

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.
“ ____ ” _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Тема “Розрахунок режимів роботи електричних мереж та ефективності природної вентиляції приміщення чергового по підстанції.”

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електротехнічні системи електроспоживання

Виконав студент гр. ЕТдн-74п

Мельник Р.А.

Керівник, старший викладач

Єфімов Г.П.

Кваліфікаційна робота

“ ____ ” _____ 2021 г

Голова ДЕК

Горбуль В.Ю.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра
Мельника Руслана Анатолійовича

1. Тема роботи: “ Розрахунок режимів роботи електричних мереж та ефективності природної вентиляції приміщення чергового по підстанції.”

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 нанеобхідно вирішити)

– розрахунок електричної мережі;

– розрахунок електричної частини підстанції;

– розрахунок релейного захисту;

– розрахунок економічної ефективності модернізації устаткування підстанції

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	19.05.-22.05.2021	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	23.05.-26.05.2021	
3	Розрахунок релейного захисту	25.05.-30.05.2021	
4	Розрахунок ефективності природної вентиляції приміщення чергового по підстанції	31.05.-04.06.2021	
5	Оформлення роботи	05.06.-10.06.2021	

Студент гр ЕТдн-74п _____

Мельник Р.А.

Керівник роботи _____

Єфімов Г.П.

РЕФЕРАТ

с.64, Рис. 11, табл. 21, кресл. 2.

Бібліографічний опис: “ Розрахунок режимів роботи електричних мереж та ефективності природної вентиляції приміщення чергового по підстанції.”

[Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність 141 – “Електроенергетика, елек-тротехніка та електромеханіка”; Освітня програма Електротехнічні системи електроспоживання / Мельник Р.А...; керівник Г.П. Єфімов. - Суми: СумДУ, 2021. -64 с.

Ключові слова: електрична мережа, споживач, категорія, потужність, трансформатор, ЛЕП, провід, опір, напруга, схема заміщення, поточкорозпо-діл, 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, потокораспре-деление, 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, cur-rent transformer, voltage transformer, three-phase short circuit, transformer differ-ential current protection, power loss in the network.

Короткий огляд – Розрахунок режимів роботи електричної мережі. Розра-хунок струмів короткого замикання. Розрахунок електричної частини підс-танції. Розрахунок релейного захисту силового трансформатора.

Розрахунок ефективності природної вентиляції приміщення чергового по підстанції.

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	Вихідні дані	7
1.1	Розрахунок електричної мережі	7
2	Розрахунок електричної частини підстанці 110/10 кВ	27
2.1	Вибір потужності силових трансформаторів	27
2.2	Вибір схеми електричних з'єднань підстанції	29
2.3	Вибір трансформаторів власних потреб	20
2.4	Розрахунок струмів короткого замикання	30
2.5	Вибір високовольтних електричних апаратів РП і струмоведучих частин	35
2.6	Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги	38
2.7	Вибір ошиновки розподільчих пристроїв (РП)	41
2.8	Компонування роздільних пристроїв 110 кВ і конструктивна частина	42
2.9	Компонування роздільних пристроїв 6-10 кВ і конструкційна частина	43
3	Розрахунок релейного захисту	44
3.1	Вихідні дані	44
4	Розрахунок економічної ефективності модернізації устаткування підстанції	55
	Висновки	59
	Література	60
	Додатки	62

					БР.5.141.332.ПЗ.ЕТ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Мельник Р.А.			Розрахунок режимів роботи електричних мереж та економічної ефективності заміни масляних вимикачів на вакуумні	Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Єфімов Г.П.						6	64
Реценз.						СумДУер.ЕТдн-74п			
Н. Контр.									
Утверд.		Лебединский И							

Зміст

	Вступ	6
1	Розрахунок параметрів ліній і трансформаторів підстанцій	8
1.1	Вибір напруги ліній	8
1.2	Розрахунок електричної мережі	10
2	Розрахунок електричної частини підстанції 110/10 кВ	21
2.1	Вибір потужності силових трансформаторів	21
2.2	Вибір схеми електричних з'єднань підстанції	23
2.3	Вибір трансформаторів власних потреб	25
2.4	Розрахунок струмів короткого замикання	28
2.5	Вибір високовольтних електричних апаратів РП і струмоведучих частин	30
2.6	Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги	33
2.7	Вибір ошиновки розподільчих пристроїв (РП)	36
2.8	Компонування роздільних пристроїв 110 кВ і конструктивна частина	37
2.9	Компонування роздільних пристроїв 6-10 кВ і конструкційна частина	38
3	Розрахунок релейного захисту ліній та трансформатора	39
3.1	Розрахунок уставок максимального струмового захисту ВЛ 10 кВ	41
3.2	Розраховується струм спрацьовування максимального захисту лінії	42
3.3	Розраховується струм спрацьовування максимального захисту трансформатора	44
4	Аналіз показників економічної ефективності інвестицій в енергетику	49
4.1	Показники та критерії економічної ефективності	50
	Висновки	57
	Література	58
	Додаток А	60
	Додаток Б	61

