

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 , режимів роботи електричних мереж та заходи безпеки при експлуатації електрообладнання.”**

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

**Освітня програма Електротехнічні системи електроспоживання**

Виконав студент гр. ЕТдн-84п

Братель Д.І.

Керівник, старший викладач

Загородня Т.М.

Кваліфікаційна робота

Захищена на засіданні ДЕК

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 г

Голова ДЕК

Горбуль В.Ю.

## **ЗАВДАННЯ**

### **на кваліфікаційну роботу бакалавра Братель Денис Ігоревич**

Тема роботи : “ Розрахунок параметрів обладнання , режимів роботи електричних мереж та заходи безпеки при експлуатації електрообладнання.”  
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;
- заходи безпеки при експлуатації електрообладнання.

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	заходи безпеки при експлуатації електрообладнання	03.06.-07.2022	
5	Оформлення роботи	08.06.-12.06.2022	

Студент гр ЕТдн-84п \_\_\_\_\_

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Братель Д.І.

Загородня Т.М.

## РЕФЕРАТ

с. 63, Рис. 12, табл.18, кресл. 2.

Бібліографічний опис: “ Розрахунок параметрів обладнання , режимів роботи електричних мереж та заходи безпеки при експлуатації електрообладнання. ”

Текст: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність 141 – “Електроенергетика, елек-тротехніка та електромеханіка”; Освітня програма Електротехнічні системи електроспоживання / Братель Д.І.; керівник Загородня Т.М. - Суми: СумДУ, 2022. - 63 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, диференційний 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. Аналіз втрат в районних електричних мережах і заходи щодо їх зменшення

## Перелік умовних позначень

ПС – понижувальна підстанція

ПЛ – повітряна лінія

ВН – вища напруга

СН – середня напруга

НН – низька напруга РЕМ – розподільні 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

ПВБ – повітряні вимикачі з металевими гасильними камерами

ПВП – повітряний вимикач посилений за швидкістю відновлювальної напруги

КРПЕ – комплектні розподільчі пристрої з елегазової ізоляцією

ЗРП – закритий РП

Зміст		
	Вступ	7
1	Розрахунок параметрів ліній і трансформаторів підстанцій	9
2	Розрахунок електричної частини підстанції 110/10 кВ	24
2.1	Вибір потужності силових трансформаторів	24
2.2	Вибір трансформаторів власних потреб	26
2.3	Розрахунок струмів короткого замикання	27
2.4	Вибір високовольтних апаратів РУ електричних частин	29
2.5	Вибір вимірювальних пристроїв струму і напруги	32
2.6	Вибір ошиновки РУ	36
3	Розрахунок релейного захисту	38
3.1	Розрахунок струмів КЗ	38
3.2	Розрахунок МТЗ лінії, яка відходить від шин НН трансформатора	39
3.3	Розрахунок уставок захисту трансформатора	40
3.4	Визначення числа витків обмоток реле	41
3.5	МТЗ трансформатора від зовнішніх КЗ	43
3.6	Захист від перевантаження	44
3.7	Захист від пошкоджень всередині трансформатора:	45
4	Аналіз заходів безпеки при експлуатації електрообладнання	46
4.1	Електротравматизм та дія електричного струму на організм людини	46
4.2	Міри безпеки при обслуговуванні електрообладнання	47
4.3	Вимоги безпеки під час виконання робіт	51
4.4	Вимоги безпеки після закінчення робіт	54
4.5	Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	55
4.6	Вимоги до робітників, що мають III групу з електробезпеки	55
	Висновки	61
	Література	62

					<b>БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Розрахунок параметрів обладнання, режимів роботи електричних мереж та заходи безпеки при експлуатації електрообладнання.	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Братель Д.І.</i>						6	64
<i>Провер.</i>	<i>Єфімов Г.П.</i>							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>	<i>Лебединский И</i>					<b>СумДУгр.ЕТдн-84п</b>		

## ВСТУП

Проектування систем електропостачання є складною і відповідальною задачею. Ухвалення проектних рішень безпосередньо впливає на об'єм і трудомісткість монтажних робіт, зручність і безпеку експлуатації електричного обладнання.

Вибір схеми електричної мережі проводиться одночасно з вибором напруги і вибором місця розташування підстанції, попередньою розробкою принципової схеми підстанції, вибору кількості і потужності трансформаторів на підстанції, вибору перерізів проводів ліній електропередавання. Клас напруги, що використовується, в значній мірі зумовлює капіталовкладення в об'єкт, що проектується, величину втрат потужності і електроенергії в процесі експлуатації. Вибір кількості трансформаторів залежить від вимог надійності електропостачання споживачів, які живляться від даної підстанції і є техніко-економічною задачею. Надійність електропостачання забезпечується вибором якомога найбільш підходящих електричних апаратів, кабельно-провідникової продукції у відповідності до електричних навантажень в нормальних і аварійних режимах. Спорудження електричних мереж пов'язане з великими матеріальними витратами. Тому при проектуванні повинен проводитися детальний аналіз економічності проектних рішень і режимів роботи всіх елементів систем електропостачання.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Завдання

В процесі виконання роботи необхідно вирішити наступні завдання :

-Визначити питомі параметри ЛЕП і каталожні дані трансформаторів. и повнити розрахунок параметрів схеми заміщення лінії і трансформаторів. Визначити наведені до сторони ВН навантаження трансформаторів (з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів ).

- скласти розрахункову схему заміщення мережі та визначити розрахункові навантаження вузлів мережі (з урахуванням втрат в гілки намагнічування трансформаторів і реактивної потужності, що генерується лініями );

-Рахуючи лінію Л-1 аварійно відключеною, виконати розрахунок режиму розімкнутої мережі. Визначити напругу у вузлах мережі, втрати напруги і втрати потужності в гілках. Перевірити допустимість режиму за рівнями напруг і по нагріванню проводів;

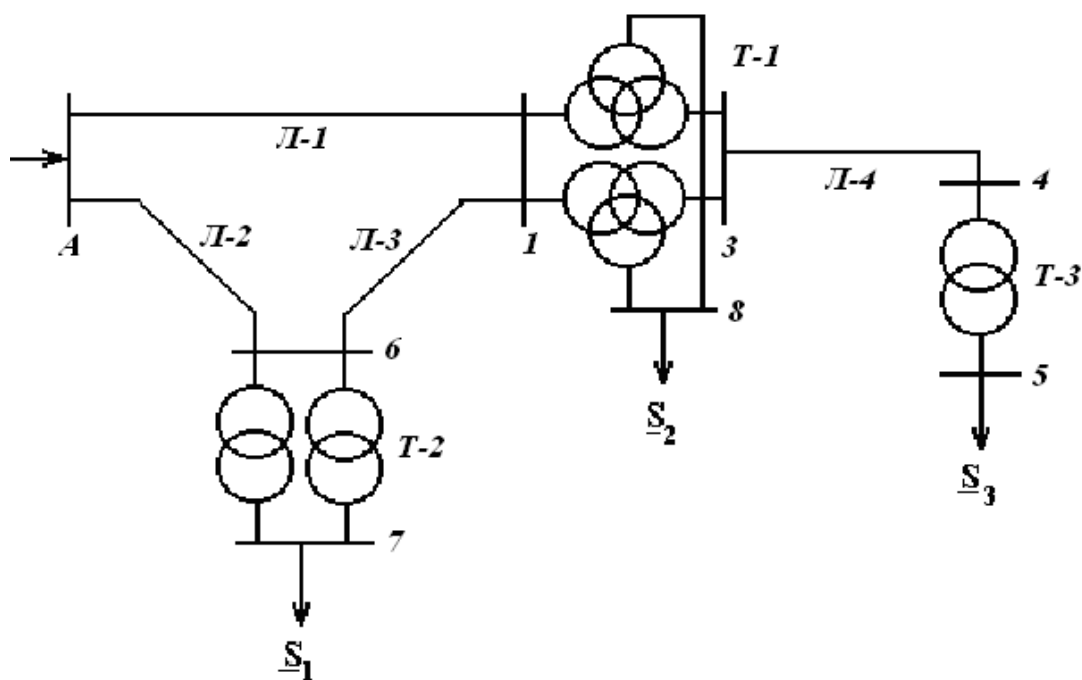
-Виконати розрахунок нормального режиму замкнутої мережі (всі лінії включені в роботу ). Визначити напруги в вузлах мережі, втрати напруги і втрати потужності в мережі. Виконати аналіз отриманих результатів .

-При необхідності запропонувати способи регулювання напруги в вузлах навантаження.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### Початкові дані



**Рисунок 1. Однолінійна електрична схема** заданої електричної мережі  
 На малюнку 1 представлена схема з'єднань заданої електричної мережі. Дана мережа харчується від джерела напруги А.

Схема містить 4 лінії електропередач :

- лінія Л-1 довжина 40 км
- лінія Л-2 довжина 30 км
- лінія Л-3 довжина 40

До обмотці нижчого напруги Т-2 підключена  $S -1 \ 4 \ 3 + j \ 21 \ \text{МВА}$ . Через лінію Л-1 підключений трансформатор Т-1, до обмотки нижчої напруги якого, підключений через лінію Л-4 трансформатор Т-3 з навантаженням  $S -3 \ 16 + j \ 8 \ \text{МВА}$ . До обмотки середньої напруги трансформатора Т-1 підключений споживач потужністю  $S -2 \ 4 \ 1 + j \ 22 \ \text{МВА}$ .

### **1 Розрахунок параметрів ліній і трансформаторів підстанцій**

#### 1.1 Вибір напруги ліній

Приймемо навантаження вузла 6 рівній навантаження вузла 7, а навантаження вузла 1 рівній навантаження вузлів 5 і 8.

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

										Арк.
										9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ					

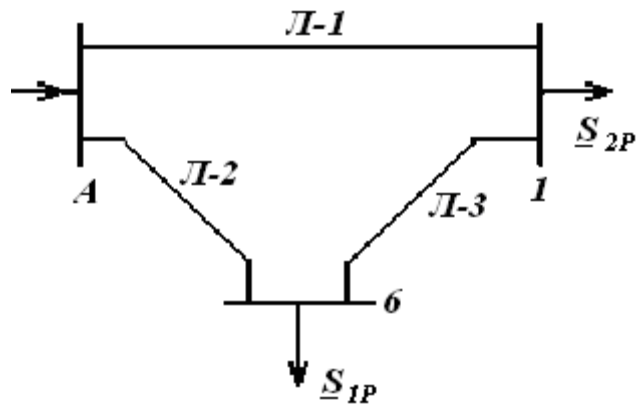


Рисунок 2 Замкнута мережа

Розімкніть замкнута мережа, наведену на малюнку 2, за джерелом живлення А (Рисунок 3), позначимо потужності на ділянки мережі.

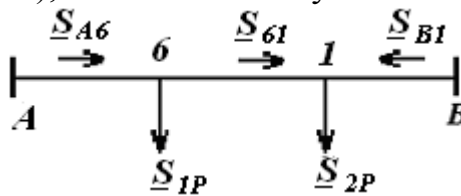


Рисунок 3 Розімкнута мережа

Визначаємо потужності на ділянках розімкнутої мережі

$$\underline{S}_{A6} = \frac{\underline{S}_{1D}l_{6B} + \underline{S}_{2D}l_{1B}}{l_{AB}} = 40,45 + j20,22 \text{ МВА},$$

$$\underline{S}_{61} = \underline{S}_{A6} - \underline{S}_{1D} = 0,45 + j0,227 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{B1} = \underline{S}_{2D} - \underline{S}_{61} = 54,54 + j27,27 \text{ МВА}.$$

Визначимо напруги на ділянках замкнутої мережі (Рисунок 2).

$$U_{\bar{e}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_{\bar{e}}}}}$$

Таблиця 1 Напругення на ділянках мережі

номер ділянки	Л-1	Л-2	Л-3
Довжина ділянки, км	40	30	40
Напруга ділянки, кВ	125	14	115

Приймаємо напруга в замкнутій мережі 110 кВ.

## Визначаємо струми проводів ліній

$$I = \frac{S_{\dot{E}}}{\sqrt{3}U_{\dot{E}}}$$

Таблиця 2 Токи на ділянках мережі

лінія	Л-1	Л-2	Л-3
Струм, А	255	397	262

Вибираємо марки проводів

Таблиця 3 Марка проводів

лінія	Л-1	Л-2	Л-3
Марка і переріз провода	АС-150	АС-300	АС-150

### 1.2 Розрахунок потужностей трансформаторів підстанцій

Підстанція з трансформатором Т-1.

Потужність трансформатора Т-1 визначається сумою потужностей навантажень  $\underline{S}_2, \underline{S}_3$ .

$$\underline{S}_{T-1} = \underline{S}_3 + \underline{S}_2 = 57 + j 30 \text{ МВА} .$$

Підстанція з трансформатором Т-2

Потужність трансформатора визначається по потужності навантаження  $\underline{S}_1 43 + j 21 \text{ МВА}$ .

Потужність підстанції з трансформатором Т-3 визначається потужністю навантаження  $\underline{S}_3 16 + j 8 \text{ МВА}$ .

### Вибір трансформаторів

Використовуємо таблицю взятую з довідника з відповідними ю ські даними [4]

Тип трансформаторів: Т-1 АТДЦТН-63000 ; Т-2 ТРДЦН -100 000; Т-3 ТДГ-32 000.

## 2. Розрахунок електричної мережі

В процесі виконання розрахунку електричної мережі необхідно вирішити наступні завдання :

- визначити питомі параметри ЛЕП і каталожні дані трансформаторів. Виконати розрахунок параметрів схеми заміщення лінії і трансформаторів. Визначити наведені до сторони ВН навантаження трансформаторів (з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів);

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- скласти розрахункову схему заміщення мережі та визначити розрахункові навантаження вузлів мережі (з урахуванням втрат в гілки намагнічування трансформаторів і реактивної потужності, що генерується лініями );
- Виконати розрахунок нормального режиму замкнутої мережі (всі лінії включені в роботу);
- Визначити напруги в вузлах мережі, втрати напруги і втрати потужності в мережі.
- Виконати аналіз отриманих результатів .

