1 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ

Визначимо мінімальний та максимальний струми трифазного КЗ у точці К1:

$$I_{\text{к.з.макс}}^{(3)} = \frac{U_{\text{с.ном}}}{\sqrt{3} \cdot (X_{\text{с макс}} + X_{T \text{ мін}})} = 1076 \text{ А};$$

$$I_{\text{к.з.мін}}^{(3)} = \frac{U_{\text{макс}}}{\sqrt{3} \cdot (X_{\text{с мін}} + X_{T \text{ макс}})} = 878,71 \text{ А}.$$

Визначимо струм спрацювання захисту з умови відведення від стрибка струму намагнічування:

$$I_{\text{с.з.}} = k_{\text{від}} \cdot k_{\text{виг}} \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = 98,41 \text{ А}.$$

де  $k_{\text{від}} = 1,5$  – коефіцієнт відведення для реле серії ДЗТ-11;  $k_{\text{виг}}$  – коефіцієнт вигідності, для трансформаторів  $k_{\text{виг}} = 1$ .

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		41

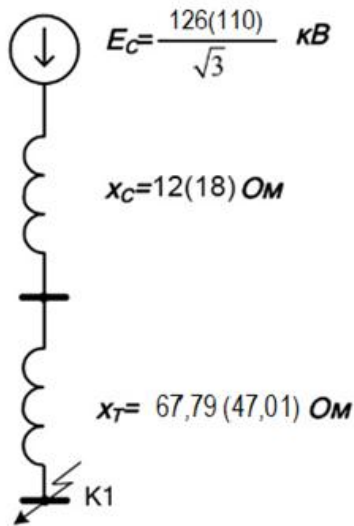


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема для обчислень струмів КЗ

### 3.2 ОБЧИСЛЕННЯ НОМІНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ

Таблиця 3.2 – Обчислення номінальних параметрів

Назва	Розрахунковий вираз	Числові значення	
		110кВ	10 кВ
Первинний номінальний струм, А	$I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}$	$\frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 124$	$\frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1375$
Схема з'єднань трансформаторів струму		$\Delta$	$\star$
Коефіцієнт схеми	$k_{СХ}^{(3)}$	$\sqrt{3}$	1
Коефіцієнти трансформації трансформаторів струму	$k_{ТА}$	150/5	2000/5
Номінальний вторинний струм плеч захисту, А	$I_{НОМ.2} = \frac{I_{НОМ} k_{СХ}^{(3)}}{k_{ТА}}$	$\frac{124 \cdot \sqrt{3}}{750/5} = 7,16$	$\frac{1375 \cdot 1}{10000/5} = 3,4$

Струм спрацювання  $I_{с.з.}$  приводимо до основної сторони

$$I_{с.з.} = 98,41 \frac{115}{10,5} = 1078 \text{ А.}$$

### 3.3 ОБЧИСЛЕННЯ ВИТКІВ РЕЛЕ ДЗТ-11

Таблиця 3.3 – Обчислення витків реле ДЗТ-11

Назва	Розрахунковий вираз	Числове значення
Струм спрацювання на основній стороні, А	$I_{с.р.осн} = \frac{I_{с.з.} \cdot k_{сх}^{(3)}}{k_{ТА}}$	$\frac{1078 \cdot 1}{2000/5} = 2,695$
Кількість витків основної сторони: – розрахункова – прийнята	$\omega_{осн.розр} = \frac{F_{с.р.}}{I_{с.р.осн}}$ $\omega_{осн} \leq \omega_{осн.розр}$	$\frac{100}{2,695} = 37,111$ 37
Кількість витків неосновної сторони: – розрахункова – прийнята	$\omega_{неосн.розр} = \omega_{осн} \cdot \frac{I_{ном.осн}}{I_{ном.неосн}}$ $\omega_{неосн}$	$37 \cdot \frac{3,4}{7,16} = 17,766$ 18
Прийнята кількість витків обмоток: – диференційної – зрівнювальної	$\omega_{диф} = \omega_{осн} - \omega_{зр2}$ $\omega_{зр1} = \omega_{неосн} - \omega_{диф}$	18=37-19 0=18-18
Відносний струм небалансу, зумовлений цілочисельністю витків неосновної обмотки	$I_{нб.одн} = \frac{\omega_{неосн.розр} - \omega_{неосн}}{\omega_{неосн.розр}}$	$\frac{17,7 - 18}{2,695} = -0,013$ -0,013 < 0,05
Струм небалансу	$I_{нб.розр} = I_{*н.б.розр} \cdot I_{к.з.макс}^{(3)}$ $= (I_{нб.вир} + I_{нб.рег} + I_{нб.одн}) \cdot I_{к.з.макс}^{(3)}$	(0,01 + 0,16 + 0,007) · I <sub>к.з.макс</sub> <sup>(3)</sup> = 0,267 · I <sub>к.з.макс</sub> <sup>(3)</sup>
Кількість витків обмотки гальмування: – розрахункова – прийнята	$\omega_{г.розр} = k_{від} \cdot \frac{I_{нб.розр} \cdot \omega_{диф}}{I_{к.з.макс}^{(3)} \cdot tga}$ $\omega_{г.} \geq \omega_{г.розр}$	$1,5 \cdot \frac{0,267 \cdot I_{к.з.макс}^{(3)} \cdot 18}{I_{к.з.макс}^{(3)} \cdot 0,75} = 9,612$ 8

