

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

Робота допущена до захисту
Зав. кафедрою електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський
« ___ » _____ 20 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

тема: «Проект високовольтної електричної мережі
з вибором обладнання підстанцій»

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТз-51с

Д. Г. Мар'їн

Керівник

к.т.н., доцент

В.В. Волохін

Сумський державний університет
Факультет Центр заочної, дистанційної та вечірньої форми навчання
Кафедра електроенергетики
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський

«__» _____ 20 р.

Завдання
на кваліфікаційну роботу бакалавра
Мар`їна Дениса Геннадійовича

1 Тема роботи «Проект високовольтної електричної мережі з вибором обладнання підстанцій»

затверджено наказом по університету №_____ від_____

2 Термін здачі студентом завершеної роботи _____ 2020 р.

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

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

- розрахунок електричної мережі;
- розрахунок електричної частини підстанції;
- розрахунок релейного захисту;
- індивідуальне завдання.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним позначенням обов'язкових креслень)

- схема мережі;
- електрична схема підстанції.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Найменування етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Розрахунок електричної мережі	27.04.- 02.05.2020	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	03.05.- 10.05.2020	
3	Розрахунок релейного захисту	11.05.- 20.05.2020	
4	Індивідуальне завдання	21.05.- 25.05.2020	
5	Оформлення роботи	26.05.- 02.06.2020	

Студент - дипломник

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

РЕФЕРАТ

с. 64, рис. 13, табл. 15, кресл. 2

Бібліографічний опис: Мар'їн Д.Г. Проект високовольної електричної мережі з вибором обладнання підстанцій [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Д.Г. Мар'їн; наук. керівник В.В. Волохін. - Суми: СумДУ, 2020. - 64 с.

Ключові слова: електрична мережа, лінія електропередавання, підстанція, трансформатор, вимикач, роз'єднувач, релейний захист;

электрическая сеть, линия электропередачи, подстанция, трансформатор, выключатель, разъединитель, релейная защита;

electrical network, power line, substation, transformer, switch, disconnector, relay protection.

Короткий огляд – Проведено розрахунок електричної мережі: розрахунок параметрів схеми заміщення ліній й трансформаторів, визначення розрахункових навантажень вузлів мережі, розрахунок режиму розімкненої мережі й нормального режиму замкнутої мережі. Вибрано вимикачі в розподільних пристроях; трансформатори струму й напруги; ошиновку РП. Розраховано електромагнітні перехідні процеси та релейний захист елементів мережі.

Також в роботі розглянуті основні вимоги до застосування, монтажу та експлуатації нелінійних обмежувачів перенапруги.

ЗМІСТ

Вступ	3
1 Розрахунок електричної мережі.....	4
1.1 Вибір напруг ліній, вибір типу проводів повітряних ліній	4
1.2 Вибір трансформаторів.....	8
1.3 Розрахунок режимів роботи мережі	11
2 Розрахунок електричної частини підстанції	24
2.1 Вибір потужності силових трансформаторів.....	24
2.2 Вибір схеми електричних з'єднань підстанцій.....	26
2.3 Розрахунок струмів короткого замикання.....	28
2.4 Вибір високовольтних апаратів РП електричних мереж.....	29
2.5 Вибір електровимірювальних трансформаторів струму й напруги.....	33
2.6. Вибір ошиновки РП.....	37
3 Розрахунок електромагнітних перехідних процесів	40
4 Розрахунок релейного захисту.....	46
4.1 Розрахунок струмів КЗ.....	46
4.2 Розрахунок МСЗ лінії, що відходить.....	47
4.3 Захист трансформатора від КЗ.....	49
4.4 Визначення числа витків обмотки реле ДЗТ-11.....	51
4.5 Захист від ушкоджень усередині трансформатора.....	53
5. Основні вимоги до застосування, монтажу та експлуатації нелінійних обмежувачів перенапруги.....	55
Висновки	63
Список літератури	64

					БР 6.141.798 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата				
Разраб.	Мар'їн				Проект високовольтної електричної мережі з вибором обладнання підстанцій	Лит.	Лист	Листов
Провер.	Волохін						2	64
Реценз.						СумДУ гр. ЕТз-51с		
Н. Контр.								
Утверд.	Лебединський							

ВСТУП

Технічна політика у сфері побудови та експлуатації електричних мереж – це сукупність цілей, способів досягнення мети і дій, які спрямовано на отримання нових технічних рішень, що забезпечують підвищення ефективності, надійності, технічного рівня та безпеки процесів передавання електричної енергії, створення і впровадження більш досконалих технологій та технічних засобів. Головними стратегічними цілями технічної політики уряду України є підвищення технічного рівня електричних мереж, надійності та екологічної безпеки об'єктів електроенергетики.

У процесі виконання роботи необхідно вирішити наступні завдання:

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

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

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

- визначити сумарну потужність споживчої підстанції. Вибрати число й потужність силових трансформаторів на підстанції із вказівкою їхніх параметрів.

- за номінальними параметрами (з урахуванням дії струмів КЗ) зробити вибір вимикачів у розподільних пристроях (РП) всіх напруг підстанції. Дати короткий опис обраних вимикачів;

- виконати розрахунок електромагнітних перехідних процесів та релейного захисту трансформатора.

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Згідно з завданням до кваліфікаційної роботи необхідно провести розрахунок електричної мережі. В якості вихідних параметрів для виконання розрахунку задано схему електричної мережі і її складові елементи (рис. 1.1) із зазначенням довжини ліній, потужності та категорії навантажень (табл. 1.1.).

Таблиця 1.1 – Вихідні дані електричної мережі

Довжина ВЛ, км				Потужності навантаження, МВА			
Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	S-1	S-2	S-3	S-4
50	40	30	30	$\frac{25+j10}{III}$	$\frac{15+j10}{II}$	$\frac{20+j10}{II}$	$\frac{10+j5}{III}$

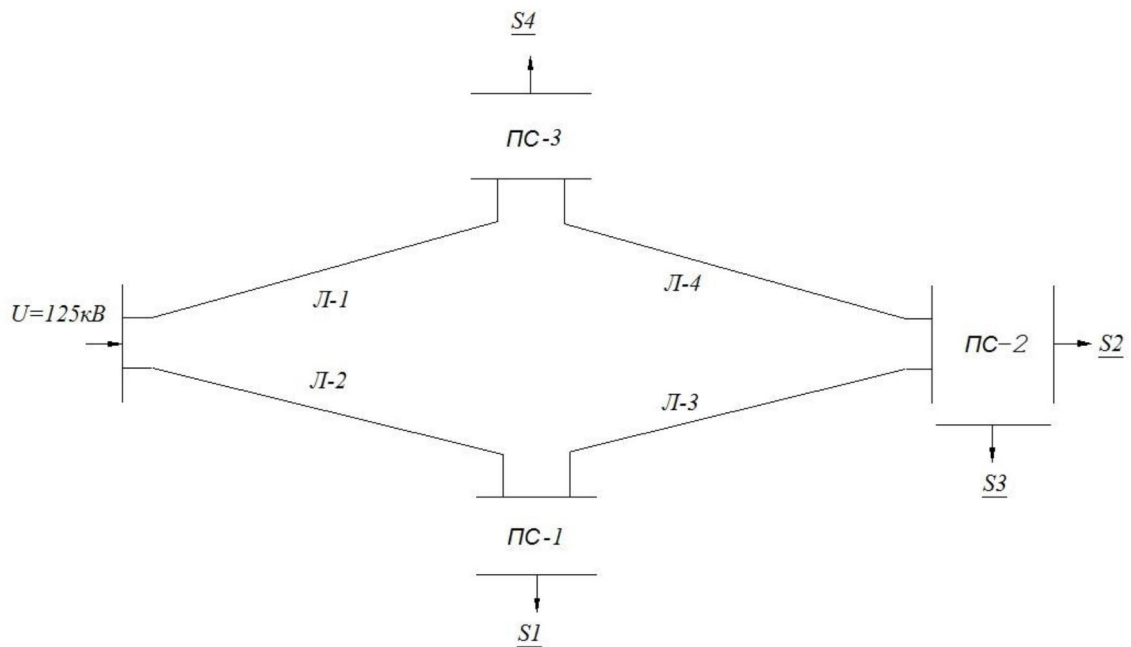


Рисунок 1.1 – Електрична схема мережі

1.1 Вибір напруг ліній, вибір типу проводів повітряних ліній

Знайдемо перетоки потужностей в мережі без урахування втрат в лініях та трансформаторах (рис.1.2).

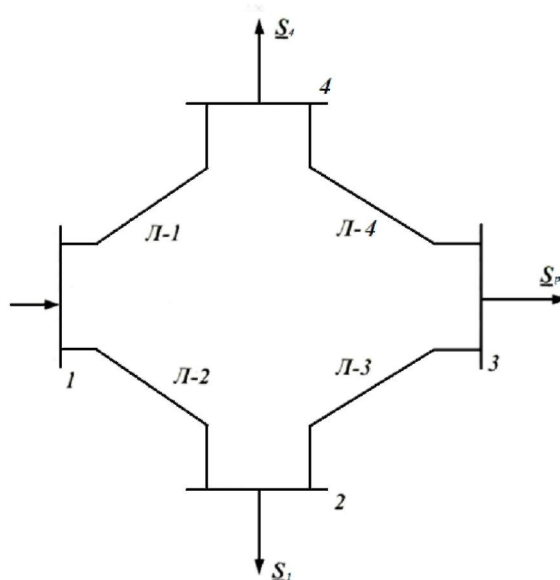


Рисунок 1.2 – Схема спрощеної замкненої мережі

Розіркнемо замкнену мережу, наведену на рисунку 1.2, в точці живлення (рисунку 1.3) і позначимо потужності на ділянках мережі.

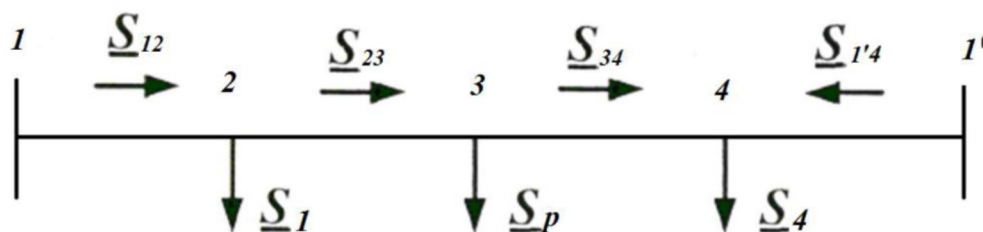


Рисунок 1.3 – Схема розіркненої мережі

$$\underline{S}_p = \underline{S}_2 + \underline{S}_3 = 35 + j20 \text{ МВА};$$

Визначаємо потужності на ділянках розіркненої мережі.

$$\underline{S}_{12} = \frac{\underline{S}_1(l_{21}) + \underline{S}_p(l_{31}) + \underline{S}_4(l_{41})}{l_{11}} = 40,35 + j19,65 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_{12} - \underline{S}_1 = 15,35 + j9,65 \text{ МВА};$$

$$\underline{S}_{34} = \underline{S}_{23} - \underline{S}_p = -19,65 - j10,35 \text{ МВА};$$

$$\underline{S}_{1'4} = \frac{\underline{S}_4(l_{41}) + \underline{S}_p(l_{31}) + \underline{S}_1(l_{21})}{l_{11}} = 29,65 + j15,35 \text{ МВА}$$

Складемо рівняння балансу потужності

$$\underline{S}_1 + \underline{S}_p + \underline{S}_4 = \underline{S}_{12} + \underline{S}_{1'4}$$

$$70 + j35 = 70 + j35 \text{ МВА.}$$

Баланс потужності виконується. Потужність ділянки 3-4 вийшла від'ємною, тому точка 3 є точкою поточкорозділу.

Визначимо напруги на ділянках мережі (рис. 1.1) за формулою Ілларіонова та занесемо до табл. 1.2.

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

Таблиця 1.2 – Напруги на ділянках мережі

Номер ділянки	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4
Довжина ділянки, км	50	40	30	30
Напруга ділянки, кВ	78	90	69,7	70

Аналізуючи напруги ділянок замкненої мережі, обираємо загальну напругу, рівною 110 кВ.

Для вибору проводів ПЛ за довідником, необхідно знати струми, які проходять даними лініями. Визначаємо струми проводів ліній за формулою:

$$I_{Л} = S_{Л} / \sqrt{3} U_{Л}$$

Таблиця 1.3– Струми на ділянках мережі

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4
Струм, кА	0,033	0,367	0,207	0,295

У відповідності з ПУЕ, приймаємо для ліній проводи марки:

Л-1 АС-185/29;

Л-2 АС-185/29;

Л-3 АС-150/24;

Л-4 АС-150/24.

Розрахуємо параметри ліній.

Параметри лінії Л-1 (АС-185/29)

Питомі активний (R_0) та реактивний (X_0) опори, а також ємнісну провідність лінії (b_0) знаходимо за каталожним даними [2]:

$$R_0=0,162 \text{ Ом/км,}$$

$$X_0=0,413 \text{ Ом/км,}$$

$$b_0=2,75 \cdot 10^{-6} \text{ См/км.}$$

$$\text{Довжина лінії } l_1=50 \text{ км,}$$

Тоді:

Активний опір лінії знаходиться по формулі:

$$R_{Л1}=R_0 \cdot l_1=0,162 \cdot 50=8,1 \text{ Ом.}$$

Реактивний опір лінії знаходиться по формулі:

$$X_{Л1}=X_0 \cdot l_1=0,413 \cdot 50=20,7 \text{ Ом.}$$

Зарядна потужність знаходиться по формулі:

$$Q_{Л1}=U^2 \cdot b_0 \cdot l_{1/2}=110^2 \cdot 2,75 \cdot 10^{-6} \cdot 50/2=0,8 \text{ МВАр.}$$

Аналогічно проводимо розрахунок активного й реактивного опорів, а також зарядної потужності для інших ліній.

Параметри лінії Л-2 (АС-185/29):

$$R_0=0,162 \text{ Ом/км,} \quad X_0=0,413 \text{ Ом/км,} \quad b_0=2,75 \cdot 10^{-6} \text{ См/км.}$$

$$R_{Л2}=R_0 \cdot l_2=0,162 \cdot 40=6,5 \text{ Ом.}$$

$$X_{Л2}=X_0 \cdot l_2=0,413 \cdot 40=16,5 \text{ Ом.}$$

$$Q_{Л2}=U^2 \cdot b_0 \cdot l_{2/2}=110^2 \cdot 2,75 \cdot 10^{-6} \cdot 40/2=0,7 \text{ МВАр.}$$

Параметри лінії Л-3 (АС-150/24):

$$R_0=0,198 \text{ Ом/км,} \quad X_0=0,42 \text{ Ом/км,} \quad b_0=2,7 \cdot 10^{-6} \text{ См/км.}$$

$$R_{Л3}=R_0 \cdot l_3=0,198 \cdot 30=5,9 \text{ Ом.}$$

$$X_{Л3}=X_0 \cdot l_3=0,42 \cdot 30=12,6 \text{ Ом.}$$

$$Q_{Л3}=U^2 \cdot b_0 \cdot l_{3/2}=110^2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 30/2=0,5 \text{ МВАр.}$$

Параметри лінії Л-4 (АС-150/24):

$$R_0=0,198 \text{ Ом/км,} \quad X_0=0,42 \text{ Ом/км,} \quad b_0=2,7 \cdot 10^{-6} \text{ См/км.}$$

$$R_{Л4}=R_0 \cdot l_4=0,198 \cdot 30=5,9 \text{ Ом.}$$

$$X_{Л4}=X_0 \cdot l_4=0,42 \cdot 30=12,6 \text{ Ом.}$$

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

$$Q_{Л4} = U^2 \cdot b_0 \cdot I_{4/2} = 110^2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 30/2 = 0,5 \text{ МВАр.}$$

1.2 Вибір трансформаторів

За напругою мережі і навантаженням обираємо трансформатори:

Для ПС-1:

Потужність навантаження – $S_1 = \sqrt{25^2 + 10^2} = 26,9 \text{ МВА}$, при цьому напруга високої сторони становить 110 кВ, тож для ПС-1 обираємо один трансформатор

T1: Тип –ТДН-40000/110

$S_{НОМ} = 40 \text{ МВА}$.