### Розрахунок параметрів схеми заміщення

Питомий активний ( $R_0$ ) і реактивне ( $X_0$ ) опір лінії знаходимо по літературі [3]. В силу того що провід АС-150/24 не застосовується на лініях напругою 220 кВ зробимо його заміну на провід АС-300/39

### 2.1 Розрахунок параметрів ліній

#### *Параметри лінії Л-1*

##### *Провід АС-300/39*

Питомий активний опір -  $R_0 = 0,098 \text{ Ом / км.}$

Питомий реактивний опір -  $X_0 = 0,429 \text{ Ом / км.}$

Питомий реактивна провідність -  $b_0 = 2,64 * 10^{-6} \text{ См / км.}$

Активний опір лінії -  $R_{л1} = R_0 * l_1 = 0,098 * 40 = 3,94 \text{ Ом.}$

Реактивний опір лінії -  $X_{л1} = X_0 * l_1 = 0,429 * 40 = 16,87 \text{ Ом.}$

Зарядна потужність лінії -  $Q_{л1} = U^2 * b_0 * l_1 / 2 = 220^2 * 2,64 * 10^{-6} * 30 / 2 = 1,89 \text{ МВАр.}$

$Q_{л1} / 2 = 1,815 / 2 = 0,9438 \text{ МВАр.}$

#### *Параметри лінії Л-2*

##### *Провід АС-300/39*

Питомий активний опір -  $R_0 = 0,098 \text{ Ом / км.}$

Питомий реактивний опір -  $X_0 = 0,429 \text{ Ом / км.}$

Питомий реактивна провідність -  $b_0 = 2,64 * 10^{-6} \text{ См / км.}$

Активний опір лінії -  $R_{л2} = R_0 * l_1 = 0,098 * 30 = 3,24 \text{ Ом.}$

Реактивний опір лінії -  $X_{л2} = X_0 * l_1 = 0,429 * 30 = 12,87 \text{ Ом.}$

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Зарядна потужність лінії -  $Q_{л2} = U^2 \cdot b_0 \cdot l_1 = 220^2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 2,614$   
МВАр.

$$Q_{л2} / 2 = 2,555 / 2 = 1,29 \text{ МВАр.}$$

### Параметри лінії Л-3

Провід АС-300/39

Питомий активний опір -  $R_0 = 0,098 \text{ Ом / км.}$

Питомий реактивний опір -  $X_0 = 0,429 \text{ Ом / км.}$

Питомий реактивна провідність -  $b_0 = 2,64 \cdot 10^{-6} \text{ См / км.}$

Активний опір лінії -  $R_{л3} = R_0 \cdot l_1 = 0,098 \cdot 40 = 3,912 \text{ Ом.}$

Реактивний опір лінії -  $X_{л3} = X_0 \cdot l_1 = 0,429 \cdot 40 = 17,2 \text{ Ом.}$

Зарядна потужність лінії -  $Q_{л3} = U^2 \cdot b_0 \cdot l_1 = 220^2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 2,4$   
МВАр.

$$Q_{л3} / 2 = 2,42 / 2 = 1,31 \text{ МВАр.}$$

## 2.2 Розрахунок параметрів трансформаторів

### 2.2.1 Параметри трансформатора Т-1

За довідником [3] вибираємо параметри трансформатора Т-1 (мал 1).

Таблиця 2.1 Параметри трансформатора Т-1

Тип	S <sub>ном</sub> МВА	каталожні дані								
		U <sub>ном</sub> обмоток, кВ			U <sub>до</sub> , %			ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	3-Н			
АТДЦТН-63000/220/110	63	230	121	38,5	11	35,7	21,9	215	45	0,5

За формулами, взятим з [1], знайдемо параметри трансформатора:

Загальна активний опір трансформатора:

$$R_{общ1} = \frac{\Delta P_k \cdot U_{ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{215 \cdot 220^2 \cdot 10^3}{63000^2} = 2,616 \text{ Ом.}$$

Активні опору обмоток трансформатора:

$$R_{ТВ1} = R_{ТС1} = R_{ТН1} = 0,5 \cdot R_{общ1} = 0,5 \cdot 2,62 = 1,261 \text{ Ом.}$$

Напруги короткого замикання на обмотках вищої U<sub>кв</sub>, середньої U<sub>кс</sub> і нижчої U<sub>кн</sub> напруг:

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

$$U_{KB} = 0,5 (U_{KB-C} + U_{KB-H} - U_{KC-H}) = 0,5 (11 + 35,7 - 21,9) = 12,4 \%;$$

$$U_{KC} = 0,5 (U_{KB-C} - U_{KB-H} + U_{KC-H}) = 0;$$

$$U_{KH} = 0,5 (-U_{KB-C} + U_{KB-H} + U_{KC-H}) = 0,5 (-11 + 35,7 + 21,9) = 23,3\%.$$

Реактивні опору обмоток вищої  $X_{TB1}$ , середнього  $X_{TC1}$  і нижчого  $X_{TH1}$  напруг :

$$X_{TB1} = \frac{U_{KB} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} = \frac{12,4 \cdot 220^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 63000} = 94,26 \text{ Ом};$$

$$X_{TC1} = 0;$$

$$X_{TH1} = \frac{U_{KB} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} = \frac{23,3 \cdot 220^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 63000} = 169 \text{ Ом}.$$

Втрати реактивної потужності холостого ходу:

$$\Delta Q_{x1} = 0.314 \text{ МВАр}.$$

Параметри схеми заміщення паралельно включених автотрансформаторів АТ-1.

Активні опору обмоток вищої  $R_{TB1}$ , середньої  $R_{T3}$  і нижчої  $R_{TH}$  напруг :

$$R_{TB1} = R_{T3} = R_{TH} = 0,5 * R'_{TB} = 0,5 * 1,31 = 0.655 \text{ Ом}.$$

Реактивні опору обмоток вищої  $X_{TB1}$ , середнього  $X_{TB1}$  і нижчого

$X_{TH1}$  напруга є ний

$$X_{TB1} = 0,5 * X'_{TB} = 0,5 * 95,26 = 47.64 \text{ Ом};$$

$$X_{TB1} = 0,5 * X'_{TC} = 0;$$

$$X_{TH1} = 0,5 * X'_{TH} = 0,5 * 179 = 88,5 \text{ Ом}.$$

Втрати холостого ходу

$$\Delta S_{x1} = 2\Delta P_x + j 2\Delta Q_x = 0,09 + j 0,63 \text{ МВА}.$$

За довідником [4] вибираємо параметри трансформатора Т-2 і Т-3 (мал 1).

Таблиця 2.2 Параметри трансформаторів Т-2 і Т-3.

	Тип	Номинальна потужність, МВА	Поєднання напруг, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, %	Струм хх, %
			ВН	НН	ХХ	КЗ		
Т-3	ТДГ-32000/110	32	121	38,5	86	200	10,5	2,7
Т-2	ТРДЦН-100000/220	100	230	11	115	360	12	0,7

### 2.2.2. Параметри трансформатора Т-2

Загальна активний опір трансформатора

$$R_{\text{общ2}} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2} = \frac{360 \cdot 220^2 \cdot 10^3}{100000^2} = 1,735 \text{ Ом.}$$

Загальна реактивний опір трансформатора

$$X_{\text{общ2}} = \frac{U_K \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{НОМ}}} = \frac{12 \cdot 220^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 100000} = 57,1 \text{ Ом.}$$

Втрата реактивної потужності холостого ходу

$$\Delta Q_{X2} = \frac{I_x \cdot S_{\text{НОМ}}}{100} = \frac{0,7 \cdot 100000}{100} = 0,68 \text{ МВАр.}$$

Параметри схеми заміщення паралельно включених трансформаторів Т-2 (мал 1)

активний опір

$$R_{\text{общ2}} = 0,5 \cdot R_{\text{общ}} = 0,5 \cdot 1,74 = 0,85 \text{ Ом.}$$

реактивний опір

$$X_{\text{общ2}} = 0,5 \cdot X_{\text{общ}} = 0,5 \cdot 58,08 = 29,12 \text{ Ом.}$$

Втрати холостого ходу

$$\Delta S_{XT2} = 2\Delta P_X + j2\Delta Q_X = 0,23 + j1,4 \text{ МВА.}$$

### 2.2.3. Параметри трансформатора Т-3

Активний опір

$$R_{\text{общ3}} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2} = \frac{200 \cdot 110^2 \cdot 10^3}{32000^2} = 2,37 \text{ Ом.}$$

Реактивний опір

$$X_{\text{общ3}} = \frac{U_K \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{НОМ}}} = \frac{10,5 \cdot 110^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 32000} = 38,6 \text{ Ом.}$$

Втрата реактивної потужності холостого ходу

$$\Delta Q_{X3} = \frac{I_x \cdot S_{\text{НОМ}}}{100} = \frac{2,7 \cdot 32000}{100} = 0,87 \text{ МВАр.}$$

Втрати холостого ходу

$$\Delta S_{XT3} = \Delta P_X + j\Delta Q_X = 0,171 + j0,87 \text{ МВА.}$$

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

## 2.3 Складання розрахункової схеми заміщення мережі

### 2.3.1 Пояснення спрощеної схеми заміщення

Приймаємо точку 1 - шина підключена до ліній 1 і 3 з одного боку і до групи трансформаторів Т-1.

Приймаємо точку 2 - середня точка трансформаторів Т-1.

Приймаємо точку 3 - шина 110 кВ підключена до трансформатора Т-1 з однієї сторони і до Т-3 з іншого.

Приймаємо точку 5 - шина підключена до трансформатора Т-3 з одного сторони і до навантаження  $\underline{S}_3$  з іншої.

Приймаємо точку 6 - шина підключена до ліній 2 і 3 з одного боку і до групи трансформаторів Т-2 з іншого.

Приймаємо точку 7 - шина підключена до Т-2 з одного боку і до навантаження  $\underline{S}_1$  з іншої.

Приймаємо точку 8 - шина підключена до Т-1 з одного боку і до навантаження  $\underline{S}_2$  з іншої.

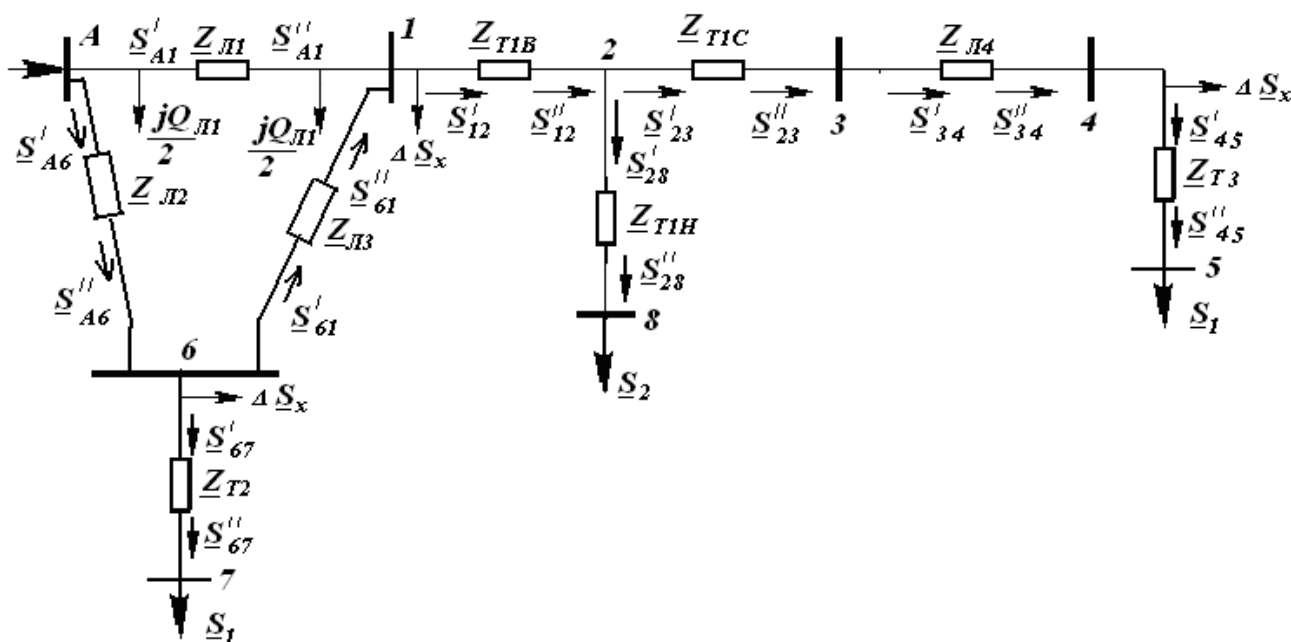


Рисунок 4 Схема заміщення мережі

При розрахунку потужностей йдемо в напрямку від відомих потужностей споживача до шуканої потужності на вході ланцюга розрахункової згідно зі схемою заміщення (використовуючи формули [1], [2]).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



## 2.4 Розрахунок потужностей в нормальному режимі роботи мережі

### 2.4.1 Потужність на обмотці трансформатора Т-3

$$S_4'' = S_3 + \Delta S_{T3} = S_3 + \left( \Delta P_K \left( \frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 + j \left( \frac{U_K \cdot S^2}{100 \cdot U_{НОМ}} \right) \right) = 15 + j7,5 +$$
$$\left( 0,2 \left( \frac{281 \cdot 25}{35^2} \right) + j \left( \frac{10,5 \cdot 281 \cdot 25}{100 \cdot 35} \right) \right) = 15,037 + j8,337 \text{ МВА.}$$

### 2.4.2 Потужність перед обмоткою трансформатора Т-3

$$S_4' = S_4'' + \Delta S_{XT3} = 15,046 + j8,344 + 0,172 + j0,864 = 15,217 + j9,218 \text{ МВА.}$$

### 2.4.3 Потужність в кінці ділянки 3-4

$$S_{Л4}^K = S_4' - jQ_{Л4}/2 = 15,218 + j9,208 - j0,115 = 15,228 + j9,192 \text{ МВА.}$$