Коефіцієнт чутливості за відсутності гальмування	$k_{\text{ч}} = \frac{k_{\text{сх}}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к.з.мін}}^{(3)} \cdot \omega_{\text{неосн}}}{k_{\text{ТА}} \cdot F_{\text{с.р.}}}$	$\frac{\sqrt{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 878,71 \cdot 18}{150/5 \cdot 100} = 7,908 > 2,0$
--	--	---

Оскільки трансформатор має одностороннє живлення, гальмівна обмотка приєднана зі сторони низької напруги, коефіцієнт чутливості захисту з врахуванням гальмування не розраховують – за короткого замикання в зоні дії захисту обмотка гальмування на роботу реле не впливає.

На рис. 3.3 наведена схема приєднання реле ДЗТ-11/5 диференційного захисту двообмоткового трансформатора.

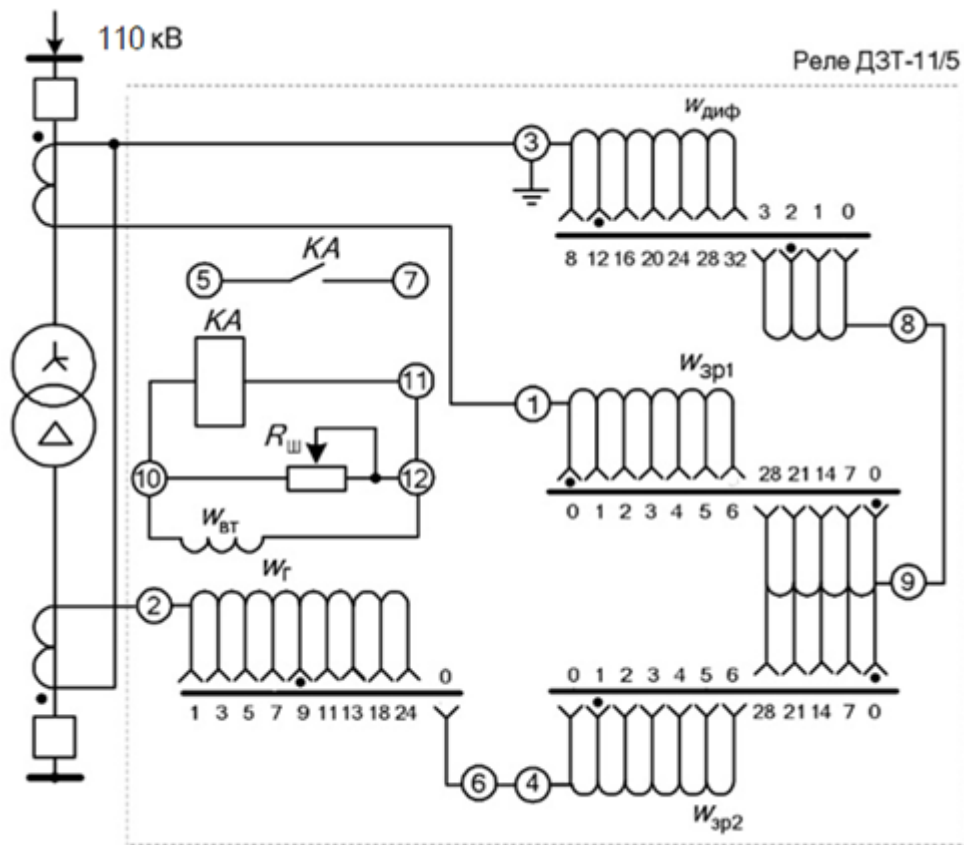


Рисунок 3.3 – Схема приєднання реле ДЗТ-11/5

#### 4 РОЗРАХУНОК ЗОН ЗАХИСТУ СТРИЖНЕВИХ БЛИСКАВКОВІДВОДІВ ВРП

Розрахувати висоту і зону захисту блискавковідводів ВРП-110 кВ, встановлених на двох порталах, рис. 4.1 (поз. 1 і 2), і двох блискавковідводів, що стоять окремо, зазначених на рис. 4.1 (поз. 3 і 4), вважаючи, що блискавковідводи розташовані симетрично по відношенню до вузької сторони ВРП. Надійність зони захисту від уражень блискавки  $P = 0,999$ .