$U_{НОМ}$, по обмотках:

ВН-121 кВ, НН-38,5 кВ.

$U_K = 10,5\%$.

$\Delta P_K = 170 \text{ кВт} = 0,17 \text{ МВт}$.

$\Delta P_X = 34 \text{ кВт} = 0,034 \text{ МВт}$.

$I_X = 0,55\%$.

Розраховуємо параметри трансформатора T-1:

Активний опір обумовлений втратами активної потужності у всіх обмотках трансформатора й знаходиться з досліду К.З. по формулі:

$$R'_{Т1} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} = \frac{170 \cdot 110^2 \cdot 10^3}{40000^2} = 1,2 \text{ Ом.}$$

Зі знайдених напруг К.З. у кожній обмотці можна знайти реактивний опір трансформатора:

$$X'_{Т1} = \frac{U_K \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} = \frac{10,5 \cdot 110^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 40000} = 32 \text{ Ом.}$$

Розраховуємо також втрати реактивної потужності з досліду Х.Х. по формулі:

$$\Delta Q'_{ХТ1} = \frac{I_X \cdot S_{НОМ}}{100} = \frac{0,55 \cdot 40000}{100} = 0,22 \text{ МВАр.}$$

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Аналогічно розраховуємо параметри інших трансформаторів:

Для ПС-2:

Оскільки споживачі S_2 та S_3 мають II категорію, то на ПС-2 встановлюємо 2 трансформатори, потужність якого обираємо розділивши потужність споживачів на 1,4. Таким чином обираємо 2 трансформатори ТДТН-40000/110.

$S_{НОМ}=40$ МВА.

$U_{НОМ}$, по обмотках:

ВН-115 кВ, СН-38,5 кВ, НН-11 кВ.

U_K , по обмотках:

ВС-10,5%, ВН-17,5%, СН-6,5%.

$\Delta P_K=200$ кВт = 0,2 МВт.

$\Delta P_X=39$ кВт = 0,039 МВт.

$I_X=0,6\%$.

$$R'_{\text{общ2}} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} = \frac{200 \cdot 110^2 \cdot 10^3}{40000^2} = 1,6 \text{ Ом.}$$

$$R'_{Т2В}=R'_{Т2С}=R'_{Т2Н}=0,5 * R'_{\text{общ2}}=0,5 * 1,6=0,8 \text{ Ом.}$$

Де $R'_{ТВ}$ - активний опір обмотки вищої напруги трансформатора, $R'_{ТС}$ - активний опір обмотки середньої напруги трансформатора, $R'_{ТН}$ - активний опір обмотки нижчої напруги трансформатора.

$$U_{КВ2}=0,5(U_{КВ-С}+U_{КВ-Н}-U_{КС-Н})=0,5(10,5+17,5-6,5)=21,5 \%$$

$$U_{КС2}=0,5(U_{КВ-С}-U_{КВ-Н}+U_{КС-Н})=0$$

$$U_{КН2}=0,5(-U_{КВ-С}+U_{КВ-Н}+U_{КС-Н})=0,5(-10,5+17,5+6,5)=13,5 \%$$

По напрузі К.З. у кожній обмотці можна знайти реактивний опір у кожній обмотці трансформатора:

$$X'_{Т2У} = \frac{U_{КВ} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} = \frac{21,5 \cdot 110^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 40000} = 64 \text{ Ом.}$$

$$X'_{Т2С}=0.$$

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$X'_{T2H} = \frac{U_{KB} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} = \frac{13,5 \cdot 110^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 40000} = 40 \text{ Ом.}$$

Розраховуємо також втрати реактивної потужності з досліду Х.Х. по формулі:

$$\Delta Q'_{XT2} = \frac{I_X \cdot S_{НОМ}}{100} \cdot \frac{0,6 \cdot 40000}{100} = 0,24 \text{ МВАр.}$$

Так як в мережу включені два паралельно працюючих однотипних трансформатори, то для спрощення розрахункової схеми можливі спрощення:

Опір двох паралельно працюючих трансформаторів:

$$R_{T2B} = R_{T2C} = R_{T2H} = 0,5 \cdot R'_{TB2} = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ Ом.}$$

$$X_{T2B} = 0,5 \cdot X'_{TB2} = 0,5 \cdot 64 = 32 \text{ Ом.}$$

$$X_{T2C} = 0,5 \cdot X'_{TC2} = 0.$$

$$X_{T2H} = 0,5 \cdot X'_{TH2} = 0,5 \cdot 40 = 20 \text{ Ом.}$$

Втрати потужності Х.Х. трансформатора можна записати:

$$\Delta S_{XT2} = 2\Delta P'_{XT2} + j2\Delta Q'_{XT2} = 0,08 + j0,48 \text{ МВА.}$$

Для ПС-3:

Тип: ТДН-40000/110

$S_{НОМ} = 40 \text{ МВА.}$

$U_{НОМ}$, по обмотках:

ВН-121 кВ, нн-38,5 кВ.

$U_K = 10,5\%.$

$\Delta P_K = 170 \text{ кВт} = 0,17 \text{ МВт.}$

$\Delta P_X = 34 \text{ кВт} = 0,034 \text{ МВт.}$

$I_X = 0,55\%.$

Розраховуємо параметри трансформатора Т-3:

$$R'_{T3} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} = \frac{170 \cdot 110^2 \cdot 10^3}{40000^2} = 1,2 \text{ Ом.}$$

$$X'_{T3} = \frac{U_K \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} = \frac{10,5 \cdot 110^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 40000} = 32 \text{ Ом.}$$

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta Q'_{ХТЗ} = \frac{I_x \cdot S_{НОМ}}{100} = \frac{0,55 \cdot 40000}{100} = 0,22 \text{ МВАр.}$$

Параметри схеми заміщення паралельно включених трансформаторів:

$$R_{ТЗ} = 0,5 * R'_{ТЗ} = 0,5 * 1,2 = 0,6 \text{ Ом.}$$

$$X_{ТЗ} = 0,5 * X'_{ТЗ} = 0,5 * 32 = 16 \text{ Ом.}$$

$$\Delta S_{ХТЗ} = 2\Delta P'_{ХТЗ} + j2\Delta Q'_{ХТЗ} = 0,07 + j0,44 \text{ МВА.}$$

1.3 Розрахунок режимів роботи мережі

Для полегшення розуміння схеми заміщення доцільно ввести індексацію контрольних вузлів і точок кола. Приймаємо: т.1 - шина живлення мережі, т.2 - шина живлення Т-1, т.3 - шина живлення Т-2, т.4 - шина живлення Т-3, т. 5 – шина живлення навантаження S_1 , т.6 – середня точка Т-2, т. 7 – шина живлення навантаження S_2 , т. 8 – шина живлення навантаження S_3 , т.9 - шина живлення навантаження S_4 (рис. 1.4).

1.3.1 Розрахунок нормального режиму роботи мережі

Розрахунок проводиться згідно рис 1.4.

При розрахунку потужностей ідемо за напрямком від відомих потужностей споживача до шуканої потужності на вході мережі, розрахованої відповідно до схеми заміщення.

Розраховуємо потужність на початку ділянки 2-5:

$$S_{25} = S_1 + \Delta S_{Т1} + \Delta S_{ХТ1}.$$

$$\Delta S_{Т1} = Z_{Т1} \left(\frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (0,6 + j16) \left(\frac{25^2 + 10^2}{110^2} \right) = 0,04 + j0,96 \text{ МВА.}$$

$$S_{25} = 25 + j10 + 0,04 + j0,96 + 0,08 + j0,44 = 25,12 + j11,4 \text{ МВА.}$$

Розраховуємо потужність на початку ділянки 4-9:

$$S_{49} = S_4 + \Delta S_{ТЗ} + \Delta S_{ХТЗ}$$

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

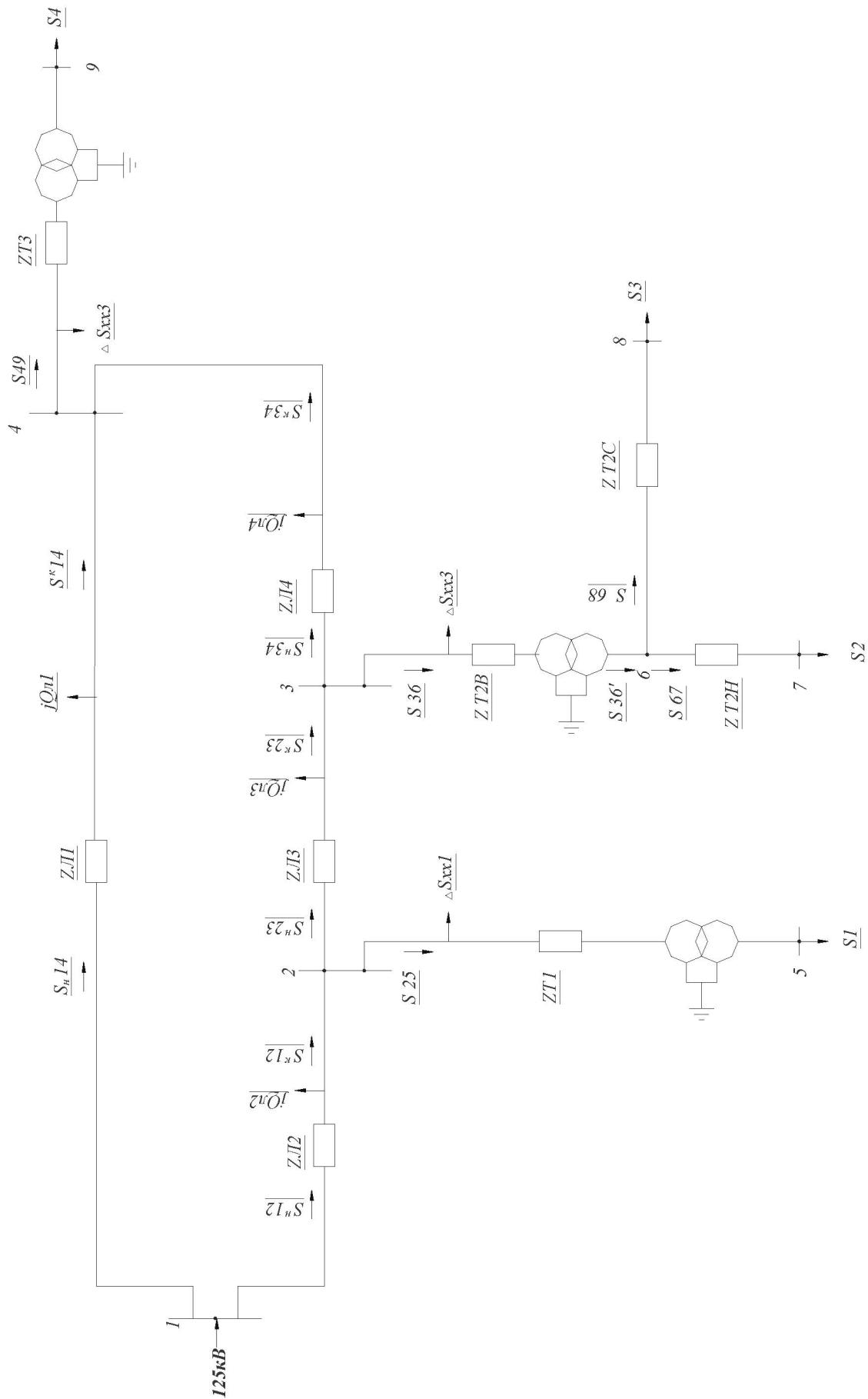


Рис 1.4 – Схема заміщення

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

БР 6.141.798 ПЗ

$$\Delta S_{Л4} = Z_{Л4} \left(\frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (5,9 + j12,6) \left(\frac{10,09^2 + 5,61^2}{110^2} \right) = 0,06 + j0,14 \text{ МВА.}$$

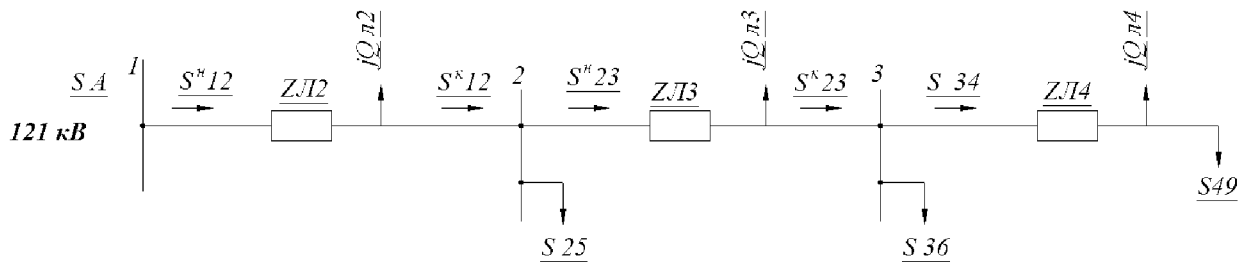


Рис 1.5 – Схема заміщення мережі в аварійному режимі

$$S_{34} = 10,09 + j5,61 + 0,06 + j0,14 - j0,5 = 10,15 + j5,25 \text{ МВА.}$$

Розраховуємо потужність S_{23}^K :

$$S_{23}^K = S_{34} + S_{36} = 10,15 + j5,25 + 35,16 + j25,38 = 45,31 + j30,63 \text{ МВА.}$$

Розраховуємо потужність S_{23}^H :

$$S_{23}^H = S_{23}^{ДО} + \Delta S_{Л3} - jQ_{Л3}$$

$$\Delta S_{Л3} = Z_{Л3} \left(\frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (5,9 + j12,6) \left(\frac{45,31^2 + 30,63^2}{110^2} \right) = 1,46 + j3,11 \text{ МВА.}$$

$$S_{23}^H = 45,31 + j30,63 + 1,46 + j3,11 - j0,5 = 46,77 + j33,24 \text{ МВА.}$$

Розраховуємо потужність S_{12}^K :

$$S_{12}^K = S_{23}^H + S_{25} = 46,77 + j33,24 + 25,12 + j11,4 = 71,89 + j44,64 \text{ МВА.}$$

Розраховуємо потужність S_{12}^H :

$$S_{12}^H = S_{12}^K + \Delta S_{Л2} - jQ_{Л2}$$

$$\Delta S_{Л2} = Z_{Л2} \left(\frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (6,5 + j16,5) \left(\frac{71,89^2 + 44,64^2}{110^2} \right) = 3,85 + j9,76 \text{ МВА.}$$

$$S_{12}^H = 71,89 + j44,64 + 3,85 + j9,76 - j0,7 = 75,73 + j53,7 \text{ МВА.}$$

Розраховуємо потужність S_A :

$$S_A = S_{12}^H = 75,73 + j53,7 \text{ МВА.}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

1.3.4 Розрахунок напруг у вузлах мережі

Знаходимо напругу у вузлах мережі, використовуючи напругу на шинах джерела живлення й знайдені на попередньому етапі потужності на початку кожної ділянки мережі як вихідні дані.

Визначаємо напругу U_2 :

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{12}^H \cdot R_{Л2} + Q_{12}^H \cdot X_{Л2}}{U_1} - j \frac{P_{12}^H \cdot X_{Л2} - Q_{12}^H \cdot R_{Л2}}{U_1} =$$
$$= 121 - \frac{75,73 \cdot 6,5 + 53,7 \cdot 16,5}{121} - j \frac{75,73 \cdot 16,5 - 53,7 \cdot 6,5}{121} = 109,61 - j7,44 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_2| = 109,86 \text{ кВ.}$$

Розрахунок напруг на інших шинах мережі виконується аналогічно.