### 2.4.4 Потужність на початку ділянки 3-4

$$S_{Л4}^H = S_{Л4}^K + \Delta S_{Л4}^K - jQ_{Л4}/2 = S_{Л4}^K + Z_{Л4} \left( \frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 - jQ_{Л4}/2 = 15,218 + j9,093 +$$
$$+ (6,42 + j6,66) \left( \frac{15,218^2 + 9,093^2}{110^2} \right) - j0,115 = 15,37 + j9,153 \text{ МВА.}$$

### 2.4.5 Потужність на ділянці 2-3

$$S_{23} = S_{Л4}^H + \Delta S_{T1C} = S_{Л4}^H + Z_{T1C} \left( \frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = 15,385 + j9,151 + 0,66 \left( \frac{15,385^2 + 9,151^2}{220^2} \right) =$$
$$= 15,38 + j9,15 \text{ МВА.}$$

### 2.4.6 Потужність на обмотці нижчого напруги трансформатора Т-1

$$S_{28} = S_2 + \Delta S_{T1H} = S_2 + Z_{T1H} \left( \frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = 40 + j20 + (0,66 + j89,5) \left( \frac{40^2 + 20^2}{220^2} \right) =$$
$$= 40,127 + j23,702 \text{ МВА.}$$

### 2.4.7 Потужність на обмотці вищої напруги трансформатора Т-1

$$S_2 = S_{23}' + S_{28} = 15,389 + j9,151 + 40,027 + j23,698 = 55,42 + j32,853 \text{ МВА.}$$

### 2.4.8. Потужність перед обмоткою вищої напруги трансформатора Т-1

$$S_{12}' = S_2 + \Delta S_{T1B} = S_2 + Z_{T1B} \left( \frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = 55,416 + j32,849 + (0,66 + j47,63) \left( \frac{55,416^2 + 32,849^2}{220^2} \right) =$$
$$= 55,573 + j36,938 \text{ МВА.}$$

### 2.4.9 Потужність, що виходить з вузла 1

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$S_{12} = S_{12}' + \Delta S_{XT1} = 55,473 + j36,933 + 0,09 + j0,63 = 55,564 + j37,563 \text{ МВА.}$$

#### 2.4.10 Потужність на обмотці трансформатора Т-2

$$S_{67}' = S_1 + \Delta S_{T1} = S_1 + Z_{T2} \left( \frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = 40 + j20 + (0,87 + j29,04) \left( \frac{40^2 + 20^2}{220^2} \right) = 40,441 + j21,2 \text{ МВА.}$$

#### 2.4.11 Потужність перед обмоткою трансформатора

$$S_{67} = S_{67}' + \Delta S_{T2} = 40,041 + j21,2 + 0,23 + j1,4 = 40,373 + j22,367 \text{ МВА.}$$

### 2.5 Розрахунок нормального режиму замкнутої мережі ( $S = S_{max}$ )

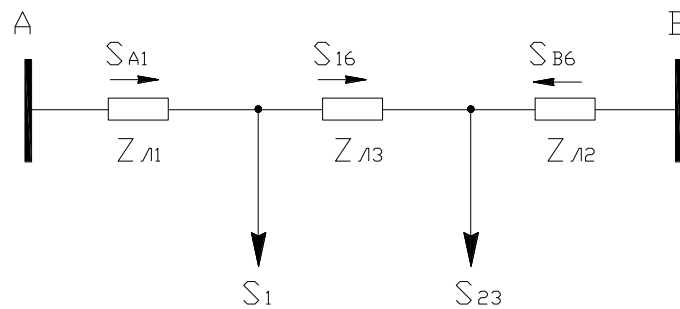


Рисунок 5 Схема заміщення для розрахунку потужностей в замкнутому ділянці мережі А-1-6 без урахування втрат.

За малюнком 1.3 знайдемо потужності в замкнутому ділянці мережі без урахування втрат за допомогою узагальненого контурного рівняння

$$\sum S_{ij}^* Z_{ij} = U_0 (1 - \Pi k_{ij})$$

#### 2.5.1 Потужність на ділянці А-1

$$S_{A1} = \frac{S_1 (Z_{Л3} + Z_{Л2}) + S_{23} (Z_{Л2})}{Z_{Л1} + Z_{Л2} + Z_{Л3}} = \frac{(55,563 + j37,563)(3,92 - j17,16) + (40,271 + j22,6)(3,92 - j17,16)}{2,94 - j12,87 + 3,92 - j17,16 + 3,92 - j17,16} = 55,033 + j35,536 \text{ МВА.}$$

#### 2.5.2 Потужність на ділянці В-6

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$S_{B6} = \frac{S_{23}(Z_{Л1} + Z_{Л3}) + S_1(Z_{Л1})}{Z_{Л1} + Z_{Л2} + Z_{Л3}} =$$

$$= \frac{(40,271 + j22,6)(2,94 - j12,87 + 3,92 - j17,16) + (55,563 + j37,563)(2,94 - j12,87)}{2,94 - j12,87 + 3,92 - j17,16 + 3,92 - j17,16} =$$

$$= 40,68 + j24,526 \text{ МВА.}$$

### 2.5.3. Перевірка за допомогою рівняння балансу потужності

$$S_1 + S_{23} = S_{A1} + S_{B6}$$

$$55,563 + j37,563 + 40,271 + j22,6 = 55,0337 + j35,5367 + 40,78 + j24,626$$

$$95,834 + j60,163 \approx 95,81 + j60,16$$

Похибка обчислень становить  $P = 0,02\%$ ,  $\delta Q = 0\%$  що набагато менше необхідної точності обчислення -  $2\%$ .

### 2.5.4. Потужність на ділянці 1-6

$$S_{16} = S_1 - S_{A1} = 55,563 + j37,563 - 55,0337 + j35,5367 = 0,525 + j2,226 \text{ МВА.}$$

## 2.6. Розрахунок втрат потужності

Розрахуємо потужності з урахуванням втрат по малюнку 1.4.

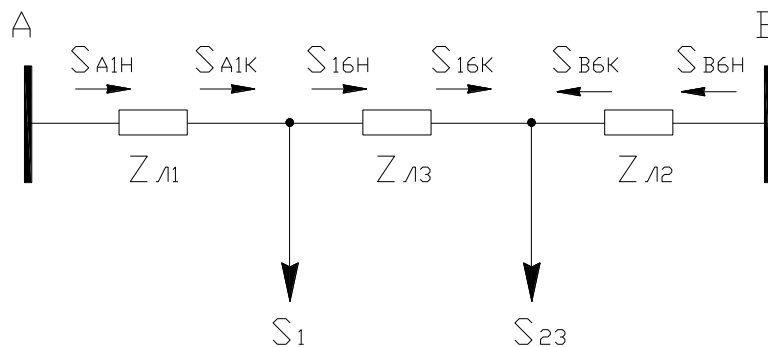


Рисунок 1.4 Схема заміщення для розрахунку потужностей в замкнутій мережі ділянці А-1 з урахуванням втрат .

### 2.6.1. Потужність в кінці ділянки А-1

$$S_{A1}^K = S_{A1} - jQ_{Л1}/2 = 55,0337 + j35,5367 - j0,9438 = 55,33 + j34,63 \text{ МВА.}$$

### 2.6.2. Втрата потужності в ділянці А-1

$$\Delta S_{A1} = Z_{Л1} \left( \frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (2,94 + j12,87) \left( \frac{55,0337^2 + 35,5367^2}{220^2} \right) = 0,261 + j1,148 \text{ МВА}$$

2.6.3. Потужність на початку ділянки А-1 (мал 1.4)

$$S_{A1}^H = S_{A1}^K + \Delta S_{A1} - jQ_{Л1}/2 = 55,03 + j34,6 + 0,26 + j1,14 - j0,9438 = 55,293 + j36,682 \text{ МВА.}$$

2.6.4. Потужність в кінці ділянки 1-6

$$S_{16}^K = S_{16} - jQ_{Л3}/2 = 0,53 + j2,026 - j1,277 = 0,532 + j0,752 \text{ МВА.}$$

2.6.5. Втрати потужності на ділянці 1-6

$$\Delta S_{16} = Z_{Л3} \left( \frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (3,92 + j17,16) \left( \frac{0,53^2 + 0,75^2}{220^2} \right) = 0,00068 + j0,0023 \text{ МВА.}$$

2.6.6. Потужність на початку ділянки 1-6

$$S_{16}^H = S_{16}^K + \Delta S_{16} - jQ_{Л3}/2 = 0,53 + j0,75 + 0,00068 + j0,0023 - j1,277 = 0,53 - j0,526 \text{ МВА}$$

2.6.7. Потужність в кінці ділянки А-1

$$S_{A1}^K = S_{16}^H + S_{23} - jQ_{Л2}/2 = 0,53 - j0,527 + 40,271 + j22,6 - j1,277 = 40,8 + j20,795 \text{ МВА.}$$

2.6.8. Втрати потужності на ділянці А-1

$$\Delta S_{6B} = Z_{Л2} \left( \frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (3,92 + j17,16) \left( \frac{40,8^2 + 20,795^2}{220^2} \right) = 0,169 + j0,745 \text{ МВА.}$$

2.6.9. Потужність на початку ділянки А-1

$$S_{6B}^H = S_{6B}^K + \Delta S_{6B} - jQ_{Л2}/2 = 40,8 + j20,795 + 0,1697 + j0,743 - j1,277 = 40,971 + j20,266 \text{ МВА.}$$

2.7 Розрахунок напружень у всіх вузлових точках мережі

2.7.1. Напряга в точці 1

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= U_A - \Delta U_{A1} = U_A - \frac{P_{A1}^H \cdot R_{Л1} + Q_{A1}^H \cdot X_{Л1}}{U_A} - j \frac{P_{A1}^H \cdot X_{Л1} - Q_{A1}^H \cdot R_{Л1}}{U_A} = \\ &= 242 - \frac{55,29 \cdot 2,94 + 36,68 \cdot 12,87}{242} - j \frac{55,29 \cdot 12,87 - 36,68 \cdot 2,94}{242} = 239,36 - j2,496 \text{ кВ.} \end{aligned}$$

Модуль напруги в точці 1  $|\dot{U}_1| = U_1 = 239,31 \text{ кВ.}$

2.7.2. Напряга в точці 6

$$\dot{U}_6 = U_A - \Delta U_{6A} = U_A - \frac{P_{6A}^H \cdot R_{Е2} + Q_{6A}^H \cdot X_{Е2}}{U_A} - j \frac{P_{6A}^H \cdot X_{Е2} - Q_{6A}^H \cdot R_{Е2}}{U_A} =$$

Модуль напруги в точці 6  $|\dot{U}_6| = U_6 = 239,92 \text{ кВ.}$

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ				

### 2.7.3. Напряга в точці 7

$$\begin{aligned} \dot{U}_7 &= U_6 - \Delta U_{67} = U_6 - \frac{P_{61}^H \cdot R_{Л3} + Q_{61}^H \cdot X_{Л3}}{U_6} - j \frac{P_{61}^H \cdot X_{Л3} - Q_{61}^H \cdot R_{Л3}}{U_6} = \\ &= 239,9 - \frac{0,53 \cdot 3,92 + 0,527 \cdot 17,16}{239,9} - j \frac{0,53 \cdot 17,16 + 0,527 \cdot 3,92}{239,9} = 239,92 - j0,246 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Модуль напруги в точці 7  $|\dot{U}_7| = U_7 = 239,93 \text{ кВ}$ .

Похибка:  $(|U_6| - |U_7|) \cdot 100 / |U_7| = 0,04\%$ , що менше допустимого значення 2%.

приймаємо  $U_7 = 240 \text{ кВ}$ .

### 2.7.4. Напряга на обмотці вищої напруги трансформатора Т-1 (мал 1.5)

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= U_1 - \Delta U_{12} = U_1 - \frac{P_{12} \cdot R_{Т1В} + Q_{12} \cdot X_{Т1В}}{U_1} - j \frac{P_{12} \cdot X_{Т1В} - Q_{12} \cdot R_{Т1В}}{U_1} = \\ &= 240 - \frac{55,563 \cdot 0,66 + 37,563 \cdot 47,63}{240} - j \frac{55,563 \cdot 47,63 - 37,563 \cdot 0,66}{240} = 232,392 - j10,93 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Модуль напруги на обмотці вищої напруги трансформатора Т-1

$$|\dot{U}_2| = U_2 = 232,66 \text{ кВ}.$$

### 2.7.5. Напряга на обмотці вищої напруги трансформатора Т-1 (мал 2.4)

$$\begin{aligned} \dot{U}_3 &= U_2 - \Delta U_{23} = U_2 - \frac{P_{23} \cdot R_{Т3} + Q_{23} \cdot X_{Т3}}{U_2} - j \frac{P_{23} \cdot X_{Т3} - Q_{23} \cdot R_{Т3}}{U_2} = \\ &= 232,65 - \frac{15,389 \cdot 0,66 + 9,151 \cdot 0}{232,65} - j \frac{15,389 \cdot 0 - 9,151 \cdot 0,66}{232,65} = 232,62 + j0,0459 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Модуль напруги на обмотці вищої напруги трансформатора Т-1

$$|\dot{U}_3| = U_3 = 232,63 \text{ кВ}.$$

У автотрансформаторі АТДЦТН-63 передбачена можливість регулювання напруги за рахунок РПН в нейтралі ВН на величину  $\pm 6 \times 2\%$ .

Збільшимо вхідна напруга на величину 6%, тоді  $U_{ном}$  на стороні ВН складе  $U_{ном} = 230 \cdot 1,06 = 243,78 \text{ кВ}$ .

Тепер перерахуємо коефіцієнт трансформації:  $n = 243,78 / 121 = 2,025$

Напряга в точці 3  $U_3 = |U_3'| / n = 232,6 / 2,025 = 115,33 \text{ кВ}$ .