					БР.5.141.623.ПЗ.ЕТ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Мельник</i>			Розрахунок параметрів обладнання та режимів роботи електричних мереж і аналіз показників економічної ефективності інвестицій в енергетику	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Єфімов Г.П.</i>					5	61
<i>Реценз.</i>						СумДУер.ЕТдн-74п		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		<i>Лебединский И</i>						

Завдання на проект

В процесі виконання роботи необхідно вирішити наступні завдання :

- По заданим навантаженням і довжині ліній вибрати напругу мережі;
- По напругам мережі і навантажень вибрати тип проводів повітряних ліній;
- По напругам мережі і навантажень вибрати трансформатори ;
- 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 про б мотках 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);
- Виконати розрахунок нормального режиму замкненої мережі (всі лінії включні в роботу) для двох випадків: режим максимального навантаження (задані) і режим мінімального навантаження (прийняти рівною 50% від заданої). Визначити напруги в вузлах мережі, втрати напруги і втрати потужності в мережі. Виконати аналіз отриманих результатів .
- 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;
- При необхідності запропонувати способи регулювання напруги в вузлах навантаження.

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

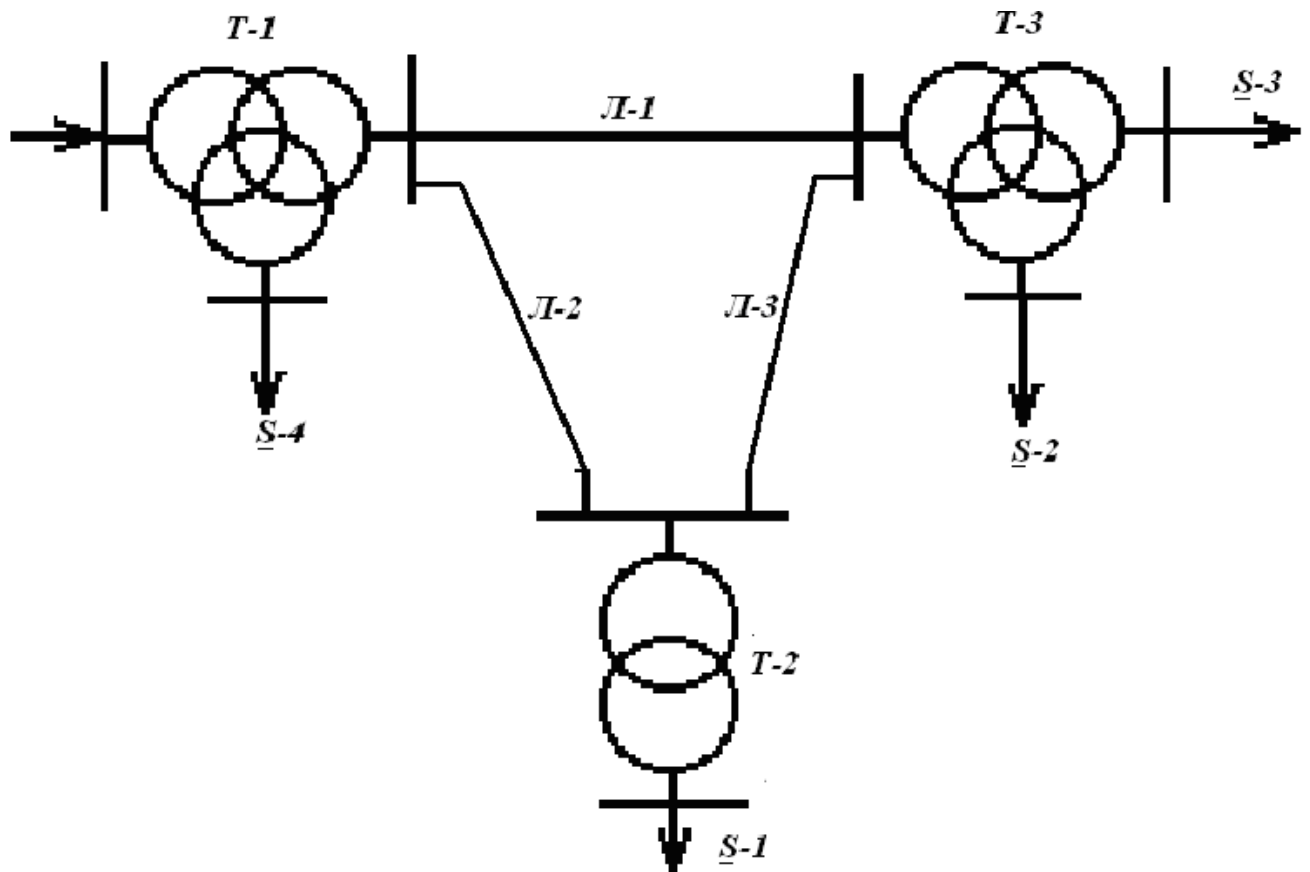


Рисунок 1.1 Однолінійна електрична схема з'єднань електричної мережі

На рисунок 1 представлена схема з'єднань заданої електричної мережі. Дана мережа харчується від джерела напруги.

Схема містить 3 лінії електропередач (ЛЕП):

- лінія Л-1 довжина 100км
- лінія Л-2 довжина 40км
- лінія Л-3 довжина 20км

До обмотці середньої напруги Т-1 підключений через лінію Л-1 трансформатора Т-3. До обмотки нижчої напруги підключена лінія Л-2 навантаження $S_4 (41 + j 31) \text{ MVA}$. До обмотки нижчої напруги трансформатора Т-2 підключений споживач потужністю $S_1 (61 + j 31) \text{ MVA}$.

На обмотці нижчої напруги трансформатора Т-3 підключений споживач потужністю $S_3 (14 + j 11) \text{ MVA}$. А до обмотці середньої напруги підключена лінія Л-3 яка живить Т-2 і споживач потужністю $S_2 (41 + j 22) \text{ MVA}$.

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Розрахунок параметрів ліній і трансформаторів підстанцій

1.1 Вибір напруги ліній

Позначимо вузли в вихідній схемі (Рисунок 1. 2)