Визначаємо напругу шини 3:

$$U_3 = U_2 - \frac{P_{23}^H \cdot R_{Л3} + Q_{23}^H \cdot X_{Л3}}{U_2} - j \frac{P_{23}^H \cdot X_{Л3} - Q_{23}^H \cdot R_{Л3}}{U_2} =$$
$$= 109,86 - \frac{46,77 \cdot 5,9 + 33,24 \cdot 12,6}{109,86} - j \frac{46,77 \cdot 12,6 - 33,24 \cdot 5,9}{109,86} =$$
$$= 103,54 - j3,58 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги: $|U_3| = 103,6 \text{ кВ.}$

Визначаємо напругу шини 4:

$$U_4 = U_3 - \frac{P_{23} \cdot R_{Л4} + Q_{23} \cdot X_{Л4}}{U_3} - j \frac{P_{23} \cdot X_{Л4} - Q_{23} \cdot R_{Л4}}{U_3} =$$
$$= 103,6 - \frac{10,15 \cdot 5,9 + 5,25 \cdot 12,6}{103,6} - j \frac{10,15 \cdot 12,6 - 5,25 \cdot 5,9}{103,6} =$$
$$= 102,38 - j0,94 \text{ кВ}$$

Модуль напруги:

$$|U_4| = 102,4 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу шини 5:

$$U_5' = U_2 - \frac{P_{25} \cdot R_{Т1} + Q_{25} \cdot X_{Т1}}{U_2} - j \frac{P_{25} \cdot X_{Т1} - Q_{25} \cdot R_{Т1}}{U_2} =$$

									Лист
									15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$=109,86 \cdot \frac{25,12 \cdot 0,6 + 11,4 \cdot 16}{109,86} - j \frac{25,12 \cdot 16 - 11,4 \cdot 0,6}{109,86} =$$

$$=108,06 - j3,6 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_5'| = 108,12 \text{ кВ.}$$

Знаходимо коефіцієнт трансформації, це відношення напруги на обмотці середньої напруги до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$n_{ВН} = \frac{U_{CH_НОМ}}{U_{НН_НОМ}} = \frac{110}{35} = 3,14.$$

Використовуючи коефіцієнт трансформації, приводимо отриману напругу до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$U_5 = U_5' / n_{ВН} = 108,12 / 3,14 = 34,43 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу шини 7:

$$U_7' = U_3 \cdot \frac{P_{36} \cdot (R_{T2B} + R_{T2H}) + Q_{36} \cdot (X_{T2B} + X_{T2H})}{U_3} - j \frac{P_{36} \cdot (X_{T2B} + X_{T2H}) - Q_{36} \cdot (R_{T2B} + R_{T2H})}{U_3} =$$

$$=103,6 \cdot \frac{35,16 \cdot 0,8 + 25,78 \cdot 52}{103,6} - j \frac{35,13 \cdot 52 - 25,78 \cdot 0,8}{103,6} =$$

$$=97,39 - j17,45 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_7'| = 99,06 \text{ кВ.}$$

Знаходимо коефіцієнт трансформації, це відношення напруги на обмотці середньої напруги до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$n_{ВН} = \frac{U_{CH_НОМ}}{U_{НН_НОМ}} = \frac{110}{10} = 11.$$

Використовуючи коефіцієнт трансформації приводимо отриману напругу до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$U_7 = U_7' / n_{ВН} = 99,06 / 11 = 9,01 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу шини 8:

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

$$U_8' = U_3 \cdot \frac{P_{36} \cdot (R_{T2B} + R_{T2C}) + Q_{36} \cdot (X_{T2B} + X_{T2C})}{U_3} - j \frac{P_{36} \cdot (X_{T2B} + X_{T2C}) - Q_{36} \cdot (R_{T2B} + R_{T2C})}{U_3} =$$

$$= 103,6 \cdot \frac{35,16 \cdot 0,8 + 25,78 \cdot 32}{103,6} - j \frac{35,13 \cdot 32 - 25,78 \cdot 0,8}{103,6} =$$

$$= 97,39 - j10,66 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_8'| = 98,96 \text{ кВ.}$$

Знаходимо коефіцієнт трансформації, це відношення напруги на обмотці середньої напруги до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$n_{ВН} = \frac{U_{СН_НОМ}}{U_{НН_НОМ}} = \frac{110}{35} = 3,14.$$

Використовуючи коефіцієнт трансформації приводимо отриману напругу до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$U_8 = U_8' / n_{ВН} = 98,96 / 3,14 = 31,6 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу шини 9:

$$U_9' = U_4 \cdot \frac{P_{49} \cdot R_{T3} + Q_{49} \cdot X_{T3}}{U_4} - j \frac{P_{49} \cdot X_{T3} - Q_{49} \cdot R_{T3}}{U_4} =$$

$$= 102,4 \cdot \frac{10,09 \cdot 0,6 + 5,61 \cdot 16}{102,4} - j \frac{10,09 \cdot 16 - 5,61 \cdot 0,6}{102,4} = 101,46 - j1,54 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_9'| = 101,5 \text{ кВ.}$$

Знаходимо коефіцієнт трансформації, це відношення напруги на обмотці середньої напруги до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$n_{ВН} = \frac{U_{СН_НОМ}}{U_{НН_НОМ}} = \frac{110}{35} = 3,14.$$

Використовуючи коефіцієнт трансформації приводимо отриману напругу до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$U_9 = U_9' / n_{ВН} = 101,5 / 3,14 = 32,32 \text{ кВ.}$$

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

1.3.4 Розрахунок потужностей нормального режиму замкнутої мережі

Розрахунок режиму замкнутої мережі виконується так само, як мережі із двостороннім живленням при однакових напругах джерел живлення. Розрахункова схема кільцевої мережі, умовно розрізється по шині джерела живлення.

Розраховуємо потужності на ділянках мережі із двостороннім живленням, для цього визначаємо потужність на головних ділянках:

$$S_{12} = \frac{S_{25}(Z_{Л3} + Z_{Л4} + Z_{Л1}) + S_{36}(Z_{Л4} + Z_{Л1}) + S_{49}(Z_{Л1})}{Z_{Л1} + Z_{Л2} + Z_{Л3} + Z_{Л4}} =$$

$$= \frac{(25,12 + j11,4)(19,9 - j45,9) + (10,09 + j5,61)(8,1 - j20,7) + (35,16 + j25,38)(14 - j33,3)}{26,4 - j62,4}$$

$$= 40,61 + j23,82 \text{ МВА.}$$

$$S_{14} = \frac{S_{49}(Z_3 + Z_4 + Z_2) + S_{36}(Z_2 + Z_3) + S_{25}(Z_2)}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4} =$$

$$= \frac{(10,09 + j5,61)(18,3 - j41,7) + (35,16 + j25,38)(12,4 - j29,1) + (25,12 + j11,4)(6,5 - j16,5)}{24,6 - j62,5}$$

$$= 29,76 + j18,57 \text{ МВА.}$$

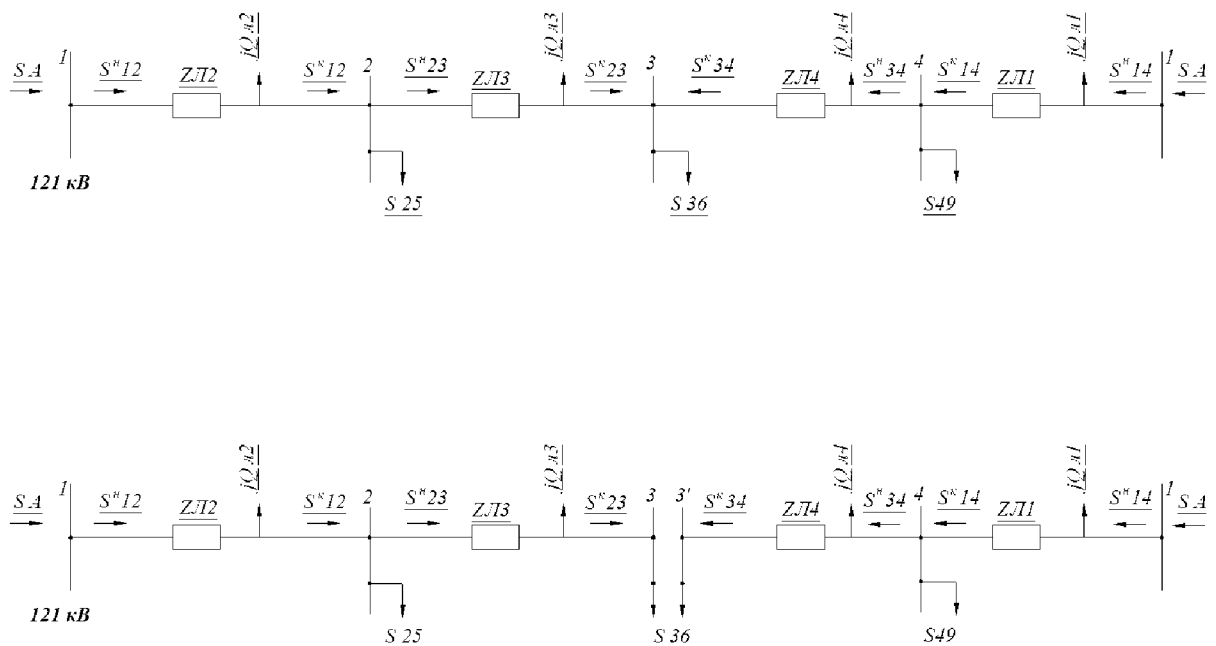


Рис 1.6 – Схема заміщення замкнутої мережі

Перевірка:

$$S_{12}+S_{14}=S_{25}+S_{36}+S_{49}$$

$$40,61+j23,82+29,76+j18,57=25,12+j11,4+35,16+j25,38+10,09+j5,61$$

$$70,37+j42,39=70,37+j42,39$$

Погрішність обчислень становить $\Delta P=0\%$, $\Delta Q=0,0\%$ що набагато менше необхідної точності обчислення 2% .

$$S_{23}=S_{12}-S_{25}=40,61+j23,82-25,12-j11,4=15,49+j12,42 \text{ МВА.}$$

$$S_{43}=S_{14}-S_{49}=29,76+j18,57-10,09-j5,61=19,67+j12,96 \text{ МВА.}$$

Використовуючи схему, отримані чисельні значення й напрямки потужностей можна знайти точку потокорозподілу.

Точка потокорозподілу знаходиться в т.3, робимо розмикання мережі в цій точці й робимо розрахунок кожної з розімкнутих мереж окремо.

Знаходимо потужність наприкінці ділянки 1-2:

$$S_{12}^K = S_{12}^H - \Delta S_{Л2} + jQ_{Л2}$$

$$\Delta S_{Л2} = Z_{Л2} \left(\frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (6,5 + j16,5) \left(\frac{40,61^2 + 23,82^2}{110^2} \right) = 1,19 + j3,02 \text{ МВА.}$$

$$S_{12}^K = 40,61 + j23,82 - 1,19 - j3,02 + j0,7 = 39,42 + j21,5 \text{ МВА.}$$

Знаходимо потужність на початку ділянки 2-3:

$$S_{23}^H = S_{12}^K - S_{25} = 39,42 + j21,5 - 25,12 - j11,4 = 14,3 + j10,1 \text{ МВА.}$$

Знаходимо потужність наприкінці ділянки 2-3:

$$S_{23}^K = S_{23}^H - \Delta S_{Л3} + jQ_{Л3}$$

$$\Delta S_{Л3} = Z_{Л3} \left(\frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (5,9 + j12,6) \left(\frac{14,3^2 + 10,1^2}{110^2} \right) = 0,15 + j0,32 \text{ МВА.}$$

$$S_{23}^K = 14,3 + j10,1 - 0,15 - j0,32 + j0,5 = 14,15 + j10,28 \text{ МВА.}$$

Знаходимо потужність наприкінці ділянки 1-4:

$$S_{14}^K = S_{14}^H - \Delta S_{Л1} + jQ_{Л1}$$

$$\Delta S_{Л1} = Z_{Л1} \left(\frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (8,1 + j20,7) \left(\frac{29,76^2 + 18,57^2}{110^2} \right) = 0,82 + j2,11 \text{ МВА.}$$

$$S_{14}^K = 29,76 + j18,57 - 0,82 - j2,11 + j0,8 = 28,94 + j17,26 \text{ МВА.}$$

									Лист
									19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Знаходимо потужність на початку ділянки 4-3:

$$S_{43}^H = S_{14}^K - S_{49} = 28,94 + j17,26 - 10,09 - j5,61 = 18,85 + j11,65 \text{ МВА.}$$

Знаходимо потужність наприкінці ділянки 4-3:

$$S_{43}^K = S_{43}^H - \Delta S_{Л4} + jQ_{Л4}$$

$$\Delta S_{Л4} = Z_{Л4} \left(\frac{S}{U_{НОМ}} \right)^2 = (5,9 + j12,6) \left(\frac{18,85^2 + 11,65^2}{110^2} \right) = 0,24 + j0,51 \text{ МВА.}$$

$$S_{43}^K = 18,85 + j11,65 - 0,24 - j0,51 + j0,5 = 18,61 + j11,64 \text{ МВА.}$$

1.3.5 Визначення напруг в контрольних точках мережі:

Визначаємо напругу U_2 :

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{12}^H \cdot R_{Л2} + Q_{12}^H \cdot X_{Л2}}{U_1} - j \frac{P_{12}^H \cdot X_{Л2} - Q_{12}^H \cdot R_{Л2}}{U_1} =$$
$$= 125 - \frac{40,61 \cdot 6,5 + 23,82 \cdot 16,5}{121} - j \frac{40,61 \cdot 16,5 - 23,82 \cdot 6,5}{121} =$$
$$= 115,57 - j4,26 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_2| = 115,65 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу шини 3:

$$U_3 = U_2 - \frac{P_{23}^H \cdot R_{Л3} + Q_{23}^H \cdot X_{Л3}}{U_2} - j \frac{P_{23}^H \cdot X_{Л3} - Q_{23}^H \cdot R_{Л3}}{U_2} =$$
$$= 115,65 - \frac{14,3 \cdot 5,9 + 10,1 \cdot 12,6}{115,65} - j \frac{14,3 \cdot 12,6 - 10,1 \cdot 5,9}{115,65} =$$
$$= 113,82 - j1,04 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_3| = 113,8 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу шини 4:

$$U_4 = U_1 - \frac{P_{14}^H \cdot R_{Л1} + Q_{14}^H \cdot X_{Л1}}{U_1} - j \frac{P_{14}^H \cdot X_{Л1} - Q_{14}^H \cdot R_{Л1}}{U_1} =$$
$$= 125 - \frac{29,76 \cdot 8,1 + 18,57 \cdot 20,7}{121} - j \frac{29,76 \cdot 20,7 - 18,57 \cdot 8,1}{121} =$$

$$=115,83-j3,94 \text{ кВ}$$

Модуль напруги:

$$|U_4|=115,89 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу шини 3':

$$U_3' = U_4 \cdot \frac{P_{43}^H \cdot R_{Л4} + Q_{43}^H \cdot X_{Л4}}{U_4} - j \frac{P_{43}^H \cdot X_{Л4} - Q_{43}^H \cdot R_{Л4}}{U_4} =$$

$$=115,89 \cdot \frac{18,85 \cdot 5,9 + 11,65 \cdot 12,6}{115,89} - j \frac{18,85 \cdot 12,6 - 11,65 \cdot 5,9}{115,89} =$$

$$=113,66-j1,46 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_3|=113,67 \text{ кВ.}$$

Напруги в точці поточкорозподілу, знайдені у результаті розрахунку обох розімкнутих схем практично однакові: Погрішність: $(|U_3'| - |U_3|) \cdot 100 / |U_3| = 0,09\%$