### 2.7.6. Напряга в точці 4

										Арк.
										21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ

$$\begin{aligned} \dot{U}_4 &= U_3 - \Delta U_{34} = U_3 - \frac{P_{34} \cdot R_{Л4} + Q_{34} \cdot X_{Л4}}{U_3} - j \frac{P_{34} \cdot X_{Л4} - Q_{34} \cdot R_{Л4}}{U_3} = \\ &= 115,43 - \frac{15 \cdot 218 \cdot 6,42 + 9,093 \cdot 6,66}{115,43} - j \frac{15 \cdot 218 \cdot 6,66 - 9,093 \cdot 6,42}{115,43} = 113,644 - j0,372 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Модуль напруги в точці 4:  $|\dot{U}_4| = U_4 = 113,66 \text{ кВ}$ .

2.7.7. Напруга на обмотці вищої напруги трансформатора Т-3 (мал 1.5)

$$\begin{aligned} \dot{U}_5 &= U_4 - \Delta U_{45} = U_4 - \frac{P_4 \cdot R_{Т3} + Q_4 \cdot X_{Т3}}{U_4} - j \frac{P_4 \cdot X_{Т3} - Q_4 \cdot R_{Т3}}{U_4} = \\ &= 113,655 - \frac{15 \cdot 218 \cdot 2,36 + 9,093 \cdot 39,7}{113,655} - j \frac{15 \cdot 218 \cdot 39,7 - 9,093 \cdot 2,36}{113,655} = \\ &= 110,164 - j5,136 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Модуль напруги на обмотці вищої напруги трансформатора Т-3

$|\dot{U}_5| = 110,278 \text{ кВ}$ .

Напруга в точці 5

$$U_5 = |\dot{U}_5| / n = 110,278 / 3,14 = 35,24 \text{ кВ}.$$

2.7.8. Напруга на обмотці вищої напруги трансформатора Т-1 (мал 1.5)

$$\begin{aligned} \dot{U}_8 &= U_2 - \Delta U_{28} = U_2 - \frac{P_{28} \cdot R_{Т1Н} + Q_{28} \cdot X_{Т1Н}}{U_2} - j \frac{P_{28} \cdot X_{Т1Н} - Q_{28} \cdot R_{Т1Н}}{U_2} = \\ &= 232,65 - \frac{40 \cdot 027 \cdot 0,66 + 23 \cdot 698 \cdot 89,5}{232,65} - j \frac{40 \cdot 027 \cdot 89,5 - 23 \cdot 698 \cdot 0,66}{232,65} = \\ &= 223,423 - j15,325 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Модуль напруги на обмотці вищої напруги трансформатора Т-1

$|\dot{U}_8| = 223,938 \text{ кВ}$ .

Напруга в точці 8

$$U_8 = |\dot{U}_8| / n = 223,945 / 5,974 = 37,47 \text{ кВ}.$$

2.7.9. Напряження на обмотці вищої напруги трансформатора Т-2 (мал 1.5)

$$\dot{U}_7 = U_6 - \Delta U_{67} = U_6 - \frac{P_{67} \cdot R_{Т2} + Q_{67} \cdot X_{Т2}}{U_6} - j \frac{P_{67} \cdot X_{Т2} - Q_{67} \cdot R_{Т2}}{U_6} =$$

									Арк.
									22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ

$$=239,9 - \frac{40 \cdot 271 \cdot 0,87 + 22 \cdot 6 \cdot 29,04}{239,9} - j \frac{40 \cdot 271 \cdot 29,04 - 22 \cdot 6 \cdot 0,87}{239,9} =$$

$$=237,11 - j4,794 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги на обмотці вищої напруги трансформатора Т-2

$$|U_7'| = 236 \text{ кВ.}$$

Напруга в точці 7

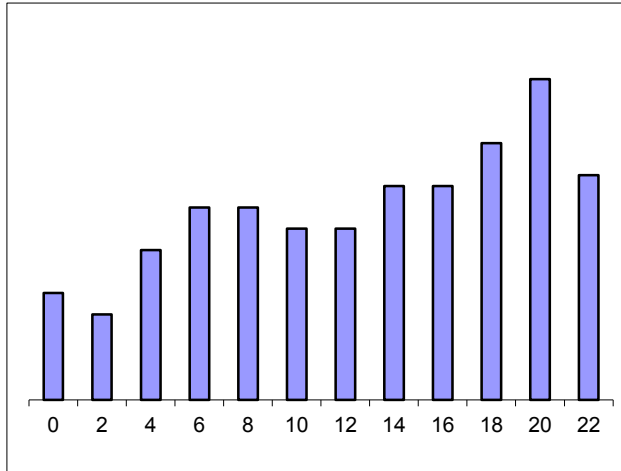
$$U_7 = |U_7'| / n = 236 / 20,9 = 11,29 \text{ кВ.}$$

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. Розрахунок електричної частини підстанції.

### 2.1. Вибір потужності силових трансформаторів

Для підстанцій були обрані трансформатори потужностями  $S = 40$  МВА типу ТДГ-32000/110 Боле є точно обрані трансформатори, враховуючи графік навантажень мал 2.1.



Мал 2.1. Графік навантаження підстанції.

Для перевірки правильності вибору трансформатора реальний графік навантажень перетворимо в двоступеневий. Початкова навантаження еквівалентного графіка визначається за формулою:

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

де  $s_1, s_2, \dots, s_n$  - власне навантаження першої, другої,  $n$  - ой ступені графіка навантаження, розташованої нижче лінії номінальної потужності трансформатора .

$t_1, t_2, \dots, t_n$  - тривалість ступені, годину.

$$\frac{1}{40} \cdot \sqrt{\frac{20^2 \cdot 2 + 16^2 \cdot 2 + 28^2 \cdot 2 + 36^2 \cdot 4 + 32^2 \cdot 4}{2 + 2 + 2 + 4 + 4}} = 0,73$$

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

$$K_2 = \frac{1}{S_H} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

де  $s_1, s_2, \dots, s_n$  - навантаження вище лінії номінальної потужності трансформатора.

									Арк.
									24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



$$K_2 = \frac{1}{40} \cdot \sqrt{\frac{48^2 \cdot 2 + 60^2 \cdot 2 + 42^2 \cdot 2}{2 + 2 + 2}} = 1,25$$

Максимальний перевантаження трансформатора становить

$$K_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{S_{НОМ}}$$

де  $S_{MAX}$  - максимальне навантаження трансформатора за графіком навантаження.

$$K_{MAX} = \frac{6}{4} = 1,5$$

Попереднє значення необхідно порівняти зі значенням  $K_{MAX}$ ,  $K'_2 = K_2 \cdot 0,9 K_{MAX}$  і якщо значення  $K'_2$  більше значення  $K_2$  остаточно приймаємо  $K_2 = K'_2$ .

Так як  $K'_2 = 1,24 < 0,9 \cdot 1,5 = 1,24 < 1,25$

$$K_2 = 1,25$$

За ГОСТом 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду ( $-1^\circ C$ ) і часу перевантаження  $t_{час}$ , знаходимо значення перевантаження допустиме  $t = часв$ . Для трансформаторів з системою охолодження Д. Порівнюємо значення  $K_2$  по ГОСТу і реальне. Якщо значення  $K_2$  по ГОСТу менше, ніж реально. Значить трансформатор обраний неправильно і необхідно вибрати трансформатор потужніший. Для надійності приймаємо два трансформатора типу ТРДН. У разі виходу з ладу одного трансформатора, другий забезпечить живлення споживача без обмеження.

Так як по ГОСТу 14209-85  $K_2 = 1,5 > 1,25$  - трансформатор обраний правильно.

										Арк.
										25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ					

## 2.2. Вибір трансформаторів власних потреб

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

Сумарна розрахункова потужність приймача власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнта попиту. Розрахунок потужності приймача власних потреб наведено в таблиці №2.

Таблиця №2.2 - Розрахунок потужності приймача власних потреб

№ п / п	Найменування споживача	Кількість одиниць	Потужність одиниць, кВт	Коеф. попиту	cos φ	Споживча 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 РУ	1	5	0,65	0,95	3,42
5	освітлення РУ	1	2	0,65	0,93	1,35
Сумарне навантаження власних потреб, кВА						17,7

На підстанції передбачається установка двох трансформаторів власний потреб номінальна потужність вибирається з умов:

$$S_{\text{тсн}} > S_{\text{сн}},$$

де  $S_{\text{тсн}}$  - потужність трансформатора власних потреб, кВА;

$S_{\text{сн}}$  - потужність споживачів власних потреб, кВА.

Оскільки  $S_{\text{сн}} = 17,7$  кВА, то беремо потужність трансформатора власних потреб рівній 25 кВА. Ремонтне навантаження підстанції беремо рівною 20 кВА. При підключенні такого навантаження на один трансформатор допускається його перевантаження на 20%. Потужність трансформатора для забезпечення

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ

живлення навантаження власних потреб з урахуванням ремонтних навантажень:

$$S_{TCH} = \frac{S_{TTP} + S_{CH}}{1,2}$$

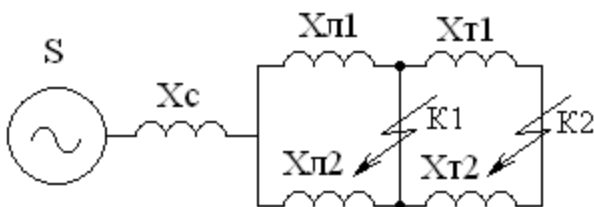
$$S_{TCH} = \frac{17,69 + 20}{1,2} = 31,39 \text{ кВА.}$$

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

### 2.3. Розрахунок струмів короткого замикання

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору обладнання на сторонах 110 кВ і 10 кВ. Підстанція харчується за двома тупиковими лініями. Схеми заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведені на мал. 2.

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центру живлення становить  $S_c = 2600 \text{ МВА}$



Мал 2.3..1. Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання.

Опору системи одно.

$$X_c = \frac{U_{л}}{S_c}$$

$$U_{л} = \sqrt{X_c \cdot S_c}$$

$$U_{л} = \sqrt{4,6 \cdot 2600} = 110 \text{ кВ}$$

Опір працюючих ліній = 2,1 Ом;

Трансформаторів = 165 Ом.

Періодична складова ТКЗ в точці

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{K1} = \frac{U_{Л}}{X_C + X_{Л}}$$

$$I_{K1} = \frac{110}{4.6 + 2.1} = 16,4 \text{ кА}$$

теж в точці  $K_2$  приведена до напруги вищої сторони

$$I_{K2}^B = \frac{U_{Л}}{X_C + X_{Л} + X_T}$$

$$I_{K2}^B = \frac{110}{4.6 + 2.1 + 165} = 0,63 \text{ кА}$$

реальний ТКЗ в точці

$$I_{K2} = I_{K2}^B \cdot \frac{110}{10}$$

$$I_{K2} = 0,63 \cdot \frac{110}{10} = 7,05 \text{ кА}$$

ударний струм

$$\text{У точці } I_{y K1} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K1} = 1,41 \cdot 1,61 \cdot 16,4 = 37,33 \text{ кА}$$

$$\text{У точці } I_{y K2} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K2} = 1,41 \cdot 1,61 \cdot 7,05 = 16,4 \text{ кА}$$

Припустимо, що амплітуда ЕРС і періодична складова ТКЗ незмінна часом, тому через час, рівний часу відключення

$$I_{n\tau} = I_{K1} = 16,4 \text{ кА для точки } K_1 ;$$

$$I_{n\tau} = I_{K2} = 7,05 \text{ кА для точки } K_2 ;$$

Аперіодична складова ТКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача ;

$$i_a = \sqrt{2} I \cdot e^{-\frac{t}{Ta}}$$

$$i_{a1} = 1,41 \cdot 16,4 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,025}} = 2,54 \text{ кА}$$

$$i_{a2} = 1,41 \cdot 7,05 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,05}} = 0,72 \text{ кА}$$

де  $Ta$  - постійна часу загасання аперіодичної складової для  $K_1 Ta = 0,025$  с для  $K_2 Ta = 0,05$  с. інтеграл Джоуля

$$\text{для } K_1 \quad B_R = I_{K1}^2 (t + Ta) = I_{K1}^2 (0,06 + 0,025) = 16,4^2 \cdot (0,06 + 0,025) = 22,8 \text{ кА}^2 \text{с}$$

$$\text{для } K_2 \quad B_R = I_{K2}^2 (t + Ta) = I_{K2}^2 (0,1 + 0,05) = 7,05^2 \cdot (0,1 + 0,05) = 7,4 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Результати розрахунку зведені в табл.2.3

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця №2.3 - Струми короткого замикання

Токи короткого замикання	ТКЗ в нач. момент часу кА	Ударний ТКЗ , кА	ТКЗ в момент розходу контактів вимикача кА	Аперіод. ТКЗ, кА	Інтеграл Джоуля $B_k$ , до $A^2c$
Шини 110 кВ (K <sub>1</sub> )	16,4	37,33	16,4	2,54	22,8
Шини 10 кВ (K <sub>2</sub> )	7,05	16,4	7,05	0,72	7,4

#### 2.4. Вибір високовольтних апаратів РУ електричних частин

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

- 1) вибір за напругою;
- 2) вибір по нагріванню при тривалих струмів?
- 3) перевірка на електродинамічну стійкість;
- 4) перевірка на термічну стійкість;
- 5) вибір по виконанню (для зовнішньої або внутрішньої установки);

Вибору підлягають: вимикачі на стороні вищої напруги; вступні вимикачі на стороні 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 після аварійного режиму. Визначення струмів проводиться для випадку установки на підстанції силового трансформатора. Розрахованого згідно з графіком навантаження підстанції.

Максимальний струм на зовнішній стороні

$$I_{110 \text{ MAX}} = \frac{1,4 S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot 110}$$

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ



Обраний вимикач повністю задовольняє умовам вибору.

На стороні низької напруги вибрати вакуумні вимикачі.

Як вступного використовується вимикач ВВЕ-10-20 / 1000, каталожні дані якого наведені в таблиці 2.5.

Таблиця №2.5. Вибір вимикачів в ланцюзі трансформатора на стороні 10 кВ.