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

Параметри розміщення блискавковідводів по площині ВРП наведені в табл. 4.1

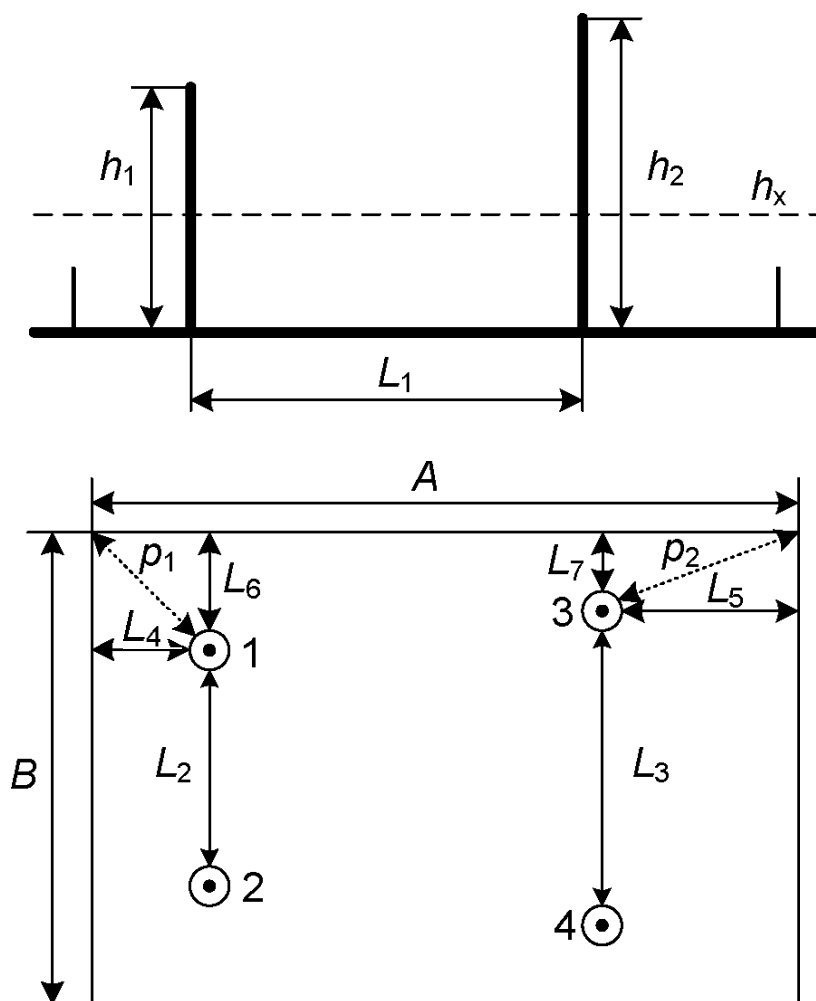


Рисунок 4.1 – Схема розміщення стрижневих блискавковідводів ВРП-110 кВ

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		45

Таблиця 4.1 – Розрахункові параметри

A, м	B, м	L <sub>1</sub> , м	L <sub>2</sub> , м	L <sub>3</sub> , м	L <sub>4</sub> , м	L <sub>5</sub> , м	h <sub>x</sub> , м
44	44	28	20	32	8	8	6

Зони захисту блискавковідводів висотою  $h < 30$  м були визначені на основі великих лабораторних досліджень. Надійність їх підтверджена тривалим досвідом експлуатації. Вони увійшли як складова частина до низки нормативних документів. Потім встановлені зони захисту були поширені на блискавковідводи висотою до 100 м, при цьому було введено виправлення, що враховує зниження ефективності блискавковідводів висотою більше 30 м унаслідок бічних ударів блискавки, що уражають блискавковідводи в точках нижче його вершини. У даний час у зв'язку з потребами практики нормовані зони захисту блискавковідводів висотою до 150 м.

#### 4.1 ЗОНА ЗАХИСТУ ОДИНИЧНОГО СТРИЖНЕВОГО БЛИСКАВКОВІДВОДУ

Стандартною зоною захисту одиничного стрижневого блискавковідводу висотою  $h$  є круговий конус висотою  $h_0 < h$ , вершина якого співпадає з вертикальною віссю блискавковідводу рис. 4.2. Габарити зони визначаються двома параметрами: висотою конуса  $h_0$  і радіусом конуса на рівні землі  $r_0$ .

Наведені нижче розрахункові формули (табл. 4) придатні для блискавковідводів висотою до 150 м. При більш високих блискавковідводах слід користуватися спеціальною методикою розрахунку.

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		46

Для зони захисту одиничного стрижньового блискавковідводу необхідної надійності радіус горизонтального перерізу  $r_x$  на висоті  $h_x$  визначаються за формулою:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} \quad (4.1)$$