Що дотримується необхідної точності розрахунку $0,09 \ll 10$

Приймаємо $|U_3|=113,7 \text{ кВ.}$

Визначаємо напругу шини 5:

$$U_5' = U_2 \cdot \frac{P_{25} \cdot R_{Т1} + Q_{25} \cdot X_{Т1}}{U_2} - j \frac{P_{25} \cdot X_{Т1} - Q_{25} \cdot R_{Т1}}{U_2} =$$

$$=115,65 \cdot \frac{25,12 \cdot 0,6 + 11,4 \cdot 16}{115,65} - j \frac{25,12 \cdot 16 - 11,4 \cdot 0,6}{115,65} =$$

$$=113,94-j3,42 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_5'|=114 \text{ кВ.}$$

Знаходимо коефіцієнт трансформації, це відношення напруги на обмотці середньої напруги до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$n_{ВН} = \frac{U_{СН_НОМ}}{U_{НН_НОМ}} = \frac{110}{35} = 3,14.$$

Використовуючи коефіцієнт трансформації, приводимо отриману напругу до напруги на обмотці нижчої напруги:

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$U_5 = U_5' / n_{BH} = 114 / 3,14 = 36,3 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу шини 7:

$$U_7' = U_3 \cdot \frac{P_{36} \cdot (R_{T2B} + R_{T2H}) + Q_{36} \cdot (X_{T2B} + X_{T2H})}{U_3} - j \frac{P_{36} \cdot (X_{T2B} + X_{T2H}) - Q_{36} \cdot (R_{T2B} + R_{T2H})}{U_3} =$$

$$= 113,8 \cdot \frac{35,16 \cdot 0,8 + 25,78 \cdot 52}{113,8} - j \frac{35,13 \cdot 52 - 25,78 \cdot 0,8}{113,8} =$$

$$= 101,77 - j15,45 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_7'| = 103 \text{ кВ.}$$

Знаходимо коефіцієнт трансформації, це відношення напруги на обмотці середньої напруги до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$n_{BH} = \frac{U_{CH_НОМ}}{U_{НН_НОМ}} = \frac{110}{10} = 11.$$

Використовуючи коефіцієнт трансформації приводимо отримана напруга до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$U_7 = U_7' / n_{BH} = 103 / 11 = 9,66 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу шини 8:

$$U_8' = U_3 \cdot \frac{P_{36} \cdot (R_{T2B} + R_{T2C}) + Q_{36} \cdot (X_{T2B} + X_{T2C})}{U_3} - j \frac{P_{36} \cdot (X_{T2B} + X_{T2C}) - Q_{36} \cdot (R_{T2B} + R_{T2C})}{U_3} =$$

$$= 113,8 \cdot \frac{35,16 \cdot 0,8 + 25,78 \cdot 32}{113,8} - j \frac{35,13 \cdot 32 - 25,78 \cdot 0,8}{113,8} =$$

$$= 106,3 - j9,66 \text{ кВ.}$$

Модуль напруги:

$$|U_8'| = 106,75 \text{ кВ.}$$

Знаходимо коефіцієнт трансформації, це відношення напруги на обмотці середньої напруги до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$n_{BH} = \frac{U_{CH_НОМ}}{U_{НН_НОМ}} = \frac{110}{35} = 3,14.$$

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Використовуючи коефіцієнт трансформації, приводимо отриману напругу до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$U_8 = U_8' / n_{BH} = 106,75 / 3,14 = 34 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу шини 9:

$$\begin{aligned} U_9' &= U_4 - \frac{P_{49} \cdot R_{T3} + Q_{49} \cdot X_{T3}}{U_4} - j \frac{P_{49} \cdot X_{T3} - Q_{49} \cdot R_{T3}}{U_4} = \\ &= 115,89 - \frac{10,09 \cdot 0,6 + 5,61 \cdot 16}{115,89} - j \frac{10,09 \cdot 16 - 5,61 \cdot 0,6}{115,89} = \\ &= 115,46 - j1,34 \text{ кВ.} \end{aligned}$$

Модуль напруги:

$$|U_9'| = 115 \text{ кВ.}$$

Знаходимо коефіцієнт трансформації, це відношення напруги на обмотці середньої напруги до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$n_{BH} = \frac{U_{CH_НОМ}}{U_{НН_НОМ}} = \frac{110}{35} = 3,14.$$

Використовуючи коефіцієнт трансформації, приводимо отриману напругу до напруги на обмотці нижчої напруги:

$$U_9 = U_9' / n_{BH} = 115 / 3,14 = 36,4 \text{ кВ.}$$

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДСТАНЦІЇ

Вихідними даними є:

- 1) Напруга систем - $U_{ВН}$ у кВ, що відповідає стороні високої напруги (ВН) підстанції.
- 2) Потужність системи $S_{НОМ}$ у МВА.
- 3) Реактивний опір системи X_c .
- 4) Число ліній зв'язку із системою, їхня довжина L_W у км і їхні параметри X_W в Ом.
- 5) Потужність навантаження, МВА

2.1 Вибір потужності силових трансформаторів

Тип трансформатора ТМН 2500/110

Потужність трансформатора $S=2,5$ МВА

Напруга $U=110$ кВ

Опір $X=520$ Ом

$L_{W1}=22$ км

$L_{W2}=22$ км

$X_{W1}=4,62$ Ом

$X_{W2}=4,62$ Ом

$S_c=2500$ кВА

$X_c=4.84$ Ом

Таблиця 2.1- Навантаження споживачів протягом доби

години	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
%	50	40	55	85	95	95	80	95	95	120	150	105
S(МВА)	1,2	1,0	1,3	2,1	2,3	2,3	2,0	2,3	2,3	3,0	3,7	2,6

Для підстанцій були обрані трансформатори потужності S (МВА) типу ТМН. Більш точно обрані трансформатори, з огляду на графік навантаження.

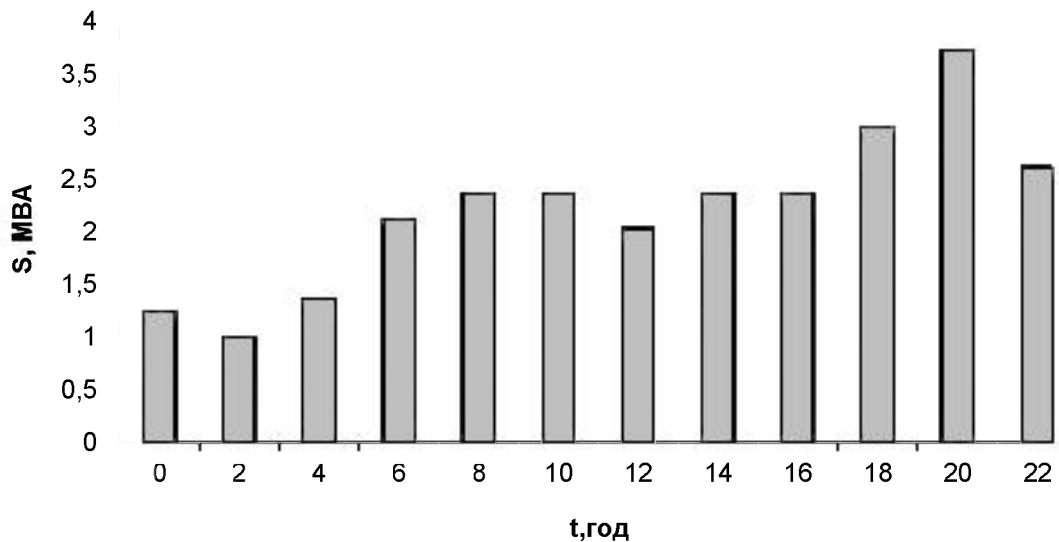


Рис.2.1 – Добовий графік навантаження підстанції.

Для перевірки правильності вибору трансформатора реальний графік навантаження перетворимо у двоступінчастий. Початкове навантаження еквівалентного графіка визначається по формулі

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

$$K_1 = \frac{1}{2,5} \cdot \sqrt{\frac{1,2^2 \cdot 2 + 1,0^2 \cdot 2 + 1,3^2 \cdot 2 + 2,1^2 \cdot 2 + 2,0^2 \cdot 2 + 2,3^2 \cdot 8}{2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 8}} = 0,77$$

S_1, S_2, \dots, S_n – навантаження першої, другої, n-ої сходини графіка навантаження, розташованих нижче лінії номінальної потужності трансформатора.

t_1, t_2, \dots, t_n – тривалість сходинки, години.

Аналогічно визначається друга сходинка еквівалентного графіка, але при цьому беруться щаблі, розташовані вище лінії номінальної потужності трансформатора.

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

$$K_2 = \frac{1}{2,5} \cdot \sqrt{\frac{3^2 \cdot 2 + 3,7^2 \cdot 2 + 2,6^2 \cdot 2}{2 + 2 + 2}} = 1,25$$

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

Максимальне перевантаження трансформатора становить

$$K_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{S_{НОМ}} = \frac{3,7}{2,5} = 1,48$$

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

Попереднє значення K'_2 необхідно порівняти зі значенням K_{MAX} ,

$$K'_2 = 0,9K_{MAX}$$

Так як $K'_2 = 0,9 \cdot 1,48 = 1,33 > 1,25$

остаточно приймаємо $K_2 = K'_2 = 1,33$

За ДСТом 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду ($-1^\circ C$) і часу перевантаження $t=8$ годин, знаходимо допустиме значення перевантаження. Так як за ДСТ 14209-85 $K_2 = 1,5 > 1,33$ – трансформатор обраний правильно.

2.2 Вибір схеми електричних з'єднань підстанцій

Головна схема електричних з'єднань повинна задовольняти наступним вимогам:

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

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

При цьому варто застосовувати найпростіші схеми. Для тупикової схеми рекомендується застосовувати схему «два блоки з вимикачем у ланцюгах трансформатора й неавтоматичною перемичкою».

Так як розглянутий РП має мале число приєднань – те доцільно застосувати спрощену схему без збірних шин з короткими перемичками між приєднаннями.

Спрощена принципова схема електричних приєднань наведена на рис 2.2.

У схемі передбачені вимикачі на лініях, третій вимикач передбачений на перемичці (секційний). Відключення трансформаторів, у випадку їхнього ушкодження, проводиться двома вимикачами 110 кВ (Q1 й Q3 або Q2 й Q3) і відповідними вимикачами 10 кВ (Q11 або Q12).

Разом із трансформатором будуть відключені й дві відповідні лінії 10 кВ. Їхню роботу можна відновити за допомогою АВР вимикачем Q13.

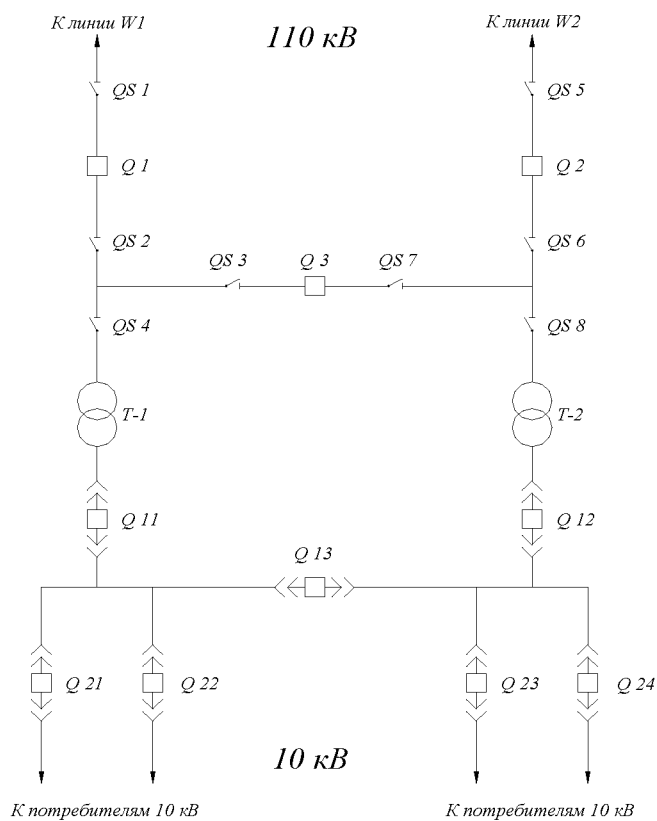


Рис 2.2 – Принципова схема електричних з'єднань

2.3 Розрахунок струмів короткого замикання

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору встаткування на стороні 110 кВ й 10 кВ. Підстанція живиться по двох тупикових лініях. Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 2.3.

Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центра живлення становить $S_c = MVA$

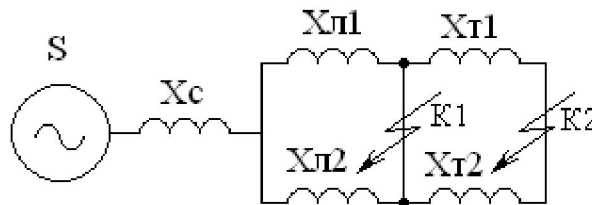


Рис.2.3 Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання.

Опір системи дорівнює.

$$X_c = \frac{U_L^2}{S_c} \text{ Ом.}$$

$$U_L = \sqrt{X_c \cdot S_c} = \sqrt{4,84 \cdot 2500} = 110 \text{ кВ.}$$

Опір працюючих ліній $X_L = 2,3$ Ом; трансформаторів $X_T = 260$ Ом.

Періодична складова СКЗ у точці K_1

$$I_{K1} = \frac{U_L}{X_c + X_L} = \frac{110}{4,84 + 2,3} = 15,41 \text{ кА}$$

Те ж у точці K_2 , приведена до напруги вищої сторони

$$I_{K2}^B = \frac{U_L}{X_c + X_L + X_T} = \frac{110}{4,84 + 2,3 + 260} = 0,41 \text{ кА}$$

реальний СКЗ у точці K_2

$$I_{K2} = I_{K2}^B \cdot \frac{110}{10} = 0,41 \cdot \frac{110}{10} = 4,51 \text{ кА}$$

Ударний струм

$$\text{У точці } K_1 = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K1} = 1,41 \cdot 1,61 \cdot 15,41 = 34,98 \text{ кА}$$

$$\text{у точці } K_2 = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K_2} = 1,41 \cdot 1,61 \cdot 4,51 = 10,23 \text{ кА}$$

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

$$I_{nr} = I_{K_1} = 15,41 \text{ кА для точки } K_1 ;$$

$$I_{nr} = I_{K_2} = 4,51 \text{ кА для точки } K_2 ;$$

Аперіодична складова СКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача;

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

$$i_{a1} = 1,41 \cdot 18,212 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,025}} = 2,3 \text{ кА}$$

$$i_{a2} = 1,41 \cdot 10,428 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,05}} = 0,46 \text{ кА}$$

де Ta - постійна часу загасання аперіодичній складовій (для K_1 $Ta=0,025$ с., для K_2 $Ta=0,05$ с.).

Інтеграл Джоуля

$$\text{для } K_1 \quad B_R = I_{K_1}^2 (t + Ta) = I_{K_1}^2 (0,06 + 0,025) = 15,41 \cdot (0,06 + 0,025) = 20,18 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$\text{для } K_2 \quad B_R = I_{K_2}^2 (t + Ta) = I_{K_2}^2 (0,1 + 0,05) = 4,51^2 \cdot (0,1 + 0,05) = 3,05 \text{ кА}^2\text{с}$$

Результати розрахунку зведені в табл.2.2.