Умова вибору	Розрахункові значення	каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	161,7 А	1000 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	7,05 кА	20 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	16,4 кА	52 кА
$I_{nt} \leq I_{ОткНом}$	7,05 кА	20 кА
$I_{at} \leq I_{a ном}$	0,72 кА	11 кА
$B_k \leq I_t^2 t_r$	7,4 кА <sup>2</sup> з	1200 кА <sup>2</sup> з

Як секційного вимикача використовуємо ВВЕ-10-20 / 630. Вибір вимикачі наведено в таблиці 2.6.

Таблиця №2.6 - Вибір секційного вимикача на стороні 10 кВ.

Умова вибору	Розрахункові значення	каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	161,7 А	630 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	7,05 кА	20 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	16,4 кА	52 кА
$I_{nt} \leq I_{ОткНом}$	7,05 кА	20 кА





Приймаються до установки на стороні 110 кВ роз'єднувачі типу РНД31-110 / 1000 УХЛ1 і РНД 32-110 / 1000 УХЛ1

***РНД (3) - 110 / 1000У***

**2.5. Вибір вимірювальних пристроїв струму і напруги**

Для підключення приладів і пристроїв релейного захисту необхідна установка трансформаторів струму і напруги. У цьому проекті релейний захист детально не розробляється, тому перевірку трансформаторів по вторинної навантаженні виконуємо з урахуванням підключення тільки вимірювальних приладів. У ланцюзі 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 відхідних лініях 10 кВ - амперметр, лічильники активної і реактивної енергії.

*Таблиця №2.8 - Розрахунок вторинної навантаження трансформатора струму.*

Прилад	Тип	Клас	Навантаження по фазах		
			А	В	З
прилад	Тип	клас	А	В	З
амперметр	Е-335	1	0,5	0,5	0,5
ватметр	Д-350	1,5	0,5	-	0,5
ватметр	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 ланцюзі силового тр-ра з боку НН			6,5	0,5	6,5
Сумарне навантаження струму в ланцюзі секційних вимикачів . на НН			0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в ланцюзі силового тр-ра з боку ВН			0,5	0,5	0,5

Сумарне навантаження струму в ланцюзі відхідній лінії			0,5	0,5	0,5
---	--	--	-----	-----	-----

Таблиця №2.9 - Вибір трансформатора струму в ланцюзі силового трансформатора на стороні вищої напруги.

Умова вибору	Розрахункові значення	каталожні значення
$U_C \leq U_H$	1 10 кВ	110
$I_{расч} \leq I_{ном}$	16 , 4 А	50-600
$i_y \leq I_{прСКВ}$	37,33 А	62-124
$B_k \leq I_t^2 t_r$	22,8 А	162,5
$Z_H \leq Z_{H ном}$	1,25 А	4

Для перевірки по вторинної навантаженні визначаємо опір приладів:

$$Z_{приб} = \frac{S_{приб}}{I^2}$$

$$Z_{приб} = \frac{0,5}{5^2} = 0,022 \text{ Ом.}$$

Тоді опір вимірювальних проводів може бути:

$$Z_{пр} = Z_{ном} - Z_{приб} - Z_k \quad (3.10);$$

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

$Z_{приб}$  - опір приладів, Ом;

$Z_k$  - опір контактів, Ом.

$$Z_{пр} = 4 - 0,02 - 0,1 = 3,87 \text{ Ом.}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинен становити не менше 4 мм<sup>2</sup> для алюмінієвих жив. Перетин жив при довжині кабелю  $l = 160 \text{ м}$

$$Z_{пр} = \rho \frac{l}{F}$$

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ

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

F - перетин жив,  $\text{мм}^2$ ;

$$F = \frac{0,028 \cdot 160}{4} = 1,14 \text{ Ом.}$$

Загальний опір кола струму:

$$Z_H = Z_{\text{приб}} + Z_K + Z_{\text{пр}}$$

$$Z_H = 0,02 + 0,1 + 1,13 = 1,25 \text{ Ом,}$$

що менше 4 Ом, допустимих при роботі трансформатора в класі точності 1. Трансформатор струму ТФЗМ-110-У1 відповідає умовам вибору.

Таблиця №2.10 - Вибір трансформатора струму в ланцюзі силового трансформатора на стороні нижчої напруги.

Умо ва вибору	Розрахун кові значення	Катало гові значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	161,7 А	2000
$i_y \leq i_{\text{дин}}$	16,4 А	-
$B_K \leq I_t^2 t_T$	7,4 А	74,42
$Z_H \leq Z_{H \text{ ном}}$	1,25 А	4

Перевірка по вторинної навантаженні виконується аналогічно. Обрано трансформатори ТШЛ-10К. Шинні трансформатори струму виготовляють для номінальних напруг до 20 кВ і струмів до 24000 А. В якості первинної обмотки використовується прохідна шина. Вони можуть бути виконані класу 0,5. Як приклад на рис 13.5 показаний шинний трансформатор струму типу ТШЛ-20 (Ш-шинний, Л - лита ізоляція)

Таблиця №2.11 - Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталогові значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10
$I_{расч} \leq I_{ном}$	171,7 А	5-200
$i_y \leq i_{дин}$	16,4 А	250
$B_k \leq I_t^2 t_r$	7,4 А	74,42
$Z_H \leq Z_{H ном}$	1,25 А	4

Приймаються до установки трансформатор струму ТЛП-10.

Як трансформаторів напруги вибираємо на стороні 110 кВ трансформатори НКФ-110-58, на стороні 10 кВ - ЗНОЛ.06-10-У3. Їх характеристики приведені в таблиці №12.

Таблиця №2.12 - Параметри вимірювальних трансформаторів

Тип	Номинальна напруга обмотки			Номинальна потужність, В · А, в класі точності				Максимальна потужність, В · А
	первинної, кВ	основної вторинної, В	додавкової, В	,2	,5			
ЗНОЛ.06	6 /	100 /	100: 3 або 100	0	0	5	00	400
	10 /			0	5	50	00	630
	15 /			0	5	50	00	630
	20 /			0	5	50	00	630
	24 /			0	5	50	00	630
					0	5	50	00
НКФ-110-58	110 /	100 /	100: 3		00	00	200	2000

## 2.6. Вибір ошиновки РУ

Ошиновка в РУ 110 кВ виконують, як правило, сталелегалюмінієвими проводами марки АС. при цьому перетин шин має бути не менше  $70 \text{ мм}^2$  (за умовами коронування). Вибір перетину здійснюється за тривалий час допустимого струму. При максимальному робочому до 200А вибираємо перетин  $70 \text{ мм}^2$  з допустимим струмом 265А. мінімальний переріз, виходячи з умови термічної стійкості, визначається за формулою

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C}$$

$$\text{де } C = 91 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кАс}}{\text{мм}^2}$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{10 \cdot 5}}{91 \cdot 10^{-3}} = 36,19 \text{ мм}^2$$

Перетин  $70 \text{ мм}^2$  підходить і по термічній стійкості, але живлять підстанцію лінії виконані проводом АС-95, тому і для ошиновки підстанції приймаємо АС-95.

Ошиновка закритих РУ 10 кВ виконується жорсткими шинами. Вибір перетину також проводиться по допустимому току. Жорсткі шини повинні бути перевірені на динамічні дії струмів КЗ і на можливість виникнення резонансних явищ. Зазначені явища не виникають при КЗ, якщо власна частота коливачь шини менше 30 і більше 200 Гц. частота власних коливачь для алюмінієвих шин визначається за формулою

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

$$f_0 = \frac{173 \cdot 2}{1,5^2} \sqrt{\frac{0,00104}{0,025}} = 15,74 \text{ Гц,}$$

де  $l$  - довжина прольоту між ізоляторами  $l = 1,5$

$\gamma$  - момент інерції поперечного перерізу шини щодо осі, перпендикулярній напрямку згинального сили,  $\text{см}^2$

$q$  - поперечний переріз шини,  $\text{см}^2$

$$\gamma = \frac{\sigma h^2}{12}$$

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$\gamma = \frac{0.05 \cdot 0.5^2}{12} = 0,00114 \text{ см}^4;$$

де  $\sigma$  - товщина шини, см.

$h$  - ширина шини, см.

Умовою механічної міцності шин є

$$\sigma_{расч} \leq \sigma_{доп};$$

$$52,16 \text{ МПа} < 75 \text{ МПа};$$

де  $\sigma_{расч}$  - розрахункове механічне напруження в матеріалі шин, МПа.

$\sigma_{доп} = 75 \text{ МПа}$  - допустиме механічне напруження в матеріалі шин для

алюмінієвого сплаву ДДЗТТ.

Розрахункова механічне напруження визначається за формулою

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{i_y^2 l^2}{W a}$$

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{37340^2 \cdot 1.5^2}{0.00208 \cdot 0.5} = 52,15 \text{ МПа},$$

$$\text{де } W = \frac{bh^2}{6}$$

- момент опору шини;

$$W = \frac{0.05 \cdot 0.5^2}{6} = 0,00228 \text{ см}^4$$

$a = 0,5 \text{ м}$  - відстань між фазами.

Таким чином обрані алюмінієві шини прямокутного перерізу 0,05x0,5 м, перевірені на можливість виникнення резонансних явищ і на динамічну стійкість - і вони задовольняють необхідні вимоги.

										Арк.
										38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ					

### 3. Розрахунок релейного захисту.

#### 3.1. Розрахунок струмів КЗ:

Мінімальна і максимальна напруга трансформатора

$$U_{T.MIN} = U_{T.HOMBH} \cdot (1 - \Delta U_{PHH}) = 115(1 - 0,16) = 96,7 \text{ (кВ)}$$

$$U_{T.MAX} = U_{T.HOMHH} \cdot (1 + \Delta U_{PHH}) = 115(1 + 0,16) = 133,5 \text{ (кВ)}$$

Мінімальна і максимальна опір трансформатора

$$X_{T.MIN} = \frac{U_{K.MIN}}{100} \cdot \frac{U_{T.MIN}^2}{S_{T.HOM}} = \frac{9,59}{100} \cdot \frac{96,6^2}{40} = 22,47 \text{ (Ом)}$$

$$X_{T.MAX} = \frac{U_{K.MAX}}{100} \cdot \frac{U_{T.MAX}^2}{S_{T.HOM}} = \frac{11,46}{100} \cdot \frac{133,4^2}{40} = 62 \text{ (Ом)}$$

Мінімальні та максимальні коефіцієнти трансформації тр-ра

$$K_{T.MIN} = \frac{U_{T.MIN.BH}}{U_{T.HH}} = \frac{96,6}{38,5} = 2,456 ;$$

$$K_{T.MAX} = \frac{U_{T.MAX.BH}}{U_{T.HH}} = \frac{133,4}{38,5} = 3,462$$

Мінімальні і максимальні струми КЗ на сторонах трансформатора

$$I_{K.MAX.BH}^{(3)} = \frac{U_{HOM.CETH}}{\sqrt{3}(X_C + X_{T.MAX})} = \frac{115000}{\sqrt{3}(0 + 60)} = 1116 \text{ (А)}$$

$X_C$  приймаємо = 0;

$$I_{K.MAX.HH}^{(3)} = I_{K.MAX.BH} \cdot K_{T.MIN} = 1106 \cdot 2,5 = 2756 \text{ (А)}$$

$$I_{K.MIN.BH}^{(3)} = \frac{U_{MAX.BH}}{\sqrt{3}(X_{C,MAX} + X_{T.MIN})} = \frac{133400}{\sqrt{3} \cdot 22,37} = 3453 \text{ (А)}$$

$$I_{K.MIN.HH}^{(3)} = I_{K.MIN.BH} \cdot K_{T.MAX} = 3443 \cdot 3,46 = 11914 \text{ (А)}$$

Опір загального навантаження, наведеною до сторони ВН

$$X'_{HAHP} = \frac{X_{HAHP} \cdot U_{T.MIN}^2}{S_{T.HOM}} = \frac{0,35 \cdot 96,6^2}{40} = 81,63 \text{ (Ом)}$$

Максимальний струм самозапуску на сторонах трансформатора

$$I_{CPI.MAX.BH} = \frac{U_{HOM}}{\sqrt{3} \cdot (X_{C,MAX} + X_{T.MIN} + X'_{HAHP})} = \frac{115000}{\sqrt{3}(22,37 + 81,65)} = 637,2 \text{ (А)}$$

$$I_{CPI.MAX.HH} = I_{CPI.MAX.BH} \cdot K_T = 638,2 \cdot 2,5 = 159,5 \text{ (А)}$$

Робочий струм на стороні ВН

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{РАБ.МАХ.ВН} = \frac{S_{Т.НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{Т.МІН}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 96,6} = 239 (A)$$

коефіцієнт самозапуску

$$K_{СЗП} = \frac{I_{СЗП.МАХ.ВН}}{I_{РАБ.МАХ.ВН}} = \frac{638,2}{239} = 2,67 (A)$$

### 3.2. Розрахунок МТЗ лінії, яка відходить від шин НН трансформатора:

Максимальний струм навантаження

$$I_{НАГР.МАХ.НН} = 600 (A)$$

$$I_{С.З.} = \frac{K_H \cdot K_{СЗП}}{K_{НАГР}} \cdot I_{НАГР.МАХ.НН} = \frac{1,5 \cdot 2,67}{0,8} \cdot 600 = 3003,75 (A)$$

Струм спрацьовування реле

$$I_{СП} = \frac{I_{СЗ} \cdot K_{СХ}^2}{n_T} = \frac{3003,75 \cdot 1}{500 / 5} = 10 (A)$$

Мінімальний струм КЗ, який протікає по обмотці реле

$$I_{Р.МІН} = \frac{0,87 \cdot I_{К.МІН.НН}^{(3)}}{n_T} = \frac{11913 \cdot 0,87}{500 / 5} = 34,5 (A)$$

Коефіцієнт чутливості захисту

$$K_q = \frac{I_{Р.МІН}}{I_{СП}} = \frac{34,5}{10} = 3,4 > 1,5$$

Витримка часу  $t_{cз} = 0,5 c$

Тип реле РТ-40/5.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3.3. Розрахунок уставок захисту трансформатора:

Захист від міжфазних КЗ

Використовуємо подовжню диференціальну струмовий захист з реле типу ДЗТ-11.