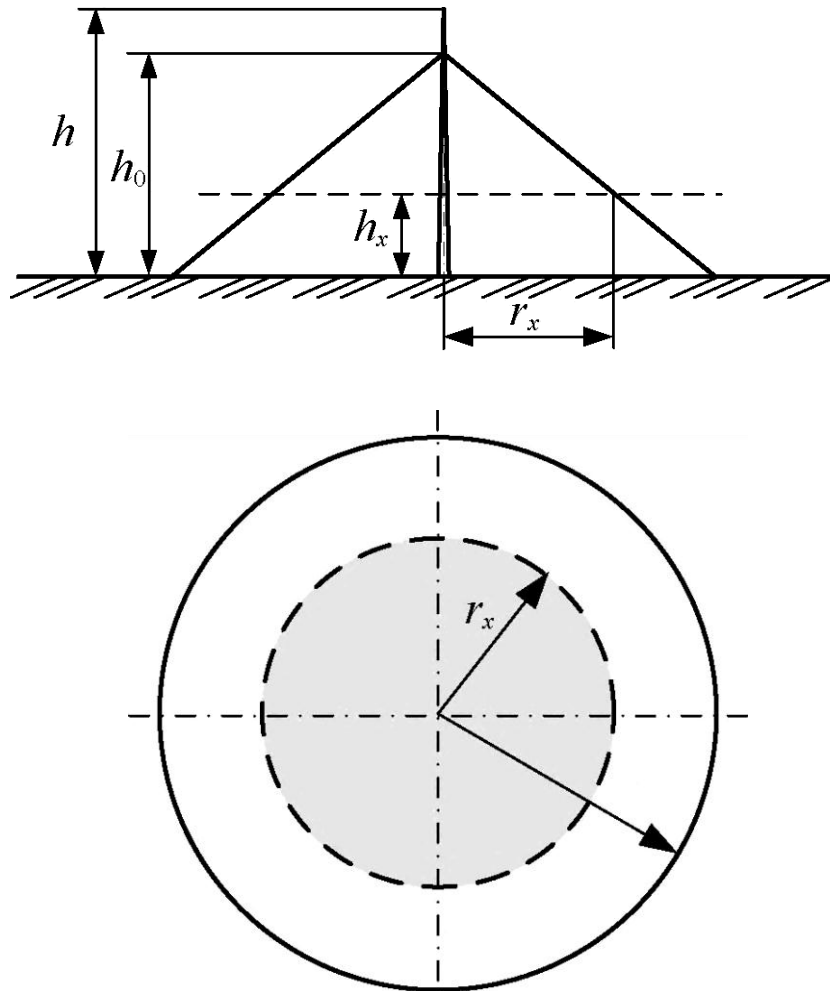


Рисунок 4.2 — Перетин зони захисту стрижньового блискавковідводу

$h$  – висота блискавковідводу;  $h_0$  – висота конуса;  $r_0$  – радіус конуса;  $r_x$  – радіус горизонтального перерізу на висоті  $h_x$ .

Таблиця 4.2 – Розрахунок зони захисту одиничного стрижньового блискавковідводу

Надійність	Висота	Висота конуса	Радіус конуса $r_0$ , м
------------	--------	---------------	-------------------------

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		47

захисту $P_3$	блискавко-відводу $h$ , м	$h_0$ , м	
0,999	Від 0 до 30	0,7h	0,6h
	Від 30 до 100	$(0.7-7.14 \cdot 10^{-4} (h-30))h$	$(0.6-1.43 \cdot 10^{-3} (h-30))h$
	Від 100 до 150	$(0.65-10^{-3} (h-100))h$	$(0.5-2 \cdot 10^{-3} (h-100))h$

Визначимо відстані L6 та L7.

$$L6=(B-L2)/2=(44-20)/2=12 \text{ м}$$

$$L7=(B-L3)/2=(44-32)/2=6 \text{ м}$$

Визначимо відстані P1 та P2

$$P_1 = \sqrt{L6^2 + L4^2} = 14,42 \text{ м}$$

$$P_2 = \sqrt{L7^2 + L5^2} = 10 \text{ м}$$

Розрахуємо висоти блискавковідводів 1 та 2:

$$\begin{cases} h_{01} = 0,7h \\ r_{x1} = \frac{r_{01}(h_{01}-h_x)}{h_{01}} \\ r_{01} = 0,6h_1 \end{cases} \quad r_{x1}=P_1$$

$$P_1 = \frac{0,6 \cdot h_1(0,7h_1 - h_x)}{h_1}$$

$$0,42h_1^2 - (0,7P_1 + 0,6h_x) \cdot h_1 = 0$$

$$h_1 = 0;$$

$$h_1 = 32,6 \text{ м}$$

$h_1=h_2=32,6$  м, що не задовольняє умову  $h \leq 30$  м.

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		48



$$\begin{cases} h_{01} = [0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h_1 \\ r_{x1} = \frac{r_{01}(h_{01} - h_x)}{h_{01}} \\ r_{01} = [0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h_1 \end{cases} \quad r_{x1}=P_1$$

$$P_1 = \frac{[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h_1([0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h_1 - h_x)}{h_1}$$

$$h_1 = 0;$$

$$h_1 = 30,8 \text{ м}$$

Остаточно приймаємо блискавковідводи 1 та 2  $h_1=h_2=30,8 \text{ м}$

Розрахуємо висоти блискавковідводів 3 та 4:

$$\begin{cases} h_{03} = 0,7h \\ r_{x3} = \frac{r_{03}(h_{03} - h_x)}{h_{03}} \\ r_{03} = 0,6h_3 \end{cases} \quad r_{x3}=P_2$$

$$P_2 = \frac{0,6 \cdot h_3(0,7h_3 - h_x)}{h_3}$$

$$0,42h_3^2 - (0,7P_3 + 0,6h_x) \cdot h_3 = 0$$

$$h_3 = 0;$$

$$h_3 = 25,24 \text{ м}$$

Остаточно приймаємо блискавковідводи 3 та 4  $h_3=h_4=25,24 \text{ м}$

Розрахуємо зони захисту блискавковідводів 1 та 2:

$$L_{12} = L_2 = 26 \text{ м}$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	АДК	№ докцм.	Підпис	Дата		49

$$r_{01}=r_{02}=(0,6-1,43 \cdot 10^{-3}(h_1-30)) \cdot h_1=18,45 \text{ м}$$

$$h_{01}=h_{02}=0,7 \cdot h_1=0,7 \cdot 30,8=21,56 \text{ м}$$

$$r_{x1} = \frac{r_{01}(h_{01} - h_x)}{h_{01}} = \frac{18,45 \cdot (21,56 - 6)}{21,56} = 13,32 \text{ м}$$

$$L_{c12}=(2,25-0,01007(h_1-30)) \cdot h_1=2,25 \cdot 26,52=69,05 \text{ м}$$

$$L_{\max 12}=(4,25-3,57 \cdot 10^{-3}(h_1-30)) \cdot h_1=130,81 \text{ м}$$

$$h_c=h_{01}=21,56 \text{ (м)} \quad L_{12} \leq L_{c12}$$

$$r_{cx12} = \frac{r_{01}(h_{c12}-h_x)}{h_{c12}} = 13,32 \text{ м}$$

Розрахуємо зони захисту блискавковідводів 3 та 4:

$$L_{34}=L_3=32 \text{ м}$$

$$r_{03} = r_{04} = 0,6 \cdot h_3 = 15,14 \text{ м}$$

$$h_{03} = h_{04} = 0,7 \cdot h_3 = 17,67 \text{ м}$$

$$r_{x3} = r_{x4} = \frac{r_{03}(h_{03} - h_x)}{h_{03}} = 10 \text{ м}$$

$$L_{c34}=2,25 \cdot h_3=56,76 \text{ м}$$

$$L_{\max 34}=4,25 \cdot h_3=107,27 \text{ м}$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		50

$$hc=h_{03}=17,67 \text{ м} \quad L_{34} \leq Lc_{34}$$

$$r_{cx34} = \frac{r_{03}(hc_{34} - h_x)}{hc_{34}} = 10 \text{ м}$$

Розрахуємо параметри зони захисту блискавковідводів 1 та 3:

$$L_{13} = \sqrt{L_1^2 + \left(\frac{L_3 - L_2}{2}\right)^2} = 28,64 \text{ м}$$

Блискавковідводи 1 та 3 мають висоту  $h_1=30,8 \text{ м}$

$$Lc_{12}=(2,25-0,01007(h_1-30)) \cdot h_1=69,05 \text{ м}$$

$$L_{max12}=(4,25-3,57 \cdot 10^{-3}(h_1-30)) \cdot h_1=130,81 \text{ м}$$

$$hc_{13}=h_{01}=21,56 \text{ м} \quad L_{13} \leq Lc_{13}$$

Блискавковідводи 1 та 3 мають висоту  $h_3=25,24 \text{ м}$

$$Lc_{12}=2,25 \cdot h_3=56,79 \text{ м}$$

$$L_{max12}=4,25 \cdot h_3=107,27 \text{ м}$$

$$hc_{31}=h_{03}=17,67 \text{ м} \quad L_{13} \leq Lc_{13}$$

$$\begin{cases} hc \min_{13} = \frac{hc_{13} + hc_{31}}{2} = 19,62 \text{ м} \\ rc_{013} = \frac{r_{01} + r_{03}}{2} = 16,8 \text{ м} \\ rcx_{13} = \frac{rc_{013}(hc \min_{13} - h_x)}{hc \min_{13}} = 11,66 \text{ м} \end{cases}$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	АДК	№ докцм.	Підпис	Дата		51

Розрахуємо параметри зони захисту блискавковідводів 1 та 4:

$$L_{14} = \sqrt{L_1^2 + \left(L_2 + \frac{L_3 - L_2}{2}\right)^2} = 123,22 \text{ м}$$

Блискавковідводи 1 та 4 мають висоту  $h_1=30,8$  м

$$L_{c14} = (2,25 - 0,01007(h_1 - 30)) \cdot h_1 = 60,05 \text{ м}$$

$$L_{\max 14} = (4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h_1 - 30)) \cdot h_1 = 130,81 \text{ м}$$

$$h_{c14} = h_{01} = 21,56 \text{ м} \quad L_{14} \leq L_{c14}$$

Блискавковідводи 1 та 4 мають висоту  $h_4=25,24$  м

$$L_{c14} = 2,25 \cdot h_4 = 56,79 \text{ м}$$

$$L_{\max 14} = 4,25 \cdot h_4 = 107,27 \text{ м}$$

$$h_{c41} = h_{03} = 17,67 \text{ м} \quad L_{14} \leq L_{c14}$$

$$\begin{cases} hc \min_{14} = \frac{hc_{14} + hc_{41}}{2} = 19,62 \text{ м} \\ rc_{014} = \frac{r_{04} + r_{04}}{2} = 16,8 \text{ м} \\ rcx_{14} = \frac{rc_{014}(hc \min_{14} - hx)}{hc \min_{14}} = 11,66 \text{ м} \end{cases}$$

					БР 5.6.141.012 ПЗ	АДК.
Змін.	АДК	№ докцм.	Підпис	Дата		52

## ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі було виконано розрахунок нормального режиму електричної мережі та високовольтної підстанції. Було проведено розрахунок обладнання. Також було розраховано релейний захист підстанції та блискавкозахист.