Таблиця 2.2- Результати розрахунків струмів КЗ

Струми короткого замикання	СКЗ у поч. момент часу, кА	Ударний СКЗ i_y , кА	СКЗ у момент роз'єднання контактів вимикача, кА	Аперіод. складова СКЗ, i_a кА	Інтеграл Джоуля B_K , кА ² с
Шини 110 кВ (K_1)	15,41	34,98	15,41	2,3	20,18
Шини 10 кВ (K_2)	4,51	10,23	4,51	0,46	3,05

2.4 Вибір високовольтних апаратів РП електричних мереж

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

- вибір за напругою;
- вибір за нагріванням при тривалих струмах;
- перевірка на електродинамічну стійкість;
- перевірка на термічну стійкість;
- вибір за виконанням (для зовнішньої або внутрішньої установки);

Вибору підлягають: вимикачі на стороні вищої напруги; вхідні вимикачі на стороні 10 кВ; секційні вимикачі на стороні 10 кВ; вимикачі ліній, що відходять, 10 кВ; роз'єднувачі вищої напруги; трансформатори типу й напруги 110 кВ й 10 кВ; ошиновка розподільних пристроїв 110 кВ й 10 кВ.

Для вибору апаратів і струмоведучих частин необхідно визначити струми нормального й післяаварійного режиму. Визначення струмів проводиться для випадку установки на підстанції силового трансформатора, розрахованого відповідно до графіка навантаження підстанції.

Максимальний струм на зовнішній стороні

$$I_{110\text{MAX}} = \frac{1,4S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot 110} = \frac{1,4 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 110} = 18,37 \text{ А.}$$

Струм у колі вхідних вимикачів на стороні 10 кВ

$$I_{10}^{ВЫК.} = \frac{1,4S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = \frac{1,4 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 101,036 \text{ А}$$

струм у колі секційного вимикача

$$I_{10}^{С.В.} = \frac{0,7 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 10} = 101,036 \text{ А}$$

струм у колі лінії, що відходить (якщо на одне приєднання доводиться 3 МВА)

$$I_{10}^{отк} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 173,2 \text{ А}$$

Динамічний струм: $I_{дин} = 2,55 \cdot I_{отк}$

На стороні вищої напруги рекомендується установка елегазових вимикачів типу S1-145-F3/4031. Вибір вимикачів наведений в таблиці 2.3

Вибираємо ВВБМ – 110Б – 31,5/2000В1 :

$U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}$, $I_{НОМ} = 2000 \text{ А}$, $I_{НОМ.ОТКЛ} = 31,5 \text{ ка}$,

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

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

$$I_{\text{а ном.}} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}}/100 = 1,41 \cdot 36 \cdot 31,5/100 = 15,99 \text{ кА,}$$

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

Таблиця 2.3- Вибір вимикача на стороні 110 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	18,37А	2000А
$I_{\text{ПО}} \leq I_{\text{прСКВ}}$	15,41кА	40кА
$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{СКВ}}$	34,98кА	102кА
$I_{\text{нт}} \leq I_{\text{ОткНом}}$	15,41кА	31.5кА
$I_{\text{ат}} \leq I_{\text{а ном}}$	2,3кА	15.99кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	20,18кА ² с	112кА ² с

Обраний вимикач повністю задовольняє умовам вибору.

На стороні низької напруги рекомендується вибирати вакуумні вимикачі.

$$\text{У точці } K_1 \quad i_a = \sqrt{2} I \cdot e^{\frac{0,06}{0,025}} \text{ кА}$$

$$\text{У точці } K_2 \quad i_a = \sqrt{2} I \cdot e^{\frac{0,1}{0,05}} \text{ кА}$$

Таблиця 2.4-вибір вимикачів у колі трансформатора на стороні 10 кв.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	101,036А	320А
$I_{\text{ПО}} \leq I_{\text{прСКВ}}$	4,51кА	10кА
$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{СКВ}}$	10,23кА	25,5кА
$I_{\text{нт}} \leq I_{\text{ОткНом}}$	4,51кА	10кА
$I_{\text{ат}} \leq I_{\text{а ном}}$	0,46кА	2,82кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	3,05кА ² с	10,5кА ² с

Рекомендується установка вакуумних вимикачів типу VM 1S-10-40/3150-42.

Вибираємо ВММ-10 – 320 – 10ТЗ :

$$U_{\text{НОМ}}=10 \text{ кВ, } I_{\text{НОМ}}= 320 \text{ А, } I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}}=10 \text{ ка,}$$

									Лист
									31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР 6.141.798 ПЗ				

$$I_{СКВ.ІН.} = 10 \text{ кА}, I_{СКВ} = 10 \text{ кА}, I_T = 10 \text{ кА},$$

$$t_{откл.} = 0,105 \text{ сек. } \beta_H = 20\%.$$

$$I_{а ном.} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{НОМ.ОТКЛ.}/100 = 1,41 \cdot 20 \cdot 10/100 = 2,82 \text{ кА},$$

$$I_T^2 \cdot t_r = 10^2 \cdot 0,105 = 10,5 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Таблиця 2.5-вибір секційного вимикача на стороні 10 кв.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10
$I_{расч} \leq I_{ном}$	101.036А	320А
$I_{ПО} \leq I_{нрСКВ}$	4.51кА	10кА
$i_y \leq I_{нрСКВ}$	10.238кА	25,5кА
$I_{нт} \leq I_{ОмкНОМ}$	4.51кА	10кА
$I_{ат} \leq I_{а ном}$	0.46кА	2,82кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	3.05кА ² с	10,5кА ² с

Рекомендується прийняти до установки як секційний вимикач типу ВВ/TEL-10-31,5/32. Вибираємо ВК –10 – 31,5 :

$$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}, I_{НОМ} = 320 \text{ А}, I_{НОМ.ОТКЛ.} = 10 \text{ кА},$$

$$I_{СКВ.ІН.} = 10 \text{ кА}, I_{СКВ} = 10 \text{ кА}, I_T = 10 \text{ кА},$$

$$t_{откл.} = 0,105 \text{ сек. } \beta_H = 20\%.$$

$$I_{а ном.} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{НОМ.ОТКЛ.}/100 = 1,41 \cdot 20 \cdot 10/100 = 2,82 \text{ кА},$$

$$I_T^2 \cdot t_r = 10^2 \cdot 0,105 = 10,5 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Таблиця 2.6-вибір вимикачів на лінію, що відходить, 10 кв.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10
$I_{расч} \leq I_{ном}$	173.2 А	630 А
$I_{ПО} \leq I_{нрСКВ}$	4,51 кА	80 кА
$i_y \leq I_{нрСКВ}$	10,238 кА	31,5 кА
$I_{нт} \leq I_{ОмкНОМ}$	4,51 кА	25 кА
$I_{ат} \leq I_{а ном}$	0,46 кА	7,93,8 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	3,05 кА ² с	74,42 кА ² с

На лінію, що відходить, рекомендується встановити малопотужний вимикач ВВ/TEL-10-35/32

У таблиці 2.7 наведений вибір роз'єднувачів на стороні 110 кВ. роз'єднувачі необхідні з одним і двома комплектами заземлюючих ножів.

Таблиця 2.7- Вибір роз'єднувачів 110 кВ.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	110 кВ	110
$I_{расч} \leq I_{ном}$	18,37А	1000А
$i_{y0} \leq I_{прСКВ}$	34,98кА	80кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	20кА ² с	2997/992кА ² с

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

РНД (3) - 110/1000В

$U_{НОМ}=110$ кВ, $I_{НОМ}= 1000$ А, $I_{СКВ.Ин.}=80$ кА,

$I_{Т1}=31.5$ кА, $t_{ТЕР1}= 3$ сек.

$I_{Т3}=31.5$ кА, $t_{ТЕР3}= 1$ сек.

$(I_T^2 \cdot t_r)_1=31,5^2 \cdot 3=2977$ кА²с.

$(I_T^2 \cdot t_r)_3=31,5^2 \cdot 1=992$ кА²с.

2.5 Вибір електровимірювальних трансформаторів струму й напруги

Для підключення електровимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту необхідна установка трансформаторів струму й напруги. У даному проекті релейний захист детально не розробляється, тому перевірку трансформаторів по вторинному навантаженню виконуємо з урахуванням підключення тільки вимірювальних приладів. У колі силового трансформатора з боку нижчої напруги амперметр, вольтметр, варметр, лічильники активної й реактивної енергії, на шинах 110 кВ – вольтметр із перемикачем для виміру трьох міжфазних напруг, на

секційному вимикачі 10 кВ – амперметр, на лініях, що відходять, 10 кВ – амперметр, лічильники активної й реактивної енергії.

Таблиця 2.8- Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму.

Прилад	Тип	Клас	Навантаження по фазах		
			А	В	С
Амперметр	Э-335	1	0,5	0,5	0,5
Ватметр	Д-350	1,5	0,5	—	0,5
Варметр	Д-345	1,5	0,5	—	0,5
Лічильник активної енергії	СА-3	1	2,5	—	2,5
Лічильник реактивної енергії	СР-4	1,5	2,5	—	2,5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра з боку НН			6,5	0,5	6,5
Сумарне навантаження струму в колі секционн. вимикач. на НН			0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра з боку ВН			0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі лінії, що відходить			0,5	0,5	0,5

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

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110
$I_{расч} \leq I_{ном}$	18,37 А	50-600
$i_y \leq I_{прСКВ}$	34,98 А	62-124
$B_K \leq I_T^2 t_r$	20,184 кА ² с	162,5
$Z_H \leq Z_{Нном}$	1,25 Ом	4

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів:

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

Тоді опір вимірювальних проводів може бути:

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

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

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

$Z_{\text{к}}$ – опір контактів, Ом.

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

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинен бути не менш 4 мм^2 для алюмінієвих жил. Перетин жил при довжині кабелю $l = 160 \text{ м}$:

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{F};$$

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

F – перетин жил, мм^2 ;

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

Загальний опір струмового кола:

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

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

Трансформатор струму ТФЗМ-110-У1 відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.10 - Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на стороні нижчої напруги.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{\text{н}}$	10 кВ	10
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	101,036 А	2000
$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{дин}}$	10,23 А	—
$B_k \leq I_T^2 t_r$	3,05 $\text{кА}^2 \text{ с}$	74,42
$Z_{\text{н}} \leq Z_{\text{нном}}$	1,25 Ом	4

Перевірка за вторинним навантаженням виконується аналогічно. Обрано трансформатор ТШЛ-10К. Шинні трансформатори струму виготовляють для

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

номінальних напруг до 20 кВ і струмів до 24000 А. Як первинна обмотка використовується прохідна шина. Вони можуть бути виконані класу 0,5.

Таблиця 2.10 - Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 кВ	10
$I_{расч} \leq I_{ном}$	173.2 А	5-200
$I_{уд} \leq I_{дин}$	10,23А	250
$B_k \leq I_T^2 t_r$	3,06 кА ² с	74,42
$Z_H \leq Z_{Hном}$	1,25 Ом	4

Приймаємо до установки трансформатор струму ТЛП-10.

Трансформатор струму ТПЛ10-У3:

При струмах, менших 600 А, застосовуються багатовиткові трансформатори струму ТПЛ, у яких первинна обмотка з складається з декількох витків, кількість яких визначається необхідною МРС

Як трансформатори напруги вибираємо на стороні 110 кВ трансформатори НКФ-110-58, на стороні 10 кВ – ЗНОЛ.06-10-У3. Їхні характеристики наведені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11- Характеристика обраних трансформаторів на сторонах 110 кВ й 10 кВ

Тип	Номінальна напруга обмотки			Номінальна потужність, В·А, у класі точності				Максимальна потужність, В·А
	первин., кВ	основної вторинної, В	Додаткової, В	0,2	0,5	1	3	
ЗНОЛ.06	6/√3	100/√3	100:3 або 100	30	50	75	200	400
	10/√3			50	75	150	300	630
	15/√3			50	75	150	300	630
	20/√3			50	75	150	300	630
	24/√3			50	75	150	300	630
НКФ-110-58	110/	100/	100:3	—	400	600	1200	2000

Каскадні трансформатори напруги виготовляють тільки однофазні й для зовнішньої установки.

Активна частина трансформатора розміщена в порцеляновому кожусі, укріпленому на візку (для полегшення транспортування) і заповненому трансформаторним маслом. Кожух має металеву голівку, котра виконує роль розширника. Початок первинної обмотки приєднано безпосередньо до голівки – розширникf, що має спеціальний затиск для приєднання трансформатора до установки. Таким чином, відпадає необхідність у прохідних ізоляторах вводів. Кінець первинної обмотки з'єднаний з металевим заземленим візком. Для полегшення ізоляції внутрішніх частин трансформатор виконують у вигляді каскаду із двох елементів. Середня точка обмотки кожного елемента з'єднана із сердечником. У такий спосіб ізоляція внутрішніх частин розрахована лише на відому частку від повної номінальної напруги.

2.6. Вибір ошиновки РП

Ошиновку в РП 110 кВ виконують, як правило, сталевалюмінієвими проводами марки АС. при цьому перетин шин повинне бути не менше 70мм^2 (за умовами корони). Вибір перетину здійснюється за довгостроково- допустимим струмом. При максимальному робочому до 200А вибираємо перетин 70мм^2 із допустимим струмом 265А. Мінімальний перетин, виходячи з умови термічної стійкості, визначається по формулі

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{20,184 \cdot 10^6}}{91} = 49,37 \text{ мм}^2, \quad \text{де } C = 91 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кАс}}{\text{мм}^2}$$

Таблиця 2.12 - Вихідні дані шини 110 кВ.

Струми короткого замикання	СКЗ у поч. момент часу, кА	Ударний СКЗ i_y , кА	СКЗ у момент роз'єднання контактів вимикача, кА	Аперіод. складова. СКЗ, i_a кА	Інтеграл Джоуля B_k , $\text{кА}^2\text{с}$
Шини 110 кВ(K_1)	18,212	41,467	18,212	283,909	28,193

Перетин 70мм^2 підходить і по термічній стійкості, але лінії, що живлять підстанцію виконані проводом АС-95, тому й для ошиновки підстанції приймаємо АС-95.

Таблиця 2.13- Вихідні дані шини 10 кВ.

Струми короткого замикання	СКЗ у поч. момент часу, кА	Ударний СКЗ i_y , кА	СКЗ у момент роз'єднання контактів вимикача, кА	Аперіод. складова. СКЗ, i_a кА	Інтеграл Джоуля B_k , $\text{кА}^2\text{с}$
Шини 10 кВ (K_2)	4,51	10,238	4,51	0,46	3,05

Ошиновка закритих РП 10 кВ виконується твердими шинами. Вибір перетину також проводиться за допустимим струмом. Тверді шини повинні бути перевірені на динамічні дії струмів КЗ і на можливість виникнення резонансних явищ. Зазначені явища не виникають при КЗ, якщо власна частота коливань шини менше 30 і більше 200 Гц. частота власних коливань для алюмінієвих шин визначається по формулі

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

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

γ - момент інерції поперечного переріза шини щодо осі, перпендикулярної напрямку згинаючої сили, см^4

q - поперечний переріз шини, см^2

Вибираємо трубчасті алюмінієві шини 25/30 мм.

Перевіримо обрані шини на динамічну стійкість:

$$q = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (30^2 - 25^2) = 2.15 \text{ см}^2$$

$$\gamma = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (30^4 - 25^4) = 205 \text{ см}^4$$

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{\gamma}{q}} = \frac{173,2}{1,5^2} \sqrt{\frac{205}{2.15}} = 777 \text{ Гц} > 200 \text{ Гц}$$

Умовою механічної міцності шин є

$$\sigma_{расч} \leq \sigma_{доп};$$

де $\sigma_{расч}$ – розрахункова механічна напруга в матеріалі шин, МПа.

$\sigma_{доп} = 82,3$ МПа – допустима механічна напруга в матеріалі для алюмінієвих

шин

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W},$$

$$M = \frac{f \max * l^2}{10} = \frac{423,86 * 1,5^2}{10} = 95,37 \text{ Нм}$$

$$f \max = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \frac{i_y^2}{a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \frac{34,98^2}{0,5} = 423,86 \text{ Н/м}$$

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

$$W = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D} = \frac{\pi (30^4 - 25^4)}{32 \cdot 30} = 1,37 \text{ см}^3$$

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W} = \frac{95,37}{1,37} = 70 \text{ МПа} < 82,3 \text{ МПа}$$

Робимо висновок, що обрані шини підходять по динамічній стійкості й частоті.