Визначимо середні значення первинних і вторинних струмів всіх сторін захищеного трансформатора.

Первинний струм на сторонах трансформатора, що захищається, відповідний його номінальній потужності, А

$$I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3}U_{НОМ .CP}};$$

Числове значення для боку 121кВ:

(А);

Числове значення для боку 38,5кВ:

(А).

Схеми з'єднання трансформатора струму:

Для 115кВ- Д.

Для 38,5кВ- Y

Коефіцієнт трансформації трансформаторів струму:

Для 115кВ:

$$n = 400/5;$$

Для 38,5кВ:

$$n = 15000/5;$$

Вторинний струм в плечах захисту, відповідну номінальній потужності захищеного трансформатора, А:

$$I_{НОМ} = \frac{I_{НОМ} \cdot K_{CX}}{n_1};$$

Числове значення для боку 110кВ:

$$I_{НОМ} = \frac{190 \cdot 5 \cdot \sqrt{3}}{400 / 5} = 4,13 \text{ ( А )}.$$

Для сторони 38,5кВ:

$$I_{НОМ} = \frac{560 \cdot 1}{15000 / 5} = 1,86 \text{ ( А )}.$$

Визначимо первинний струм небалансу без урахування

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{НБ} = I_{НБ1} + I_{НБ2} = (K_{АПЕР} \cdot K_{ОДН} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН}) \cdot I_{К.}^{(3)}_{МАХ.ВН} = (1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,16) \cdot 1106 = 176,96 (A)$$

Струм спрацьовування захисту

$$I_{С.З} = K_{Н.} \cdot I_{Т.МАХ.ВН} = 1,5 \cdot 239 = 358,5 (A)$$

Струм спрацьовування реле

$$I_{СР} = \frac{I_{С.З} \cdot K_{СХ}^{(3)}}{n_T} = \frac{358,5 \cdot \sqrt{3}}{15000 / 5} = 2,1 (A)$$

Попереднє значення коефіцієнта чутливості

$$K_{Ч} = \frac{I_{Р.МІН}}{I_{СР}} = \frac{10,3}{2,1} = 4,9 \approx 5.$$

### 3.4. Визначення числа витків обмоток реле:

Струм спрацьовування реле в основній зоні

$$I_{СР.ОСН} = \frac{I_{С.З.ОСН} \cdot K_{СХ.ВН}}{n_T};$$

$$I_{СР.ОСН} = \frac{286,7 \cdot \sqrt{3}}{400 / 5} = 6,19 (A).$$

Число витків обмотки реле для основної сторони основної зони:

$$\text{Розрахункова значення } W_{ОСН.РАСЧ} = \frac{F_{СР}}{I_{СН.ОСН}};$$

$$W_{ОСН.РАСЧ} = \frac{100}{6,19} = 16,134 (\text{вит})$$

прийняте значення  $W_{ОСН} = 16 \text{ вит}$

Струм спрацьовування реле

$$I_{СР.ОСН} = \frac{F_{СР}}{W_{ОСН}};$$

$$I_{СР.ОСН} = \frac{100}{16} = 6,25 (A)$$

Струм спрацьовування захисту в основній зоні

$$I_{СЗ.ОСН} = I_{СР.ОСН} \cdot \frac{n_T}{K_{СХ}};$$

$$I_{СЗ.ОСН} = 6,25 \cdot \frac{80}{1} = 500 (A)$$

Струм спрацьовування захисту в неосновній зоні

$$I_{СЗ.НЕОСН} = I_{СЗ.ОСН} \cdot K_{Т.МІН};$$

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{C3. \text{HEOCH}} = 500 \cdot 2,5 = 1250 \text{ (A)}$$

Число витків обмотки реле для неосновної боку

Розрахункове значення

$$W_{\text{HEOCH} \text{ .PACЧ}} = \frac{I_{2 \text{ OCH}} \cdot W_{\text{OCH}}}{I_{2 \text{ HEOCH}}};$$

$$W_{\text{HEOCH} \text{ .PACЧ}} = \frac{2,5 \cdot 16}{1,86} = 21,5 \text{ (вит)};$$

прийняте значення

$$W_{\text{HEOCH}} = 22 ;$$

$$W'_{\text{HEOCH} \text{ .PACЧЕТ}} = \left( \frac{W_{\text{HEOCH} \text{ .PACЧ}} - W_{\text{HEOCH}}}{W_{\text{HEOCH} \text{ .PACЧ}}} \right) \cdot I_{K^{(3)} \text{ MAX .BH}} ;$$

$$W_{\text{HEOCH} \text{ .PACЧЕТ}} = \left( \frac{21,5 - 22}{21,5} \right) \cdot 1106 = -25,7$$

Первинний струм небалансу з урахуванням  $I_{\text{HB} \text{ .З}}$ .

$$I'_{\text{HB}} = I_{\text{HB}} + I_{\text{HB} \text{ .З}};$$

$$I'_{\text{HB}} = 176,96 - 25,7 = 151,26 \text{ (A)}$$

Прийняті числа витків

$$W_{\text{OCH}} = W_{\text{PACЧ}} 1;$$

$$W_{\text{OCH}} = 16 .$$

$$W_{\text{HEOCH}} = W_{\text{PACЧ}} 2;$$

$$W_{\text{HEOCH}} = 22 .$$

робимо перевірку

$$I_{2 \text{ OCH}} \cdot W_{\text{OCH}} \approx I_{2 \text{ HEOCH}} \cdot W_{\text{HEOCH} \text{ .PACЧ}} ;$$

$$2,5 \cdot 16 = 40 \approx 1,86 \cdot 21,5 = 39,99$$

Коефіцієнт чутливості захисту при КЗ за трансформатором

$$K_{\text{ч}} = \frac{34,5}{6,25} = 5,5 \approx 5$$

Кількість витків обмотки гальмування

$$W_{\text{TOP} \text{ .PACЧ}} = \frac{K_{\text{H}} \cdot I'_{\text{HB}} \cdot W_{\text{HEOCH}} \cdot K_{\text{T.MIN}}}{I_{K^{(3)} \text{ MAX}} \cdot \text{tg } \alpha};$$

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$W_{TOP.PACЧ} = \frac{1,5 \cdot 151,26 \cdot 22 \cdot 2,5}{1595,5 \cdot 0,87} = 8,99 \text{ (вум)}$$

Приймаємо число витків рівне 9:  $w_{II} = 9$

### 3.5. МТЗ трансформатора від зовнішніх КЗ:

Максимальний струмовий захист (м с. 3.) Спрацьовує при збільшенні струму елемента, який захищається, понад встановленого струму спрацьовування (уставки). На понижувальних трансформаторах фактично будь-якої потужності г.с.з. встановлюється в обов'язковому порядку як основний або резервний

На трансформаторах потужністю менше 1 МВА г.с.з. є основним захистом від струмів, обумовлених КЗ в трансформаторі, оскільки на цих трансформатори часто не встановлюються диференційна і газова захисту, а струмів відсічка (якщо вона встановлюється) захищає тільки частина витків трансформатори. Крім того, г.с.з. є основним захистом шин нижнього напруги, а також резервним захистом для елементів мережі нижнього напруги.

На трансформаторах потужністю 1 МВА і вище г.с.з. встановлюється як головний захист при КЗ на шинах нижнього і середнього напруг і як резервний - при КЗ на елементах мережі, які відходять (нижнього і середнього напруга є ний). При цьому передбачається, що на трансформаторі є диференційна і газовий захист чи один з них.

На понижувальних трансформаторах г.с.з. завжди встановлюється з боку головного живлення.

Для виконання г.с.з. можуть використовуватися максимальні реле струму різних конструкцій: електромагнітні, індукційні і статичні. Г. с. з. з обмеженою залежною характеристикою застосовується тільки на трансформаторах невеликої потужності з вищою напругою 6 або 10 кв (іноді 35 кв) з використанням реле типу РТВ або РТ-80. На трансформаторах з вищою напругою і їм 35, 110, 220кВ м с.з. виконується з незалежної характеристикою і, як правило, на реле типу РТ-40. Схеми включення струмових реле г.с.з. трансформаторів вибираються таким чином, щоб забезпечити найбільшу чутливість захисту при всіх видах зовнішніх КЗ, тобто при КЗ на сторонах НН и СН.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема неповної зірки є типовою для понижувальних трансформаторів 6 або 10 кВ і схемами з'єднання обмоток У / У<sub>0</sub> або Д / У<sub>0</sub>, а також для трансформаторів 35 кВ.

МТЗ встановлюємо на стороні ВН з двома витягами часу

Струм спрацювання реле:

- за умови неспрацювання від струму самозапуску

$$I_{CЗ} = K_{ч} \cdot I_{CЗП \text{ .МАХ .ВН}} ;$$

$$I_{CЗ} = 1,1 \cdot 638,2 = 702,02 (A)$$

- за умови погодження з МТЗ лінії

$$I_{CЗ} = K_{нс} \cdot I_{вз \text{ .ЛІНІ}} ;$$

$$I_{CЗ} = 1,3 \cdot \frac{3003,75}{115 / 38,5} = 1307,3 (A)$$

приймаємо  $I_{CЗ} = 1307,3 A$

Струм спрацювання реле

$$I_{CР} = \frac{I_{CЗ} \cdot K_{CХ}^{(3)}}{n_T} ;$$

$$I_{CР} = \frac{1307,3}{80} = 16,3 (A)$$

Чутливість МТЗ при двофазному КЗ за трансформатором

$$K_{ч} = \frac{34,5}{16,3} = 2,12 > 1,5$$

Час спрацювання першого та другого ступенів МТЗ

$$t_{MCЗ 1} = t_{MCЗ \text{ .ЛІНІ}} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1(c)$$

$$t_{MCЗ 2} = t_{MCЗ 1} + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5(c)$$

### 3.6.Захист від перевантаження:

Захист від перевантаження згідно з ПУЕ встановлюється на трансформаторах потужністю 0,4 мВт і більше. Захист від перевантаження при симетричному навантаженні може здійснюватися реле, встановленим в одній фазі.

Захист виконуємо за допомогою одного реле, яке включаємо в ланцюг одного з ТТ МТЗ трансформатора.

Струм спрацювання захисту

$$I_{CЗ} = \frac{K}{K_{ПОЛН}} \cdot I_{Т \text{ .НОМ .ВН}} ;$$

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$I_{C3} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 190,85 = 250 \text{ (A)}$$

Струм спрацьовування реле

$$I_{CP} = \frac{I_{C3} \cdot K_{CX}^{(3)}}{n_T};$$

$$I_{CP} = \frac{250 \cdot 1}{80} = 3,125 \text{ (A)}$$

Час спрацювання захисту

$$t_{ПЕР} = t_{MC3 2} + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ (с)}$$

### 3.7.Захист від пошкоджень всередині трансформатора:

Використовуємо газову захист з поплавковим реле типу РЗТ-80 і струменевим реле РЗТ-24.

Газовий захист (ГЗ) - це захист від внутрішніх пошкоджень трансформатора, супроводжуваних виділенням газу, зниженням рівня масла в газовому реле, або інтенсивним рухом потоку масла з бака трансформатора в розширювач. Для правильної роботи ГЗ корпус трансформатора встановлюється з нахилом 1,5-2% в сторону розширювача. Газове реле встановлюється в розтин трубопроводу від корпусу трансформатора до розширювача. Газовий захист абсолютно селективна і не реагує на пошкодження поза баком трансформатора. Газовий захист трансформатора виконується двоступеневої:

Перший ступінь ГЗ спрацьовує при не значному виділенні газу, або зниженні рівня масла в газовому реле, і з витримкою часу діє на сигнал.

Другий ступінь ГЗ спрацьовує при значному виділенні газу, зниженні рівня масла в газовому реле, або при інтенсивному русі потоку масла з бака трансформатора в розширювач, і діє на відключення трансформатора з усіх боків без витримки часу.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 Заходи безпеки при експлуатації електрообладнання

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

Електробезпека – система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики. Небезпека електричного струму у відмінності інших небезпек посилюється тим, що людина невзможі без спеціальних приладів виявити напругу дистанційно. Небезпека виявляється надто пізно – коли людина вже уражена.

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

Основними причинами електротравматизму на виробництві є: випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування; використання несправних ручних електроінструментів; застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220 чи 127В.

Робота без надійних захисних засобів та запобіжних пристосувань; доторкання до незаземлених корпусів електроустаткування, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції; недотримання правил улаштування, технічної експлуатації та правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок та ін.

Електроустаткування, з яким доводиться мати справу практично всім працівникам на виробництві, становить значну потенційну небезпеку ще й тому,

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що органи чуття людини не здатні на відстані виявляти наявність електричної напруги. В зв'язку з цим захисна реакція організму проявляється лише після того, як людина потрапила під дію електричної напруги. Проходячи через організм людини електричний струм справляє на нього термічну, електролітичну, механічну та біологічну дію.

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

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

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

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

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

#### **4.2. Міри безпеки при обслуговуванні електрообладнання**

Оперативне обслуговування електроустановок передбачає періодичні та позачергові огляди електрообладнання, контроль і облік електроенергії, оперативні перемикання. Обслуговування електроустановок здійснюється інженерно-технічним, черговим і оперативно-ремонтним персоналом. Обов'язки, закріплені за персоналом даної електроустановки, визначаються інструкціями, в яких викладені конкретні заходи з електробезпеки та пожежобезпеки стосовно до

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



експлуатаційного персоналу. При обслуговуванні електроустановок напругою вище 1000В старший в зміні або черговий повинні мати кваліфікаційну групу з ТБ не нижче IV, а в ЕУ до 1000В - не нижче III.