Для даної схеми було розраховано струми та напруги на ділянках, що з'єднують трансформаторні підстанції. Також було здійснено вибір трансформаторів та проведена перевірка надійності мережі у випадку аварійної ситуації та в режимі мінімальних навантажень.

Також були проведені розрахунки електричної частини підстанції. Для неї були обрані два трансформатори потужністю 10 МВА типу ТРД. Були розраховані струми КЗ та на основі них було обрано високовольтні апарати розподільчого пристрою. Для ВН був обраний вимикач типу ВВУ-110Б - 40/2000У1, вимикач у колі трансформатора з НН – типу ММГ-10-4000-45У3, секційний вимикач НН – типу ВМПЭ-10-3150-31,5У3, вимикач на лінії НН – типу ВМПЭ-10-630-31,5У3, а також роз'єднувачі типу ВО-750У1. Було обрано трансформатор струму ТОЛ-10 та трансформатори напруги НКФ-110-58У та ЗНОЛ06-10-У3. Трансформатори власних потреб - ТМ-25/10.

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

А також було розглянуто питання блискавкозахисту та проведено розрахунок зони захисту одиночного стрижньового блискавковідводу.

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		53

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 141–Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/Освітня програма «Електротехнічні системи електроспоживання»/ укладачі: І.Л. Лебединський, І.І. Борзенков – Суми: СумДУ, 2019. – 40 с.
2. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки
3. Програма курсу, контрольні завдання і методичні вказівки до виконання курсового проекту «Електрична частина станцій та підстанцій» для студентів спеціальності 6.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання» усіх форм навчання / Укладачі: Д.В. Муриков, І.Л. Лебединський, П.О. Василега, С.М. Лебедка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2017. – 34 с.
4. Основи проектування та експлуатації електричної частини електричних станцій: Навчально-методичний посіб. / Уклад.: М. В. Костерев, Є. І. Бардик, Ю. В. Безбереж'єв та ін. – К.: ІВЦ. “Видавництво «Політехніка»”, 2003. – 120 с.
5. Шабад М.А. Трансформаторы тока в схемах релейной защиты, 2002.
6. Беляков Ю.С. Расчетные схемы замещения трансформаторов и автотрансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой и особенности расчета токов короткого замыкания с их учетом, 2001.
7. Жуков С.Ф. Расчет защит трансформаторов и автотрансформаторов. Учебное пособие. – Мариуполь: 2001.
8. Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу ‘Релейная защита и Автоматика’ Составители В.С. Ноздренков, В.И. Романовский – Сумы, СумГУ, 2008

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		54

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

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

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

12. Черкасова Н.И. Электропитающие системы и электрические сети: Учебное пособие для студентов специальности 140211 всех форм обучения/Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2010. – 202 с.

13. Програма курсу, контрольні завдання і методичні вказівки до виконання курсового проекту «Електрична частина станцій та підстанцій» для студентів спеціальності 6.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання» усіх форм навчання / Укладачі: Д. В. Муриков, І. Л. Лебединський, П. О. Ваислега, С. М. Лебедка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2017. -34 с.

14. Методичні вказівки до проведення практичних занять з курсу “Електричні станції і підстанції” зі спеціальності 6.000008 “Енергоменеджмент” профілізації “Електроенергетичні системи” / Укладачі: Д.В.Муриков, І.Л.Лебединський, П.О.Василега. – Суми: Вид-во СумДУ, 2005.-93 с.

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

16. 14.Методичні вказівки до виконання курсового проекту “Понижувальна підстанція 35/110 кВ” з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій (для студентів 3, 4 курсів денної та 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології” зі спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання”) / Харк. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова;

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
						55
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

уклад.: В. Г. Воропай, В. М. Гаряжа, Є. Д. Дьяков, В. В. Скопенко. – Х.: ХНУМГ, 2014. - 92 с.