					Лист
					БР 6.141.798 ПЗ
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	39

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ

У процесі виконання розрахунків необхідно на трансформаторі Т-1 розрахувати надперехідний й ударний струми при симетричному (трифазному) замиканні.

Приймаємо базисні умови

$$U_6 = 10\text{кВ}; S_6 = 100 \text{ МВА}; I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,7\text{кА}.$$

Опір лінії Л-2

$$X_2 = \frac{X_0 l \cdot S_B}{U_{\text{ЛН.СР}}^2} = \frac{0,4 \cdot 40 \cdot 100}{121^2} = 0,109 \text{ Ом},$$

де $X_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$ - питомий опір для повітряних ліній у наближених розрахунку напругою 6-220 кВ.

Опір лінії Л-3

$$X_2 = \frac{X_0 l \cdot S_B}{U_{\text{ЛН.СР}}^2} = \frac{0,4 \cdot 30 \cdot 100}{121^2} = 0,081 \text{ Ом}.$$

Опір лінії Л-1

$$X_2 = \frac{X_0 l \cdot S_B}{U_{\text{ЛН.СР}}^2} = \frac{0,4 \cdot 50 \cdot 100}{121^2} = 0,136.$$

Опір лінії Л-4

$$X_2 = \frac{X_0 l \cdot S_B}{U_{\text{ЛН.СР}}^2} = \frac{0,4 \cdot 30 \cdot 100}{121^2} = 0,081 \text{ Ом}.$$

Опір двох паралельно працюючих трансформаторів Т-1

$$X_5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{\kappa}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_n} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,25 \text{ Ом}.$$

Опір двох паралельно працюючих трансформаторів Т-2

Знаходимо напругу короткого замикання для кожної обмотки:

$$U_{\text{КВ}} = 0,5(U_{\text{КВ-С}} + U_{\text{КВ-Н}} - U_{\text{КС-Н}}) = 0,5(10,5 + 17,5 - 6,5) = 10,75\%$$

$$U_{\text{КС}} = 0,5(U_{\text{КВ-С}} - U_{\text{КВ-Н}} + U_{\text{КС-Н}}) \approx 0\%;$$

$$U_{\text{КН}} = 0,5(-U_{\text{КВ-С}} + U_{\text{КВ-Н}} + U_{\text{КС-Н}}) = 0,5(-10,5 + 17,5 + 6,5) = 13,5\%$$

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$X_7 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{\kappa}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_n} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,134 \text{ Ом},$$

$$X_8 = 0 \text{ Ом},$$

$$X_9 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{\kappa}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_n} = \frac{1}{2} \cdot \frac{13,75}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,168 \text{ Ом}.$$

Робимо перетворення Δ в Y

$$X_{14} = X_1 + X_4 = 0,136 + 0,081 = 0,217 \text{ Ом},$$

$$X_{15} = \frac{X_2 \cdot X_3}{X_2 + X_3 + X_{14}} = \frac{0,109 \cdot 0,081}{0,109 + 0,081 + 0,217} = 0,0217 \text{ Ом},$$

$$X_{16} = \frac{X_2 \cdot X_{14}}{X_2 + X_3 + X_{14}} = \frac{0,109 \cdot 0,217}{0,109 + 0,081 + 0,217} = 0,058 \text{ Ом},$$

$$X_{17} = \frac{X_2 \cdot X_4}{X_2 + X_3 + X_{14}} = \frac{0,081 \cdot 0,081}{0,109 + 0,081 + 0,217} = 0,061 \text{ Ом}.$$

Схема після перетворення Δ в Y показана на рис. 3.1.

Розрахуємо опір навантаження:

Опір навантаження 1

$$X_6 = X_{n^*} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_n} = 1,2 \cdot \frac{100}{26,92} = 4,46 \text{ Ом}.$$

Опір навантаження 2

$$X_{10} = X_{n^*} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_n} = 1,2 \cdot \frac{100}{18,02} = 6,66 \text{ Ом}.$$

Опір навантаження 3

$$X_{11} = X_{n^*} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_n} = 1,2 \cdot \frac{100}{22,36} = 5,36 \text{ Ом}.$$

$$X_{18} = X_{15} + X_5 = 0,0217 + 0,26 = 0,281 \text{ Ом},$$

$$X_{19} = X_{17} + X_7 = 0,0161 + 0,134 = 0,15 \text{ Ом},$$

$$X_{20} = X_9 + X_{10} = 6,66 + 0,168 = 6,828 \text{ Ом},$$

$$X_{21} = X_8 + X_4 = 0,081 \text{ Ом}.$$

										Лист
										41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

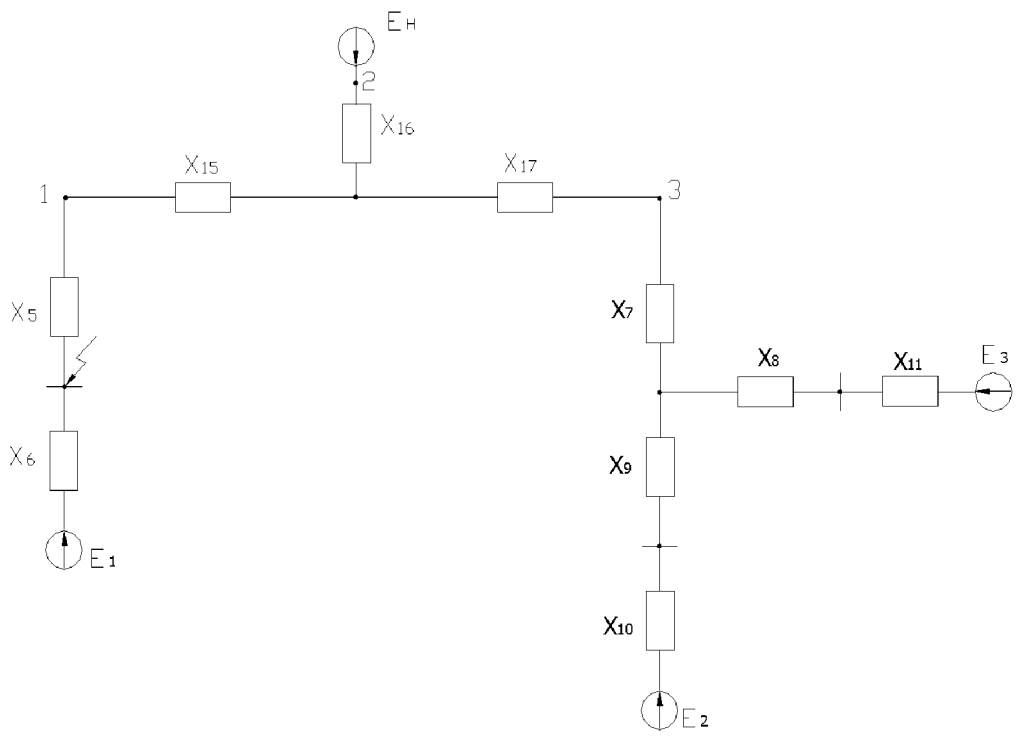


Рис. 3.1 Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ.

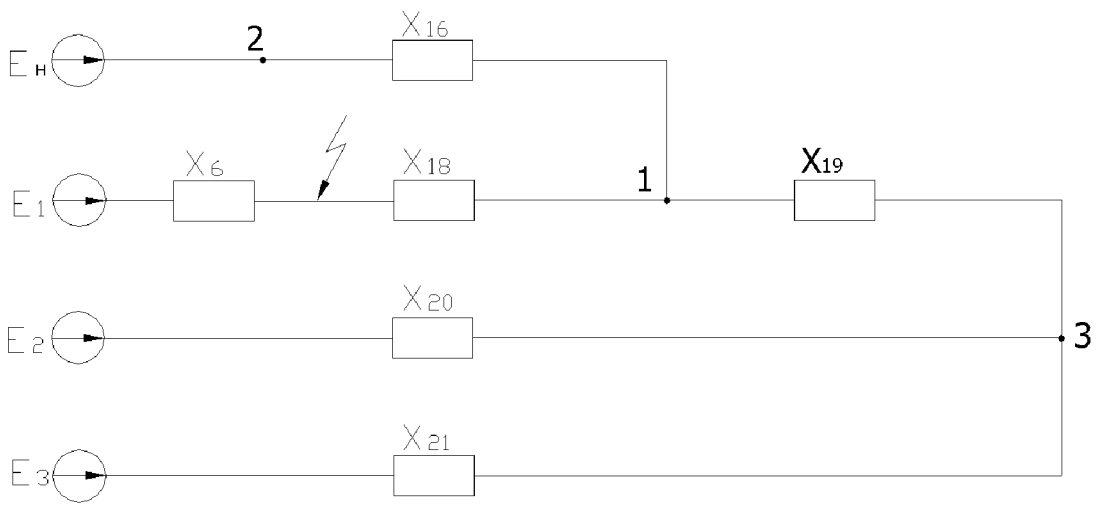


Рис. 3.2 Схема після спрощення

За допомогою коефіцієнтів розподілу спростимо схему

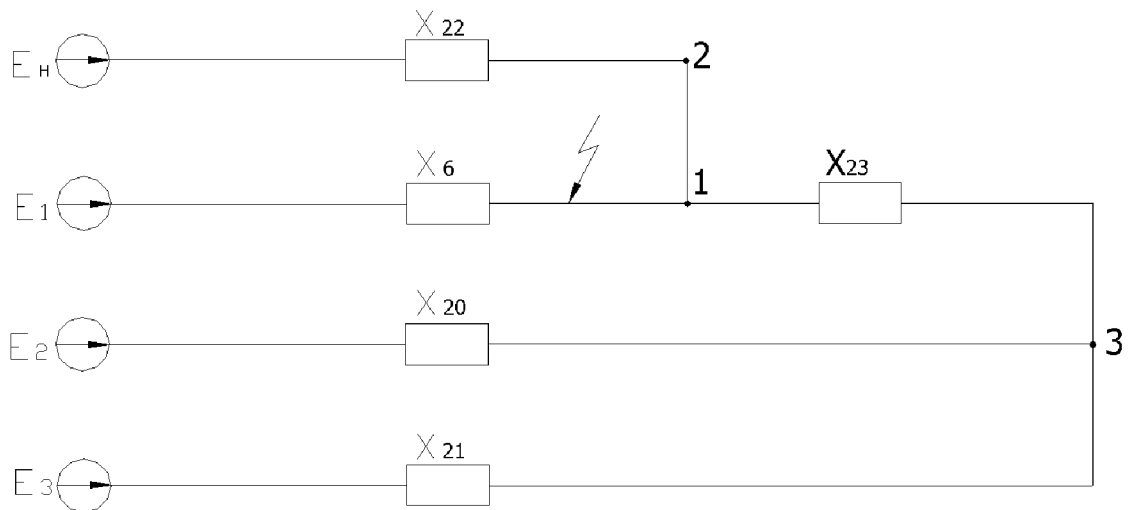


Рис. 3.3 Схема після спрощення

Еквівалентний опір для X_{16} та X_{19}

$$X_{\text{э1619}} = \frac{X_{16} \cdot X_{19}}{X_{16} + X_{19}} = \frac{0,058 \cdot 0,15}{0,058 + 0,15} = 0,042$$

$$C_{16} = \frac{X_{\text{э1619}}}{X_{16}} = \frac{0,042}{0,058} = 0,724$$

$$C_{19} = \frac{X_{\text{э1619}}}{X_{19}} = \frac{0,042}{0,15} = 0,28$$

$$X_{\text{э1619}} = X_{\text{э1619}} + X_{18} = 0,042 + 0,281 = 0,323$$

$$X_{23} = \frac{X_{\text{PEЭ1619}}}{C_{19}} = \frac{0,323}{0,28} = 1,15$$

$$X_{22} = \frac{X_{\text{PEЭ1619}}}{C_{16}} = \frac{0,323}{0,724} = 0,44$$

За допомогою коефіцієнтів розподілу спростимо схему

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

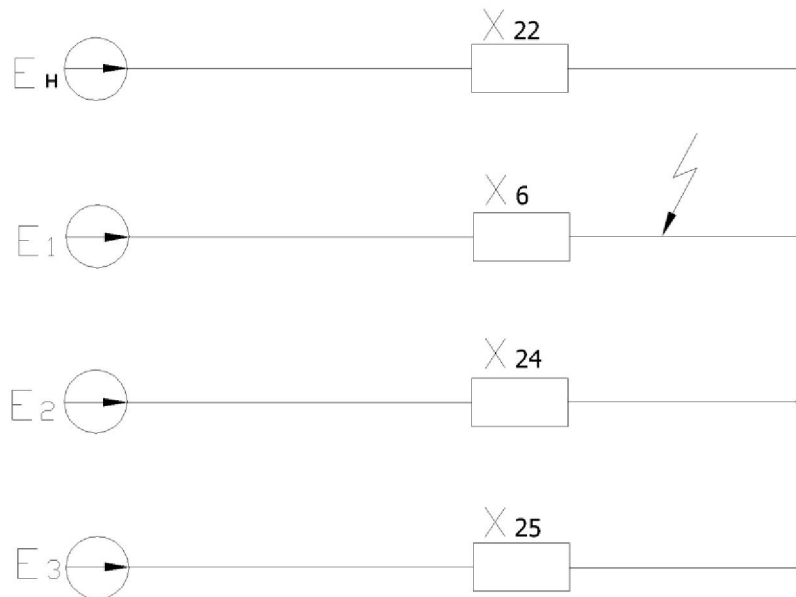


Рис. 3.4 Схема після спрощення

Еквівалентний опір для X_{20} та X_{21}

$$X_{\text{э}2021} = \frac{X_{20} \cdot X_{21}}{X_{20} + X_{21}} = \frac{6,828 \cdot 0,081}{6,828 + 0,081} = 0,08$$

коефіцієнти розподілу

$$C_{20} = \frac{X_{\text{э}2021}}{C_{20}} = \frac{1,23}{6,828} = 0,0117$$

$$C_{21} = \frac{X_{\text{э}2021}}{C_{21}} = \frac{1,23}{0,987} = 1,2$$

Оскільки джерело системи є джерелом нескінченної потужності, то ЕРС системи $E_* = U_* = 1 = \text{const}$.

ЕРС навантажень у надперехідному режимі: $E_*'' = 0,85$

Еквівалентна ЕРС системи:

$$E_{\text{э}} = \frac{\frac{E_H}{X_{22}} + \frac{E_1}{X_6} + \frac{E_2}{X_{24}} + \frac{E_3}{X_{25}}}{\frac{1}{X_{22}} + \frac{1}{X_6} + \frac{1}{X_{24}} + \frac{1}{X_{25}}} = \frac{2,27 + 0,19 + 0,008 + 0,708}{2,27 + 0,22 + 0,009 + 0,83} = 0,95$$

Еквівалентний опір системи:

$$X_{\vartheta} = \frac{X_{22} \cdot X_6 \cdot X_{24} \cdot X_{25}}{X_{22} \cdot X_6 \cdot X_{24} + X_6 \cdot X_{24} \cdot X_{25} + X_{22} \cdot X_6 \cdot X_{25} + X_{22} \cdot X_{24} \cdot X_{25}} =$$

$$= \frac{0,44 \cdot 4,46 \cdot 105,1 \cdot 1,2}{0,44 \cdot 4,46 \cdot 105,1 + 105,1 \cdot 4,46 \cdot 1,2 + 0,44 \cdot 4,46 \cdot 1,2 + 0,44 \cdot 105,1 \cdot 1,2} = 0,3$$

Струм трифазного КЗ у відносних одиницях:

$$I_*'' = \frac{E_{\vartheta}}{X_{\vartheta}} = \frac{0,95}{0,3} = 3,2$$

Струм трифазного КЗ

$$I^{(3)} = I_*'' \cdot I_{\sigma} = 3,2 \cdot 5,7 = 18,05 \text{ кА.}$$

Ударний струм короткого замикання

$$I_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 18,05 = 45,95 \text{ кА.}$$

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

4 РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

За призначенням, залежно від відповідальності й порядку дії, захист трансформаторів й автотрансформаторів підрозділяються на: основний, резервний і захист, що діє на сигнал.