Огляд електрообладнання, що знаходиться під напругою, пов'язаний з небезпекою враження електричним струмом, який виникає при випадковому дотику до струмоведучих частин або наближення до них на відстань, коли можливо перекриття повітряного проміжку і враження через електричну дугу. Для уникнення ураження електричним струмом під час огляду діючих ЕУ, необхідно дотримуватися таких заходів безпеки. При огляді ЕУ напругою вище 1000В однією особою не дозволяється проникати за огорожі і входити в камери РП. Оглядати електрообладнання слід тільки з порога комірки або стоячи перед бар'єром.

При виявленні під час огляду випадкового замикання струмоведучих частин на землю, забороняється до відключення пошкодженої ділянки наближатися до місця замикання менш 8м. на ВРП і 4м. в ЗРП для уникнення враження кроковою напругою. Якщо необхідно приблизитися до місця КЗ, то слід застосовувати засоби захисту (діелектричні боти, калоші). У ЕУ до 1000В під час огляду електрообладнання забороняється виконувати будь-які роботи на цьому обладнанні, за винятком роботи, пов'язані з попередженням аварії або нещасного випадку. Також забороняється знімати огороження струмоведучих частин і наближатися до них на небезпечну відстань.

Зміна згорілих плавких вставок запобіжників повинна виконуватися при знятій напрузі. Зміну плавких вставок закритих запобіжників допускається проводити під напругою, але при відключеному навантаженні. Ця робота виконується з застосуванням індивідуальних засобів захисту від електроураження.

Оперативні перемикання в РП підстанції проводиться черговим або оперативним ремонтним персоналом за розпорядженням або з відома вищого чергового електротехнічного персоналу, відповідно до встановленого на підприємстві режиму роботи.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У РП вище 1000В складні оперативні перемикання, виконані більш ніж на одне приєднання, повинні виконуватися двома особами. Одній особі з числа чергового або оперативного персоналу дозволяється виконувати перемикання тільки в ЕУ, обладнаних блокуваннями роз'єднувачів, що не допускають їх відключення під навантаженням.

Технічними заходами щодо забезпечення безпеки робіт у ЕУ є:

- відключення ремонтуємого електрообладнання та вжиття заходів проти його помилкового включення;
- встановлення тимчасових огорож на не відключених струмовідних частинах і вивішування заборонних плакатів;
- приєднання переносного заземлення;
- огороження робочого місця та вивішування на них дозволяючого плаката.

При роботі поблизу струмоведучих частин що знаходяться під напругою, необхідно забезпечити відповідне розташування персоналу по відношенню до струмоведучих частин, дотримуючись мінімальні відстані до них. Неприпустима робота в зігнутому положенні, якщо при випрямленні, відстань від будь-якої точки тіла до струмоведучих частин буде меншою допустимої. У приміщеннях, особливо небезпечних щодо ураження електричним струмом людей, заборонені всі види робіт.

При експлуатації об'єкта можливі наступні небезпечні фактори:

- ураження електричним струмом при дотику до струмоведучих частин;
- ураження електричним струмом при дотику до струмоведучих частин нормально не знаходяться під напругою;
- вплив електромагнітного поля на організм;
- ураження електричним струмом під час роботи з несправним інструментом і засобів індивідуального та колективного захисту;
- ураження обслуговуючого персоналу, що знаходиться в зоні розтікання електричного потенціалу при замиканні на землю;
- можливість падіння персоналу з висоти;

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливість ураження персоналу при проведенні комутаційних операцій.

Для запобігання впливу небезпечних факторів на персонал, необхідно передбачати такі заходи:

- персонал повинен діяти згідно ПТБ при роботі в електроустановках;
- повинна проводитися щорічна перевірка знань, інструктаж з техніки безпеки;
- при неможливості обмеження часу перебування персоналу під впливом електричного поля необхідно застосувати екранування робочих місць: екрани над переходами, що екранують козирки і навіси над шафами управління, знімні екрани при ремонтних роботах;
- установка заземлювального контуру, заземлення та занулення устаткування;
- дотримання відстаней до струмоведучих частин;
- виконання організаційно-технічних заходів для безпечного проведення робіт.

При прийманні зміни електромонтер повинен особистим оглядом та опитуванням електромонтера, що здає зміну, перевірити стан та справність обладнання, ознайомитися з режимом роботи установок, в'яснити, які роботи виконуються, місця установлених заземлень, перевірити та прийняти інструмент, матеріали, ключі від приміщень, захисні засоби, оперативну документацію.

Огляд обладнання повинен виконуватися в спецодязі.

Під час огляду звернути увагу на справність огорожі, освітлювальних приладів, сигналізації, засобів зв'язку, стан та чистоту території.

Після огляду ознайомитись з записами і розпорядженнями, занесеними в оперативний журнал після свого попереднього чергування.

Приймання зміни фіксується в оперативному журналі з підписом електромонтера, що здає зміну і електромонтера, що приймає зміну.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 4.3 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Під час чергування електромонтер повинен виконувати періодичні огляди обладнання. При цьому забороняється відкривати двері огорож та проходити за огорожі, бар'єри в устаткуванні понад 1000 В.

Забороняється виконання будь-якої роботи під час огляду.

Забороняється в електроустановках наближення людей, механізмів та вантажопідіймальних машин до неогороджених струмоведучих частин, що перебувають під напругою, на відстань менше зазначеної в таблиці 4.1:

Таблиця 4.1 – Мінімальні відстані до струмоведучих частин

Напруга, кВ	Відстань від людини у будь-якому можливому її положенні та інструментів і пристосувань, що використовуються нею,	Відстань від механізмів і вантажопідіймальних машин у робочому і транспортному положеннях до струмоведучих частин, м
до 1 (на ПЛ)	0,6	1,0
до 1 (в решті електроустановок)	Не нормується (без дотику)	1,0
6..35	0,6	1,0
110	1,0	1,5

При виконанні робіт на висоті 1,3 м і більше від землі потрібно застосовувати запобіжний пояс.

Електромонтер повинен пам'ятати, що після зникання напруги вона може бути подана знову без попередження.

В електроустановках 6-35 кВ забороняється наближатись до місця замикання на землю на відстань менше 4м в ЗРУ та менше 8 м у ВРУ та на ПЛ. Наближення до місця замикання на землю в цих електроустановках допускається тільки для знімання напруги та звільнення людей, які потрапили під напругу. У

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

цьому разі потрібно користуватись електрозахисними засобами.

Виключати та включати роз'єднувачі, відокремлювачі і вимикачі понад 1000 В з ручним приводом необхідно в діелектричних рукавичках.

Знімати та встановлювати запобіжники необхідно при знятій напрузі. Під напругою, але без навантаження, допускається знімати та встановлювати запобіжники на приєднаннях, в схемі яких відсутні комутаційні апарати, що дозволяють зняти напругу. Під напругою та під навантаженням допускається замінювати запобіжники у вторинних колах, мережах освітлення та запобіжники трансформаторів напруги.

При зніманні та встановленні запобіжників під напругою необхідно користуватись: в електроустановках понад 1000 В – ізолювальними кліщами (штангою) із застосуванням діелектричних рукавичок та захисних окулярів (масок); в електроустановках до 1000 В – ізолювальними кліщами чи діелектричними рукавичками. Роботу слід виконувати із застосуванням захисних окулярів (масок).

При проведенні перемикачів необхідно бути уважним і не відволікатись. Необхідно контролювати кожну операцію по бланку перемикачів, нерегламентовані перерви в процесі перемикачів не допускаються.

Перед проведенням перемикачів роз'єднувачами чи відокремлювачами необхідно уважно оглянути цілісність ізоляторів. При виявленні сколів, тріщин операції проводити забороняється.

Забороняється в процесі виконання перемикачів проводити примусове деблокування улаштувань блокування.

Під час підготовки робочого місця необхідно перевіряти на місці можливість безпечного виконання робіт, додержання допустимих відстаней до струмоведучих частин.

Готувати робоче місце необхідно із застосуванням всіх застережних заходів. Для підвішування каната огорожі робочого місця дозволяється користуватись конструкціями, які не включені в зону робочого місця.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевіряти відсутність напруги необхідно показчиком напруги, справність якого перед застосуванням встановлюється шляхом наближення показчика в робочому положенні до струмоведучих частин, які знаходяться під напругою.

Користуватись показчиком напруги в електроустановках понад 1000 В необхідно в діелектричних рукавичках.

Заземлення встановлюються на струмоведучі частини після перевірки відсутності напруги.

Встановлення та знімання переносних заземлень в електроустановках понад 1000 В слід здійснювати ізолювальною штангою із застосуванням діелектричних рукавичок, а в електроустановках до 1000 В достатньо застосування діелектричних рукавичок.

Закріплювати затискачі приєднаних переносних заземлень необхідно цією самою штангою або безпосередньо руками в діелектричних рукавичках.

Вимірювання опору ізоляції мегомметром здійснюється тільки на вимкнених струмоведучих частинах, з яких знято залишковий заряд шляхом попереднього їх заземлення. Заземлення зі струмоведучих частин слід знімати тільки після приєднання мегомметра.

При вимірюванні мегомметром опору ізоляції струмоведучих частин з'єднувальні проводи слід приєднувати до них з допомогою ізолювальних тримачів (штанг). В електроустановках понад 1000 В, крім того, необхідно користуватись діелектричними рукавичками.

При відбиранні газу з газового реле силового трансформатора підніматись на кришку трансформатора, який знаходиться під напругою, забороняється.

При заміні ламп приладів освітлення необхідно користуватись тільки штатними драбинками.

Забороняється доторкатися без застосування електрозахисних засобів до ізоляторів обладнання, яке знаходиться під напругою.

При наближенні грози всі роботи на ПЛ, ВРП, і ЗРП необхідно припинити.

Для перевірки відсутності напруги в електроустановках до 1000 В

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

застосування контрольних ламп забороняється.

Під час виконання робіт переставляти огорожу, знімати плакати забороняється.

Забороняється в електроустановках підстанцій 6–110 кВ при роботі біля неогороджених струмоведучих частин розміщуватись так, щоб ці частини знаходились позаду або з обох боків.

Перед закінченням чергування необхідно обійти робочі місця, територію підстанції, перевірити режим роботи устаткування, справність засобів автоматики і сигналізацію, перевірити цілісність пожежного інвентарю, комплектність засобів захисту, пристосувань і інструменту.

#### **4.4 Вимоги безпеки після закінчення робіт**

Електромонтеру, який приймає зміну, необхідно надати повну інформацію про всі неполадки і дефекти в роботі устаткування. Отримати від вищестоячого оперативного працівника дозвіл на передачу зміни і зробити записи в оперативному журналі.

Після закінчення зміни необхідно переодягнутись. Спецодяг повинен зберігатися в спеціальній шафі.

#### **4.5.Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

Всі зміни, які виникли в роботі обладнання підстанції, які можуть створити загрозу його пошкодження чи створюють загрозу для обслуговуючого персоналу, є аварійними ситуаціями.

При виникненні аварійної ситуації електромонтер зобов'язаний повідомити про це вищестоящому оперативному працівнику і прийняти заходи до локалізації аварійної ситуації.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При нещасних випадках необхідно: для звільнення потерпілого від дії електричного струму напруга повинна бути знята негайно без попереднього дозволу; винести потерпілого в безпечне місце та надати першу (долікарняну) допомогу, визвати швидку допомогу і звістити керівництво та диспетчера; зберегти на робочому місці ті обставини, під час яких виник нещасний випадок, якщо це не загрожує життю людей.

#### **4.6. Вимоги до робітників, що мають III групу з електробезпеки**

Для отримання групи III з електробезпеки робітники повинні:

- мати чітке уявлення про небезпеку, що пов'язана з роботою в електроустановках;
- знати і застосовувати на практиці правила ПБЕЕ та інші правила та інші правила безпеки в об'ємі, що стосуються виконуваних робіт;
- знати принцип улаштування і роботу електроустановок;
- вміти практично надавати першу медичну допомогу потерпілим при нещасних випадках;
- необхідно знати компоновку електрообладнання і вміти організувати безпечні умови праці.

Електромонтер з групою III по електробезпеці в електроустановках до 1000 В може бути призначений допускаючим. Допускаючий відповідає за:

- правильність та повноту прийнятих мір безпеки відповідно до їх характеру та місць роботи, що вказані в наряді;
- правильність допуску до роботи;
- за повноту і якість проведення їм інструктажу.

Електромонтер з групою III може бути призначений керівником робіт в установках до 1000 В. Керівник робіт відповідає за:

- виконання заходів безпеки, які передбачені нарядом чи розпорядженням та їх повноту;

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- чіткість і повноту інструктажу членів бригади;
- наявність, справність і правильність використання необхідних заходів захисту, інструменту, інвентарю;
- збереження на робочому місці заземлень, огорож, знаків і плакатів безпеки;
- організацію та безпеку проведення і виконання вимог правил ПБЕЕ.

В електроустановках до 1000 В, які розміщені в приміщеннях без підвищеної небезпеки у відношення ураження людей електричним струмом, робітник з групою III, який має право бути керівником робіт, може працювати самостійно.

У випадку, коли керівник робіт суміщає обов'язки допускаючого, підготовку робочого місця він може виконувати з одним із членів бригади з групою III.

Електромонтер може бути призначеним наглядаючим для надзору за бригадами робітників, які не мають право самостійно працювати в електроустановках. Наглядаючий відповідає за:

- безпеку членів бригади від ураження електричним струмом в електроустановках;
- відповідність готовності робочого місця згідно наряду;
- наявність і збереження встановлених на робочому місці огорож, плакатів і знаків безпеки.

Електромонтер з групою III може бути членом бригади і працювати під напругою в установках крім робіт на ПЛ (виконувати роботи під потенціалом). До складу бригади на кожного члена з групою III дозволяється включати робітника з групою I, за якого він несе відповідальність, але загальна кількість працівників з групою I не повинна перевищувати трьох чоловік.

Члени бригади з групою III можуть вільно виходити з РП і повертатися на робоче місце, члени бригади I,II повинні залишати робоче місце тільки у супроводі члена бригади з групою III.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електромонтер з групою III може виконувати всі роботи за розпорядженням в усіх електроустановках крім роботи з вимірювальними кліщами в установках вище 1000 В та вимірювати напругу на валу і опір ізоляції ротора працюючого генератора.