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

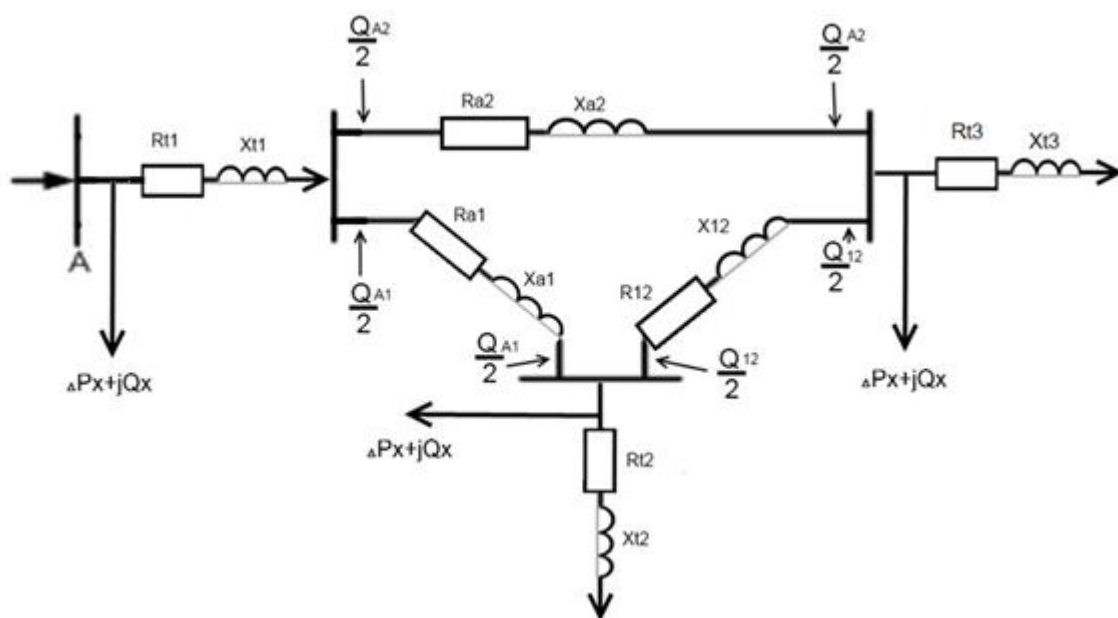
18. Правила улаштування електроустановок – 5-те вид., переробл. й доповн. – Харків, Форт, 2017. -782 с.

19. Василюк С.В., Василюк К.С. Техніка високих напруг: навчальний посібник [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2018. – 187 с.