Основні захисти реагують на всі види ушкоджень трансформатора або автотрансформатора й діють на відключення вимикачів з усіх боків без витримки часу.

Резервні захисти від замикань на землю виконуються у вигляді МСЗ нульової послідовності.

Вихідними даними для розрахунку є:

Тип трансформатора ТДН-40000/115/38,5

$$S_{T.HOM} = 40 \text{ МВА}$$

$$U_{T.HOM} = 115/38,5$$

Схема з'єднання: Δ/Y

$$U_{PIH} = 0,16$$

$$U_{K.MIN} = 9,59\%$$

$$U_{K.HOM} = 10,5\%$$

$$U_{R.MAX} = 11,46\%$$

4.1 Розрахунок струмів КЗ

Мінімальна та максимальна напруга трансформатора

$$U_{T.MIN} = U_{T.HOMBH} \cdot (1 - \Delta U_{PIH}) = 115(1 - 0,16) = 96,6 \text{ (кВ)}$$

$$U_{T.MAX} = U_{T.HOMBH} \cdot (1 + \Delta U_{PIH}) = 115(1 + 0,16) = 133,4 \text{ (кВ)}$$

Мінімальний і максимальний опір трансформатора

$$X_{T.MIN} = \frac{U_{K.MIN}}{100} \cdot \frac{U_{T.MIN}^2}{S_{T.HOM}} = \frac{9,59}{100} \cdot \frac{96,6^2}{40} = 22,37 \text{ (Ом)}$$

$$X_{T.MAX} = \frac{U_{K.MAX}}{100} \cdot \frac{U_{T.MAX}^2}{S_{T.HOM}} = \frac{11,46}{100} \cdot \frac{133,4^2}{40} = 60 \text{ (Ом)}$$

Мінімальні й максимальні коефіцієнти трансформації трансформатора

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

$$K_{T.MAX} = \frac{U_{T.MAX,BH}}{U_{T.HH}} = \frac{133,4}{38,5} = 3,46;$$

Мінімальні й максимальні струми КЗ на сторонах трансформатора

$$I_{K.}^{(3) MAX.BH} = \frac{U_{HOM.CETH}}{\sqrt{3}(X_C + X_{T.MAX})} = \frac{115000}{\sqrt{3}(0 + 60)} = 1106(A)$$

X_C приймаємо = 0;

$$I_{K.}^{(3) MAX.HH} = I_{K.MAX.BH} \cdot K_{T.MIN,BH} = 1106 \cdot 2,5 = 2766(A)$$

$$I_{K.}^{(3) MIN.BH} = \frac{U_{MAX.BH}}{\sqrt{3}(X_{C,MAX} + X_{T.MIN})} = \frac{133400}{\sqrt{3} \cdot 22,37} = 3443(A)$$

$$I_{K.}^{(3) MIN.HH} = I_{K.}^{(3) MIN.BH} \cdot K_{T.MAX} = 3443 \cdot 3,46 = 11913(A)$$

Опір загального навантаження, наведеного до сторони ВН

$$X'_{HAГP.} = \frac{X_{HAГP.} \cdot U_{T.MIN}^2}{S_{T.HOM}} = \frac{0,35 \cdot 96,6^2}{40} = 81,65(OM)$$

Максимальний струм самозапуску на сторонах трансформатора

$$I_{CЗП.MAX.BH} = \frac{U_{HOM}}{\sqrt{3} \cdot (X_{C,MAX} + X_{T.MIN} + X'_{HAГP.})} = \frac{115000}{\sqrt{3}(22,37 + 81,65)} = 638,2(A)$$

$$I_{CЗП.MAX.HH} = I_{CЗП.MAX.BH} \cdot K_T = 638,2 \cdot 2,5 = 1595,5(A)$$

Робочий струм на стороні ВН

$$I_{PAБ.MAX.BH} = \frac{S_{T.HOM}}{\sqrt{3} \cdot U_{T.MIN}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 96,6} = 239(A)$$

Коефіцієнт самозапуску

$$K_{CЗП} = \frac{I_{CЗП.MAX.BH}}{I_{PAБ.MAX.BH}} = \frac{638,2}{239} = 2,67(A)$$

4.2 Розрахунок МСЗ лінії, що відходить

Максимальний струмовий захист (МСЗ) є резервним захистом трансформатора, і служить для відключення трансформатора при його

									Лист
									47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

ушкодженні й відмові основних захистів, а також при КЗ на збірних шинах або на приєднаннях, що відходять від них, якщо РЗ або вимикачі цих елементів відмовили в роботі. За умовами селективності МСЗ повинен мати витримку часу й, отже, не може бути швидкодіючим. Із цієї причини в якості основного РЗ від ушкоджень у трансформаторах він використовується лише на малопотужних трансформаторах.

Максимальний струм навантаження

$$I_{НАГР.МАХ.НН} = 600(A)$$

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

Струм спрацьовування реле

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

Мінімальний струм КЗ, що протікає по обмотці реле

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

Коефіцієнт чутливості захисту

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{P.MIN}}{I_{СР}} = \frac{34,5}{10} = 3,4 > 1,5$$

Витримка часу $t_{сз} = 0,5с$

Використаємо реле типу РТ-40/5. Даний тип реле використовується як захист від кидка струму намагнічування. Для налаштування від кидка струму намагнічування, як показали випробування на ряді трансформаторів, можна також виконати уставку, рівну $2,5I_{НОМ.}$, не виконуючи додаткової затримки захисту, крім використання звичайного вихідного реле.

На сьогодні немає достатнього досвіду застосування логічних диф. захистів трансформатора. Тому, доцільно при виконанні такого захисту робити досвідчену перевірку налаштування захисту від кидка струму намагнічування.

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

4.3 Захист трансформатора від КЗ

4.3.1 Захист трансформатора від зовнішніх КЗ

Максимальний струмовий захист (МСЗ) установлюємо на стороні ВН із двома витримками часу.

Струм спрацьовування реле:

- за умови неспрацьовування від струму самозапуску

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

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

- за умови узгодження із МСЗ лінії

$$I_{CЗ} = K_{НС} \cdot I_{УЗ.ЛИН};$$

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

Приймаємо $I_{CЗ} = 1307,3A$

Струм спрацьовування реле

$$I_{CР} = \frac{I_{CЗ} \cdot K_{CХ}^{(3)}}{n_T} = \frac{1307,3}{80} = 16,3(A);$$

Чутливість МСЗ при двофазному КЗ за трансформатором

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

Час спрацьовування першого й другого щабля МСЗ

$$t_{МСЗ1} = t_{МСЗ.ЛИН} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1(c)$$

$$t_{МСЗ2} = t_{МСЗ1} + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5(c)$$

4.3.2 Захист від міжфазних КЗ

Використаємо поздовжній диференціальний струмовий захист із реле типу ДЗТ-11. Диференціальний захист, виконаний на принципі порівняння струмів на вході й виходах, застосовується в якості основного швидкодіючого захисту трансформаторів й автотрансформаторів. Захист абсолютно селективний, реагує

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

на uszkodження в обмотках, на виводах й у сполуках з вимикачами, і діє на відключення трансформатора з усіх боків без витримки часу. Зона дії диференціального захисту трансформатора (ДЗТ) обмежується місцем установки трансформаторів струму, і містить у собі ошиновку СН, НН і приєднання ТСН, включеного на шинний міст НН.

Реле серії ДЗТ-11 характеризується наявністю однієї гальмової обмотки в ННТ реле, що дає можливість забезпечити гальмування від струму у ввідному комплекті (або від сумарного струму в одній групі комплектів) трансформаторів струму. Характеристика спрацьовування реле при наявності гальмування $F_{РАБ} = f(F_{ТОР})$ неоднозначна й залежить від кута між робочим $I_{раб.р}$ і гальмовим $I_{мор}$ струмами в НТТ реле. Використання гальмової обмотки дає можливість не відбудовувати мінімальний струм спрацьовування захисту від струмів небалансу при таких зовнішніх uszkodженнях, коли є гальмування. Це спричиняється більшу чутливість захисту.

Визначимо середні значення первинних і вторинних струмів всіх сторін трансформатора, що захищаємо.

Первинний струм на сторонах трансформатора відповідає його номінальній потужності

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

Числове значення для сторони 121кв:

$$I_{НОМ} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 190,85 (А);$$

Числове значення для сторони 38,5кв:

$$I_{НОМ} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 560 (А).$$

Схеми з'єднання трансформатора струму:

Для 115кв- Δ.

Для 38,5кв-У

Коефіцієнт трансформації трансформаторів струму:

Для 115кв:

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$n_1 = 400/5;$$

Для 38,5кВ:

$$n_1 = 15000/5;$$

Вторинний струм у плечах захисту, що відповідає номінальній потужності трансформатора:

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

Числове значення для сторони 110 кВ:

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

Для сторони 38,5 кВ:

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

Визначимо первинний струм небалансу без урахування $I_{НБ.З}$

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

Струм спрацьовування захисту

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

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

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{P. MIN}}{I_{СР}} = \frac{10,3}{2,1} = 4,9 \approx 5.$$

4.4 Визначення числа витків обмотки реле ДЗТ-11

Струм спрацьовування реле в основній зоні

$$I_{СР.ОСН} = \frac{I_{С.З.ОСН} \cdot K_{СХ.ВН}}{n_T} = \frac{286,27 \cdot \sqrt{3}}{400/5} = 6,19(A);$$

Число витків обмотки реле для основної сторони основної зони:

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Розрахункове 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

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

Струм спрацьовування захисту в основній зоні

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

Струм спрацьовування захисту в неосновній зоні

$$I_{СЗ.НЕОСН} = I_{СЗ.ОСН} \cdot K_{Т.МІН} = 500 \cdot 2,5 = 1250(A);$$

Число витків обмотки реле для неосновної сторони

Розрахункове значення

$$W_{НЕОСН.РАСЧ} = \frac{I_{2ОСН} \cdot W_{ОСН}}{I_{2НЕОСН}} = \frac{2,5 \cdot 16}{1,86} = 21,5(\text{вит});$$

Прийняте значення

$$W_{НЕОСН} = 22;$$

$$W_{НЕОСН.РАСЧЕТ}^1 = \left(\frac{W_{НЕОСН.РАСЧ} - W_{НЕОСН}}{W_{НЕОСН.РАСЧ}} \right) \cdot I_{К}^{(3) \text{ MAX.ВН}} = \left(\frac{21,5 - 22}{21,5} \right) \cdot 1106 = -25,7;$$

Первинний струм небалансу з урахуванням $I_{НБ.З}$.

$$I'_{НБ} = I_{НБ} + I_{НБ.З} = 176,96 - 25,7 = 151,26(A);$$

Прийняті числа витків

$$W_{ОСН} = W_{РАСЧ} 1;$$

$$W_{ОСН} = 16.$$

$$W_{НЕОСН} = W_{РАСЧ} 2;$$

$$W_{НЕОСН} = 22.$$

Робимо перевірку

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

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

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

Коефіцієнт чутливості захисту при КЗ за трансформатором

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

Кількість витків обмотки гальмування

$$W_{\text{TOP.PACЧ}} = \frac{K_H \cdot I'_{\text{HE}} \cdot W_{\text{HEOCH}} \cdot K_{\text{T.MIN}}}{I_{\text{K.}}^{(3)\text{MAX}} \cdot \text{tg}\alpha} = \frac{1,5 \cdot 151,26 \cdot 22 \cdot 2,5}{1595,5 \cdot 0,87} = 8,99(\text{вит});$$

Приймаємо число витків рівне 9: $W_{\text{II}} = 9$

4.5 Захист від ушкоджень усередині трансформатора

Як захист від ушкодження усередині трансформатора використаємо газовий захист із поплавковим реле типу РЗТ-80 і струминним реле РЗТ-24.

Газовий захист (ГЗ) – це захист від внутрішніх ушкоджень трансформатора, що супроводжуються виділенням газу, зниженням рівня масла в газовому реле, або інтенсивним рухом потоку масла з бака трансформатора в розширник.

Газовий захист дуже чутливий. При серйозних ушкодженнях трансформатора газовий захист діє миттєво: 0,1...0,2 с (при швидкості потоку масла не менше ніж на 25% вище установки). Завдяки цим перевагам газовий захист (реле РЗТ-80) обов'язково встановлюється на всіх трансформаторах потужністю 6,3 МВА й більше. На трансформаторах із РПН додатково передбачається окремий газовий захист пристрою РПН (реле РЗТ-24)

У комплекті газового реле РЗТ-80 є три різних пластини, кожна з яких відкалібрована на відповідну швидкість потоку масла (установку): 0,6; 0,9; 1,2 м/с. Установка 0,5 м/с рекомендується для трансформаторів потужністю до 40 МВА (система охолодження М і Д). Установка 1,2 м/с – для трансформаторів будь-якої потужності (Ц і Д).

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

5. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ЗАСТОСУВАННЯ, МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ НЕЛІНІЙНИХ ОБМЕЖУВАЧІВ ПЕРЕНАПРУГИ

Для захисту електроустаткування електроустановок напругою 6-750 кВ змінного струму промислової частоти 50 Гц від грозових та комутаційних перенапруг повинні застосовуватись обмежувачі перенапруги, які порівняно з вентильними розрядниками через відсутність іскрових проміжків і високу нелінійність вольтамперної характеристики їх елементів мають ряд переваг, а саме:

- глибокий рівень обмеження всіх видів перенапруг;
- здібність до розсіювання великих енергій;
- стабільність характеристик і стійкість до старіння;
- відсутність супроводжуючого струму після загасання хвилі перенапруги;
- простота конструкції і висока надійність в експлуатації;
- стійкість до зовнішніх забруднень ізоляційного корпусу;
- здатність обмежувати внутрішні перенапруги;
- при використанні полімерного корпусу висока вибухобезпечність;
- малі габарити та вага.

Обмежувачі перенапруги не повинні застосовуватись для обмеження стаціонарних та квазістаціонарних резонансних перенапруг.

У випадках, коли потрібний клас пропускної здатності не може бути забезпечено застосуванням одного ОПН, дозволено використовувати паралельне встановлення двох та більше ОПН. Характеристики ОПН, призначених для паралельної роботи в електромережі, забезпечуються підприємствами-виробниками на підставі опитувальних листків підприємств на постачання цих виробів.

У ВРУ або ЗРУ ОПН можуть застосовуватись на висоті до 1000 м над рівнем моря. Кліматичне виконання ОПН має відповідати вимогам ГОСТ 15150-69. ОПН, які застосовуються у ВРУ, повинні вибиратися відповідно до ступеня забруднення

					БР 6.141.798 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

повітря. У разі необхідності експлуатації обмежувачів на висоті більше 1000 м над рівнем моря повинні застосовуватись спеціальні ОПН.

ОПН мають застосовуватись відповідно до найбільшої допустимої робочої напруги, номінального розрядного струму, класу пропускної здатності, питомої енергоємності, типу виконання ізоляції електрообладнання, яке захищається, та місця встановлення.

Відповідно до положень СОУ-Н ЕЕ 40.12-001100227-47:2011 та СОУ-Н МЕВ 40.1-21677681-67:2012 найбільші робочі та залишкові напруги ОПН повинні відповідати найбільшим робочим напругам мережі та рівням електричної стійкості ізоляції електроустаткування.