Одному робітнику з групою III дозволяється в електроустановках електростанцій та підстанцій (без оформлення розпорядження) в порядку текучої експлуатації виконувати такі роботи:

- благоустрій територій ВРП, косіння трави, розчистка від снігу доріг і проходів;
- ремонт і обслуговування пристроїв провідного радіо і телефонного зв'язку, який розміщено поза камерами РП на висоті не більше 2,5 м;
- відновлювати надписи на кожухах обладнання та огорожах поза камерами РП;
- наглядати за сушінням трансформаторів, генераторів та іншого обладнання;
- обслуговування маслоочисних та іншої допоміжної апаратури при очищенні та сушінні масла;
- роботи на електричних двигунах та механічної частини вентиляторів, масляних трансформаторів, компресорів;
- перевірку повітряних очисних фільтрів і заміну сорбентів у них;
- зняття показів електричних лічильників та інших вимірювальних приладів;
- заміну ламп, ремонт та обслуговування освітлюваної апаратури на висоті до 2,5 м, які розміщені поза камерами РП;
- прибирання приміщень в установках вище 1000 В, де струмоведучі частини огорожені, а також в приміщенні щитів управління і релейного захисту;
- в електроустановках до 1000 В проводити вимірювання напруги.

Робітник з групою III може виконувати такі роботи на ПЛ:

- має право підніматися на опору та виконувати всі види робіт до її верху;
- огляд ПЛ в легкопрохідних місцях при сприятливій погоді;
- відновлення постійних позначень на опорах;

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- замір габаритів кутомірними приладами;
- фарбування бандажів на опорах;
- інструментальні заміри дефектних опор;
- при виконанні робіт на відключених ланцюгах багатоколової ПЛІ з горизонтальним розміщенням кіл на опорах, необхідно вивішувати червоні прапорці з боку кіл, які залишилися під напругою. Прапорці вивішуються на висоті від 2 до 3 метрів від рівня землі керівником робіт з членом бригади групою Ш.

До робіт на струмоведучих частинах електроустановок під наведеною напругою необхідно допускати робітників, які пройшли навчання методам безпечного проведення таких робіт з перевіркою знань, записаних в посвідченні про надання права проведення таких робіт. Члени бригади робіт під наведеною напругою повинні мати групу 3 електробезпеки [16].

#### **4.7. Первинні засоби гасіння пожежі в електроустановках**

Однією з важливих вимог при проектуванні електроустановок є вживання відповідних заходів по захисту устаткування, кабелів і приміщень від пожежі і вибуху. У комплекс протипожежних заходів входять: протипожежний водопровід, стаціонарні установки для пожежогасіння, ручні засоби.

Всі підприємства промисловості та сільського господарства та розподільчі пристрої повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння, до яких належать пожежні гідранти (водні та повітряно-пінні), внутрішні пожежні водопроводи (крани), вогнегасники (хімічно-пінні, газові, порошкові), бочки з водою, лопати, відра, сухий пісок та інші).

Для гасіння пожеж застосовують воду, водяні емульсії, галогенові вуглеводні, хімічну та повітряно-механічну піну, водяну пару, діоксид вуглецю, інертні гази, порошки, тощо. Вогнегасний ефект води полягає в змочуванні поверхонь, зволоженні та охолодженні речовин, що горять, механічному збиванні полум'я

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струменем води. Водою не можна гасити рідкі горючі речовини, електроустановки, що перебувають під напругою, лужні метали.

Вогнегасники є найбільш мобільним та ефективним засобом пожежегасіння і призначені для тушіння пожеж на початковій стадії їх виявлення. Вирішення задач про раціональне розміщення вогнегасників і їх кількості тісно пов'язані з визначенням величини швидкості розповсюдження пожежі та імовірної швидкості її гасіння. Під швидкістю розповсюдження пожежі треба розуміти – приріст площини, яка загоряється в одиницю часу. Для тушіння пожежі необхідно, щоб швидкість тушіння була вища за швидкість розповсюдження пожежі.

Пожежу найлегше ліквідувати в початковій стадії, починаючи тушити від периферії до центру. Успішна ліквідація займань можлива тільки в результаті чітких та швидких дій. Для цього треба знати будову, принцип дії вогнегасників та вміти ними користуватися. Часто застосовують застосовуються такі вогнегасники[13]: хімічно-пінні ОХП-10, ОПМ, ОХВП-10; порошкові ОП-1Б, ОП-2Б, ОП-8Б, ОП-10, тощо; вуглекислотні ОУ-2, ОУ-5, ОУ-7; вуглекислотні - брометиллові ОУБ-2-3.

					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

У даній роботі проведений розрахунок параметрів електричної мережі для різних режимів роботи. Для заданих параметрів: геометричне розташування джерела, ліній, трансформаторів, споживачів електроенергії розраховані параметри елементів схеми заміщення (активний і реактивний опори ліній і трансформаторів, зарядна потужність ліній, втрати потужності на х.х.трансформаторів ). Використовуючи отримані параметри схеми заміщення були знайдені активні та реактивні й повні потужності ділянок мережі, розраховані втрати потужності, втрати напруги і напруги на ділянках мережі. Знайдені втрати не перевищують гранично допустимі.

Далі для одного з трансформаторів мережі проводиться розрахунок електричної частини. По заданому добового графіку споживань було знайдено сумарну максимальну потужність споживачів підстанції. На підставі графіка навантажень по каталогу обрані найбільш підходящі силові трансформатори. Вибрану принципову схему первинних з'єднань підстанції. Зроблено підбір трансформатора власних потреб на підставі потужності обладнання необхідного для роботи підстанції, і підібрана схема власних потреб підстанції на якій вказані розташування і зв'язку робочих елементів ПС. Також підібрані по довідковій літературі основні прилади ПС і вимірювальні трансформатори.

Для лінії відходить від трансформатора до споживачів зроблено розрахунок електромагнітних перехідних процесів. Знайдена схема заміщення мережі, зроблений розрахунок параметрів схеми заміщення. Зроблені спрощення схеми заміщення з метою приведення її до стандартного вигляду. Розраховані струми короткого замикання .

Для трансформатора зі схеми мережі зроблений вибір захисту. Розглянуто можливі Анормальні режими роботи трансформатора і вказані види захисту для кожного з них. Так обрані: МТЗ лінії, яка відходить від шин НН трансформатора , МТЗ трансформатора від зовнішніх КЗ, захист від перевантажень, захист від пошкоджень всередині трансформатора.

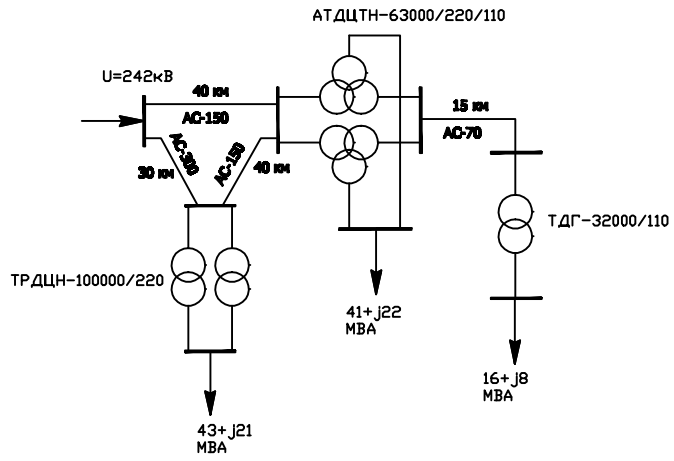
					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



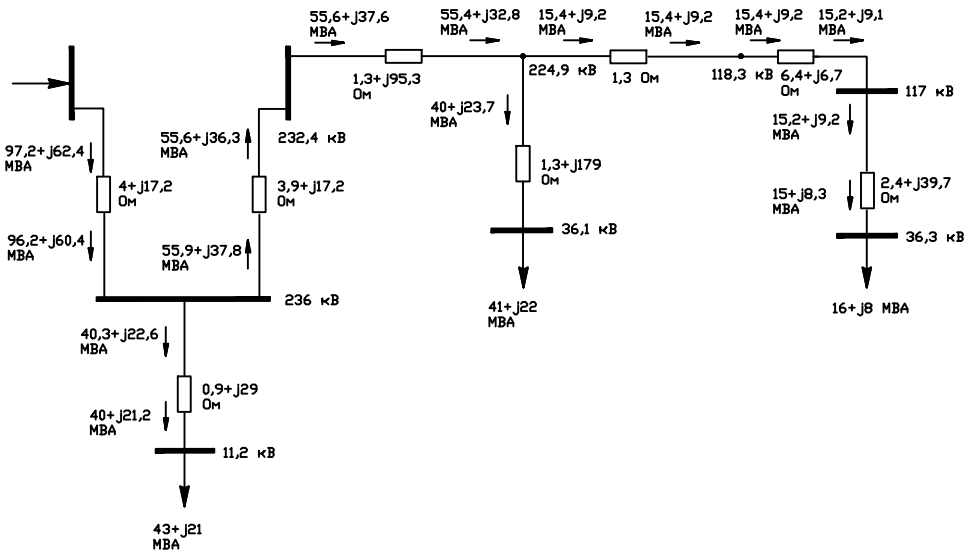
Ресурси інтернету:

- 13 [http: www. ae-sisnems. com. ua](http://www.ae-sisnems.com.ua)
- 14 [http: www. aevante. com. ua](http://www.aevante.com.ua)
- 15 [http: www. myenergy. com. ua](http://www.myenergy.com.ua)
- 16 [http: www. sofit. com. ua](http://www.sofit.com.ua)
- 17 [http: www. refine. org. ua](http://www.refine.org.ua)
- 18 [http: www. ukniga. org. ua](http://www.ukniga.org.ua)
- 19 [http: www. wind. ae. net. ua](http://www.wind.ae.net.ua)
- 20 [http: www. windelectric. com. ua](http://www.windelectric.com.ua)

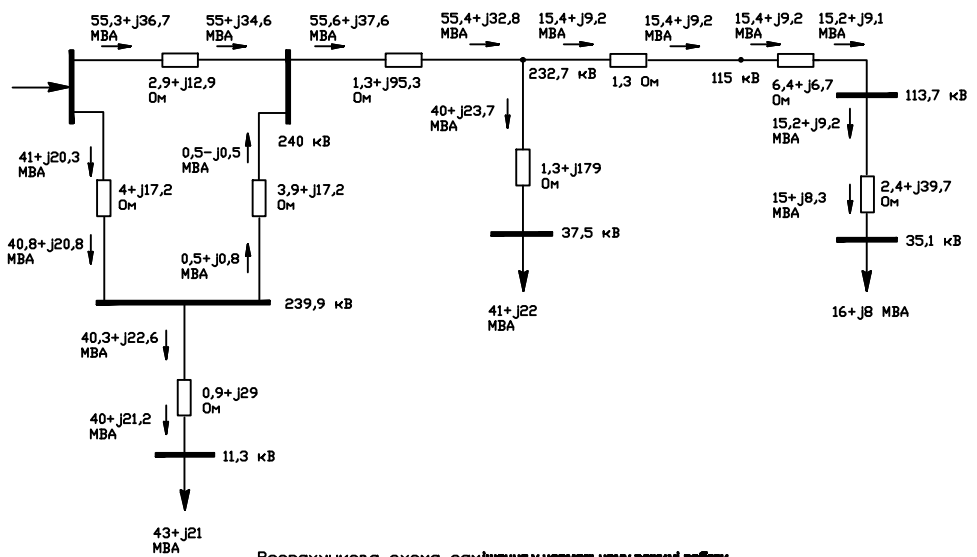
					БР.5.141.361.ПЗ.ЕТ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63



Початкова схема заданої мережі.



Розрахункова схема заміщення мережі в аварійному режимі роботи.



Розрахункова схема заміщення у нормальному режимі роботи.

Розрахункові дані потужностей в лініях та навантаження в них.

Нормальний режим роботи мережі							
S <sub>н</sub> , MVA	S <sub>в</sub> , MVA	S <sub>с</sub> , MVA	S <sub>д</sub> , MVA	S <sub>е</sub> , MVA	S <sub>з</sub> , MVA	S <sub>ж</sub> , MVA	S <sub>и</sub> , MVA
55,3+J36,7	55,6+J37,6	15,4+J9,2	15,4+J9,2	15,2+J9,2	41+J20,3	0,5-J0,5	40,3+J22,6
U <sub>н</sub> , кВ	U <sub>в</sub> , кВ	U <sub>с</sub> , кВ	U <sub>д</sub> , кВ	U <sub>е</sub> , кВ	U <sub>з</sub> , кВ	U <sub>ж</sub> , кВ	U <sub>и</sub> , кВ
240	232,7	115	113,7	35,1	239,9	11,3	37,5
Аварійний режим роботи мережі							
S <sub>н</sub> , MVA	S <sub>в</sub> , MVA	S <sub>с</sub> , MVA	S <sub>д</sub> , MVA	S <sub>е</sub> , MVA	S <sub>з</sub> , MVA	S <sub>ж</sub> , MVA	S <sub>и</sub> , MVA
55,6+J37,6	15,4+J9,2	15,4+J9,2	15,2+J9,2	97,2+J62,4	55,9+J37,8	40,3+J22,6	40+J23,7
U <sub>н</sub> , кВ	U <sub>в</sub> , кВ	U <sub>с</sub> , кВ	U <sub>д</sub> , кВ	U <sub>е</sub> , кВ	U <sub>з</sub> , кВ	U <sub>ж</sub> , кВ	U <sub>и</sub> , кВ
232,4	224,9	118,3	117	36,3	236	11,2	36,1

BP.5.141.361.ГЧ.ЕТ

№	Акт	№ документа	Підпис	Дата
Розроб	Викон	Ді		
Провер	Стор	ГД		
Тверд				
Підп				
Ут	Аварійний			

Исходная и расчетные схемы замещения электрической сети в нормальном и аварийном режимах работы

Лист 1 Листов 2

г.р.ЗТдн-84п