					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		56

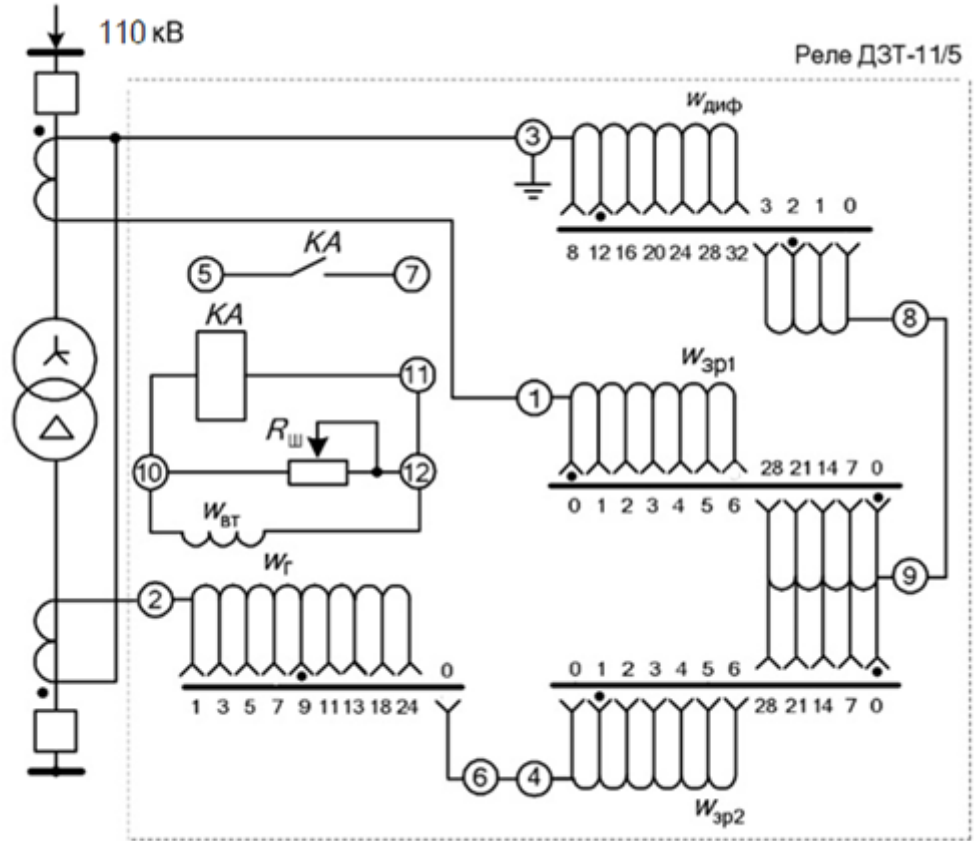


# ДОДАТОК А



					БР 5.6.141.012 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		57

## ДОДАТОК Б



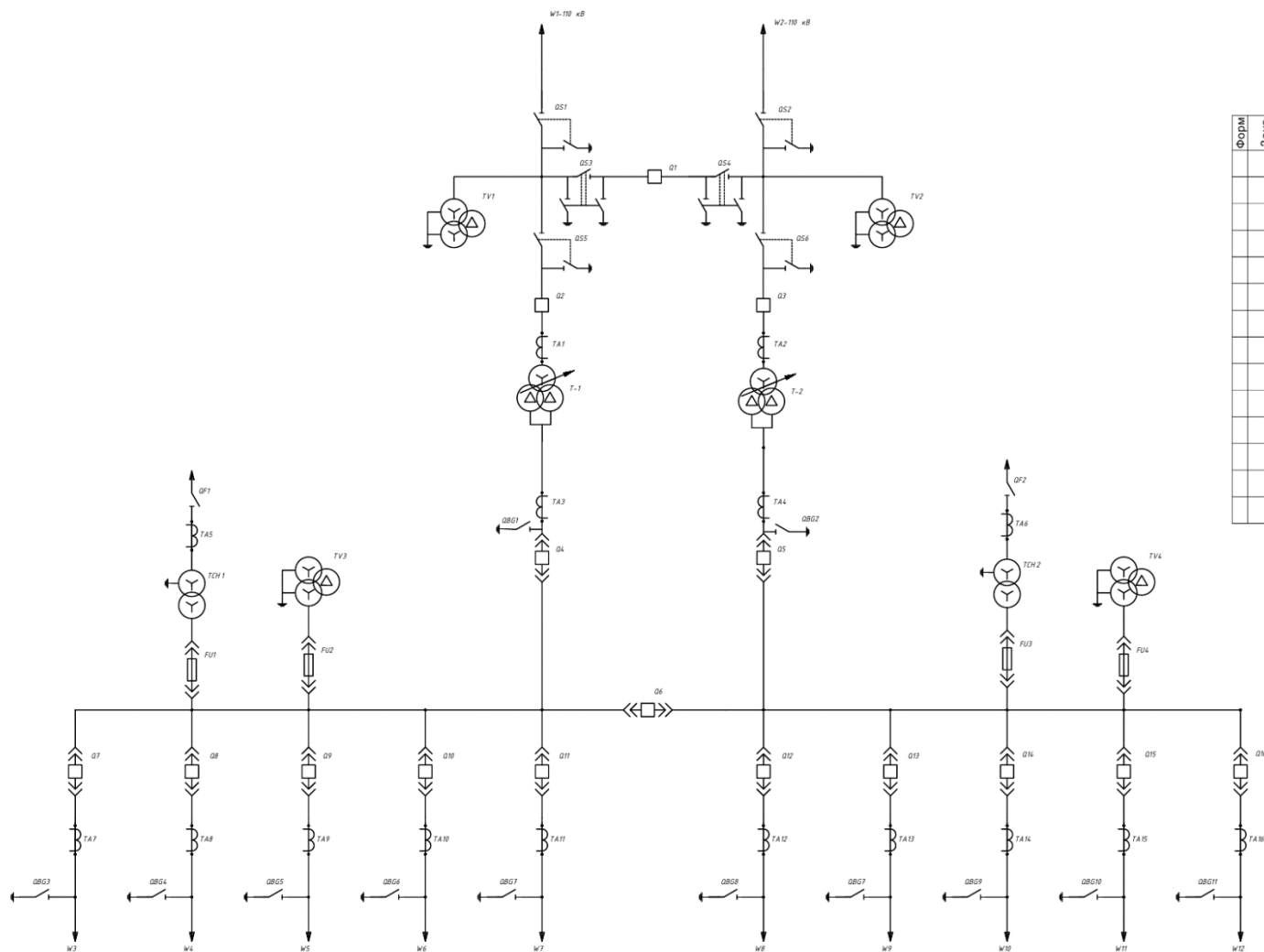
Змін.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата
-------	-----	----------	--------	------

БР 5.6.141.012 ПЗ

Арк.

58

# ДОДАТОК В



Перелік апаратів

Форми	Зона	Поз	Позначення	Найменування	К-ть	Прим
		1	T1,T2	Трансформатор силовий ТРДН-10000/110	2	
		2	Q1...Q3	Вимикач ВВУ-110Б 40/2000У1	3	
		3	Q4,Q5	Вимикач ММГ-10-4000-45У3	2	
		4	Q6	Вимикач ВМПЗ-10-3150-31,5У3	1	
		5	Q7...Q16	Вимикач ВМПЗ-10-630-31,5У3	10	
		6	QS1...QS6	Роз'єднувач зовн. ВО-750У1	6	
		7	TA1...TA2	Трансформатор струму ТФЗМ-110-Б-1	2	
		8	TV1,TV2	Трансформатор напруги НКФ-110-58У	2	
		9	FU1...FU4	Розрядник вентильний	2	
		10	QSG1...QSG3	Заземлювач однополюсний	3	
		11	TA3, TA4	Трансформатор струму ТОЛ-10	2	
		12	TA5...TA16	Трансформатор струму ТЛК-10	12	
		13	T3, T4	Трансформатор власних потреб ТМ-25/10	2	
		14	TV3, TV4	Трансформатор напруги ЗНОЛ06-10-У3	2	

БР 5.6.14.012 ПЗ

Зм Арк	№ докум	Підпис	Дата	Лист	Арк	Масштаб
						1:1
Розрахунок параметрів та вибір електрообладнання системи електропостачання				Лист	Листів	
Затверд./Левинський				СумДУ ЕТз - 71с		