При будівництві та реконструкції електроустановок напругою 35-750 кВ для їх захисту від перенапруг повинні застосовуватись тільки ОПН. Заміна ВР на ОПН повинна здійснюватись згідно з проектами. При заміні розрядників типів РВО, РВП, РВС необхідно застосовувати ОПН 1 класу пропускної здатності, а при заміні розрядників типу РВМ необхідно застосовувати ОПН 2 класу пропускної здатності.

У разі нового будівництва або реконструкції ВРУ або ЗРУ кількість та місця встановлення ОПН повинні бути визначені на підставі аналізу величин перенапруг, поява яких можлива на підстанції.

Основні характеристики ОПН при їх виборі для застосування у ВРУ та ЗРУ повинні бути визначені за каталогами підприємств-виробників.

Для забезпечення надійного захисту електроустаткування електроустановок напругою 6-750 кВ від грозових та комутаційних перенапруг ОПН повинні застосовуватись при захисті:

- ізоляції обмоток силових трансформаторів (АТ);
- шунтуючих реакторів;
- ізоляції трансформаторів напруги;
- місць переходу ПЛ в КЛ і кабельних вставках;
- нейтралей трансформаторів, якщо вони можуть працювати не заземленими;

					<i>БР 6.141.798 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

- схем грозозахисту машин, що обертаються;
- пунктів секціонування;
- пунктів комерційного обліку електроенергії 6-20 кВ.

Для захисту захисного покриття кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену повинні застосовуватись ОПН у випадках, зазначених у чинних правилах улаштування електроустановок.

Для узагальнення та аналізу досвіду експлуатації ОПН у коло їх заземлення можуть встановлюватись реєстратори спрацьовувань при застосуванні ОПН в електромережах напругою:

- 110 кВ і вище;
- 6-24 кВ, які забезпечують живлення обертових машин і електроприймачів першої та особливо важливої категорій за надійністю електропостачання.

Обмежувачі перенапруг повинні застосовуватись одночасно у всіх трьох фазах приєднання до шин РУ. Застосування ОПН та ВР у різних фазах одного приєднання та в одному трифазному комплекті не допускається. Сумісна робота ОПН і ВР на однойменній фазі можлива за умови, коли ВР по ходу хвилі, яка набігає з лінії, встановлено раніше, ніж ОПН.

При виборі місця встановлення ОПН необхідно враховувати наявність електроустаткування та пристроїв, які в робочих умовах виділяють тепло і температура поблизу яких може відрізнятись від температури повітря.

Якщо температура повітря, у тому числі з урахуванням інших джерел тепла, перевищує максимальне значення температури експлуатації ОПН, зазначеної підприємствами-виробниками, його застосування забороняється.

Для забезпечення надійного захисту в колі між ОПН і апаратом, що захищається, встановлювати комутаційні апарати (вимикачі, роз'єднувачі тощо) не дозволяється.

Зміни в схемі встановлення багатоелементних ОПН, що відмінні від прийнятої згідно з інструкціями підприємств-виробників, необхідно погоджувати з цими підприємствами.

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Перед монтажем ОПН повинен проводитися їх огляд, який включає:

- перевірку комплектності обмежувача перенапруги;
- контроль за відсутністю видимих пошкоджень покришок елементів ОПН, екранів, виводів, приладів для виміру струму провідності;
- очищення ізоляції від пилу і бруду;
- перевірку і порівняння маркування на виробі з параметрами, вказаними в паспорті, технічному описі або інструкції з експлуатації.

Запилені поверхні ізоляції ОПН з полімерною ізоляцією після транспортування і зберігання повинні очищатись пиლოსосом або сухими ганчірками, що не залишають волокон. У разі забруднення поверхні ізоляції її промивають мильним розчином, а місця сильних забруднень - тампоном, змоченим у розчині синтетичного мийного засобу. Заборонено застосування масел, бензину, бензолу і металевих щіток. Після очищення поверхню ізоляції ОПН необхідно промити струменем води.

До монтажу допускаються ОПН, що пройшли огляд, випробування та мають відповідні супровідні документи з даними приймально-здавальних випробувань підприємств-виробників для кожного ОПН.

Місце встановлення ОПН у РУ повинно обиратися, виходячи з найбільших припустимих відстаней до електрообладнання, що захищається, з урахуванням можливості зручного приєднання та безпечного обслуговування. Відстані від ОПН мають обиратися з дотриманням вимог чинних правил улаштування електроустановок.

При монтажі та експлуатації ОПН персонал повинен дотримуватися вимог Правил улаштування електроустановок, Правил технічної експлуатації електричних станцій та мереж, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів, Правил безпечної експлуатації електроустановок, Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, інструкцій підприємств-виробників та цієї Інструкції.

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

Усі роботи зі встановлення ОПН мають проводитися після відключення і заземлення електроустановок.

Установка ОПН опорного і підвісного виконання в електроустановках повинна здійснюватися відповідно до проекту, розробленого та затвердженого в установленому порядку.

ОПН опорного виконання встановлюється вертикально на стояки. Відхилення від вертикального положення регламентується вимогами підприємств-виробників.

Відстані між фазами, на яких встановлюються ОПН, або від ОПН до заземлених або таких, що знаходяться під напругою інших елементів підстанцій, повинні бути не менше значень, визначених чинними правилами улаштування електроустановок.

Під час монтажу на підстанції дозволяється тимчасово класти елементи ОПН на горизонтальну, чисту та рівну поверхню, заздалегідь підклавши під фланці дерев'яні бруски таким чином, щоб унеможливити навантаження на ребра ізоляції.

Усі металеві контактні елементи ОПН, які використовуються для під'єднання ОПН до електричної мережі, мають бути не схильні до корозії або захищені від неї та не повинні бути пофарбовані.

Момент затягування болтів при приєднанні фазного та заземлювального провідників не повинен перевищувати значення, установленого підприємствами-виробниками. У разі відсутності інформації момент затягування болтів приймається відповідно до ГОСТ 10434-82.

Значення тягіння в горизонтальному напрямку приєданого до ОПН проводу не повинне перевищувати значень, визначених підприємствами-виробниками.

Струмоведачі проводи до ОПН мають кріпитися з розрахованою слабиною, щоб уникнути як небезпечного однобічного тягіння, так і розгойдування проводів.

					<i>БР 6.141.798 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

Додаткові заходи з монтажу засобів захисту від перенапруг мають бути уточнені з урахуванням місцевих умов.

Кабель, що з'єднує ПЛ з обладнанням підстанції, має бути захищений від дії грозових перенапруг, які можуть виникати на ПЛ. Рекомендується захист обох кінців кабелю, при цьому ОПН має підключатися між фазним проводом і оболонкою кабелю безпосередньо біля кінцевої муфти.

Для захисту від комутаційних перенапруг кабелів, що не з'єднані з ПЛ, повинні застосовуватись ОПН, які рекомендується встановлювати на збірних шинах, наприклад в шафі трансформатора напруги.

Для підвищення ефективності захисту мереж 6-10 кВ повинні бути забезпечені найменші відстані від ОПН до обладнання, що захищається.

Дозволено підключення ОПН 6-35 кВ до мережі гнучкими або жорсткими мідними, алюмінієвими та сталевими шинами.

При виконанні ошиновки ОПН за схемою "фаза-земля" для мереж 6-35 кВ у ВРУ і ЗРУ рекомендується виконувати жорстке приєднання ОПН до шини заземлення. У ЗРУ для приєднання до шини заземлення дозволено використовувати гнучкі ізольовані провідники відповідно до вимог чинних правил улаштування електроустановок.

З боку струмоведучої шини повинні бути застосовані з'єднувальні шини, довжина яких має бути вибрана так, щоб не допустити зовнішнього підігрівання ОПН з боку інших струмоведучих шин, вище граничнодопустимої температури. Наприклад, застосування сталеві шини 20 x 1 мм забезпечує градієнт зниження температури до 70° С на 50 мм довжини шини.

Дозволено також підключення ОПН ізольованими та неізольованими провідниками. Їх довжину рекомендується вибирати в діапазоні від 100 мм до 400 мм, урахувавши умови роботи ОПН, а також зручність їх підключення і відключення при випробуваннях.

					БР 6.141.798 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

Робота з підготовки та монтажу ОПН повинна здійснюватись під керівництвом висококваліфікованої особи, яка пройшла навчання з їх монтажу та експлуатації в установленому порядку.

ОПН встановлюються у ВРУ на стояках або фундаментах заввишки не менше 300 мм від рівня планування підстанції з урахуванням вимог електробезпеки та захисту ОПН від зливних вод і висоти снігового покриву.

ОПН, у яких нижній край ізоляційного кожуха розташований над рівнем планування підстанції на висоті не менше 2500 мм, дозволяється встановлювати без постійних огорож.

При встановленні на ПЛ ОПН кріпляться хомутами до спеціальної траверси або встановлюються на виносних кронштейнах-траверсах, які прикріплюються до опор, або на спеціальних площадках, змонтованих усередині опор, або на обгороджених стояках, розташованих безпосередньо біля опор.

ОПН має бути приєднаним до ошиновки електроустановки залежно від місця його встановлення глухими відгалуженнями без роз'єднувачів.

У місцях приєднання КРУЕ до збірних шин, до яких підключені ПЛ, мають бути встановлені ОПН.

На ВРУ напругою 330 кВ та вище при виконанні аналізу надійності захисту підстанції мають бути проведені розрахунки можливих величин комутаційних перенапруг.

На вхідних порталах ВРУ 330 кВ та вище мають бути встановлені ОПН, які забезпечать каскадну схему захисту обладнання підстанції. Каскадною схемою грозозахисту вважається схема, до якої входять як мінімум два ОПН. Перший встановлюється на вхідному порталі підстанції, а другий безпосередньо біля обладнання, що захищається.

Приєднання ОПН до заземлювача підстанції має бути виконано найкоротшим шляхом. У разі якщо ОПН встановлено для захисту силового трансформатора (АТ) чи ШР, на трансформаторному порталі (порталі ШР) якого встановлено блискавковідвід, ОПН потрібно розміщувати якомога ближче або так, щоб точка

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

приєднання ОПН до заземлювача знаходилася між точками приєднання заземлювальних провідників порталу з блискавковідводом і трансформатора (АТ, ШР).

За наявності в ОПН сопел для скидання тиску при внутрішньому дуговому перекритті ОПН повинні встановлюватися таким чином, щоб їх сопла були на 90° повернені убік від ОПН сусідніх фаз.

При підйомі ОПН або його модулів необхідно користуватися тільки сталевими стропами, які мають гумову оболонку, з дотриманням таких умов:

- підіймати ОПН за ізолятор забороняється;
- не знімати стропи до тих пір, поки обмежувач або його модуль буде остаточно зібраний і надійно закріплений на призначене для нього місце;
- при підйомі та переміщенні потрібно уникати ударів.

Модулі багатомодульних ОПН повинні бути послідовно з'єднані на об'єкті в заданому порядку відповідно до маркування на модулях і доданих інструкцій підприємств-виробників ОПН.

При монтажі реєстраторів спрацьовувань слід керуватися технічною документацією підприємств-виробників цих пристроїв.

Перед приєднанням елементів ОПН, а також виводу ОПН і екрану до фланця верхнього елемента необхідно переконаватися в чистоті його контактної поверхні.

При монтажі ОПН або модулів необхідно дотримуватись таких вимог:

- за наявності ізолювальної основи його потрібно попередньо закріпити до нижнього фланця попереднього модуля, одночасно встановивши вивід заземлення;
- у модулів без ізолювальної основи вивід заземлення кріпити до нижнього фланця. В ряді модифікацій вивід заземлення може кріпитися болтами, за допомогою яких обмежувач кріпиться до опори;
- якщо в конструкцію ОПН входять зовнішні екрани, то їх необхідно кріпити до фланців відповідних модулів;

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

- підняти нижній модуль на підготовлену для нього опору, встановити і перевірити вертикальність установки;
- з'єднати заземлювальний вивід ОПН з контуром заземлення опори, на яку він установлений. Заземлення виконати сталевією шиною перетином не менше 4 x 40 мм² або мідним дротом перетином не менше 25 мм² з кабельними наконечниками. Якщо ОПН буде експлуатуватися з ізолювальною основою, заземлювальний провідник повинен мати ізоляцію з електричною міцністю не нижче 3 кВ. За необхідності підключення лічильника імпульсів він повинен бути включений в розрив заземлювального провідника на відстані не більше 3 метрів від обмежувача. Корпус лічильника з'єднати із заземлювальним контуром у точці підключення до нього заземлення обмежувача мідним провідником перетином не менше 4 мм²;
- після встановлення наступного модуля здійснювати їх закріплення;
- до лінійного виводу ОПН приєднати провідник, що йде до лінії, і провідник, який йде до обладнання, що захищається.

ОПН-Л та ОПН-ЛІ повинні застосовуватися:

- на перехідних прольотах через водойми та інші перешкоди на трасі ПЛ;
- на ПЛ з ослабленою ізоляцією;
- на двоколових опорах ПЛ при проходженні траси ПЛ в районах з великою грозовою активністю (понад 100 грозових годин на рік) в одному колі ПЛ;
- на ПЛ, що проходить по району з підвищеною грозовою активністю;
- у районах зі слабо провідним ґрунтом і великим опором заземлення опор;
- на ПЛ без грозозахисних тросів.

Монтаж ОПН у підвісному виконанні проводиться способом нарощування поелементно в горизонтальному положенні безпосередньо на місці монтажу на рівній та чистій поверхні.

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВИСНОВКИ

При виконанні даної роботи був зроблений розрахунок електричної мережі, де проведено вибір напруги, проводів ліній, силових трансформаторів; розраховано параметри схеми заміщення мережі. Також зроблено розрахунок режиму розімкнутої мережі й нормального режиму замкнутої мережі.

У ході розрахунку електричної частини підстанції було обрано:

- число й потужність силових трансформаторів на підстанції;
- вимикачі в розподільних пристроях;
- трансформатори струму й напруги;
- ошиновку РУ.

Розраховуючи електромагнітні перехідні процеси, було визначено надперехідний та ударний струми при симетричному (трифазному) КЗ.

В ході вибору релейного захисту зроблено розрахунок:

- струмів КЗ;
- МСЗ лінії, що відходить від шин НН трансформатора.

Як захист, застосували реле типу РТ-40/5. Для захисту від міжфазних КЗ використали поздовжній диференціальний струмовий захист із реле типу ДЗТ-11. Газовий захист із поплавковим реле РЗТ-80 і РЗТ-24 застосували для захисту від ушкоджень усередині трансформатора.

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Список літератури

1. Електричні системи та мережі : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми: Сумський державний університет, 2018. – 214 с.
2. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „Розрахунок замкнутої електричної мережі” з курсу „Електричні системи та мережі” / укладачі: І. Л. Лебединський, С. М. Лебеда, В. І. Романовський, В. В. Волохін. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 40 с.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: - М.: Энергоатомиздат, 1989 – 592с.
4. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання, станом на 21.08.2017).
5. Правила безпечної експлуатації електроустановок: третє видання. 2013. – 152 с.
6. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.– 3- изд. - М.:Энергоатомиздат, 1987- 648 с.
7. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. -М.: Энергоатомиздат, 1986 - 640 с.
8. Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей / Сост. Ф.Д. Кузнецов, А.К. Белотелов; Под ред. Б.А. Алексева. - Ч.2: Реле дифференциальных, направленных и фильтровых защит. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. - 88 с.
9. Бороздін І.І. Електропостачання підприємств - Мн., Дизайн ПРО, 2000.- 224 с
10. Коптєв А.А. Електромонтер оперативно-виїзної бригади підстанцій - М., Вища школа, 1988. - 266 с.
11. Куценко Г.Ф. Монтаж, експлуатація та ремонт електроустановок - Мн., Дизайн ПРО, 2003. - 272 с.
12. Інструкція із застосування, монтажу та експлуатації засобів захисту від перенапруг в електроустановках напругою 6-750 кВ (Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 липня 2014 р. за № 842/25619).

					БР 6.141.798 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64