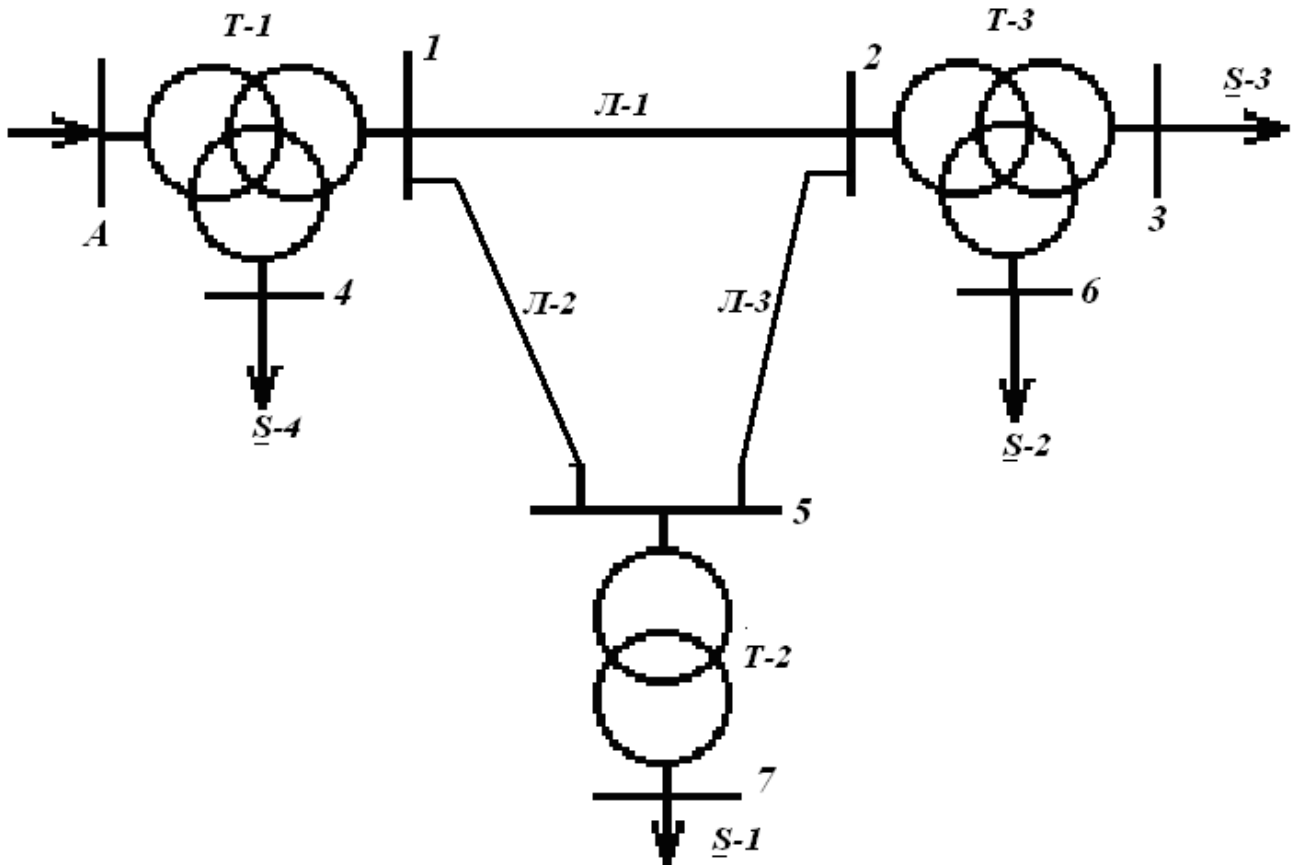


Рисунок 1.2 Однолінійна електрична схема з'єднань електричної мережі

Прийmemo навантаження вузла 6 рівній навантаженню вузла 7, а навантаження вузла 2 рівній навантаженню вузлів 5 і 3. Зобразимо замкнуту мережу, що складається з ліній Л-1, Л-2, Л-3 (рисунок 1. 3).

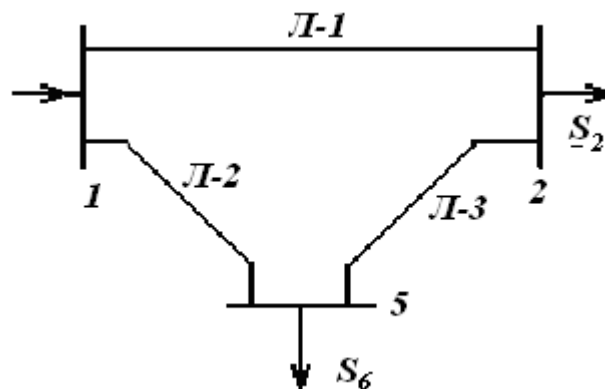


Рисунок 1.3 Замкнута мережа

Розімкніть замкнута мережа, наведена на рисунку 1.3, по вузлу 1 (рисунок 1.4), позначимо потужності на ділянки мережі.

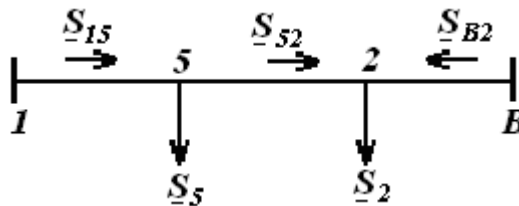


Рисунок 1.4 Розімкнута мережа

Визначаємо потужності на ділянках розімкнутої мережі

$$\underline{S}_{15} = \frac{\underline{S}_5 l_{5B} + \underline{S}_2 l_{2B}}{l_{1B}},$$

$$\underline{S}_{52} = \underline{S}_{15} - \underline{S}_5 = 79,375 + j41,25 - 60 - j30 = 19,375 + j11,25 \text{ MVA}$$

$$\underline{S}_{B2} = \underline{S}_2 - \underline{S}_{52} = 55 + j30 - 19,375 - j11,25 = 35,625 + j18,75 \text{ MVA}.$$

Визначимо напруги на ділянках замкнутої мережі (рисунок 1.3)

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

Таблиця 1.1 напруга на ділянках мережі

Номер ділянки	Л-1	Л-2	Л-3
Довжина ділянки, км	101	41	21
Напруга ділянки, кВ	115,22	80,49	150,66

Приймаємо напругу в замкнутій мережі 110 кВ.

Визначаємо струми проводів ліній

$$I = \frac{S_{\ddot{e}}}{\sqrt{3}U_{\ddot{e}}}$$

Таблиця 1.2 Токи на ділянках мережі

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3
Струм, А	231,5	129,48	517,26

Вибираємо марки проводів
Таблиця 1.3 Марка і параметри проводів

лінія	Л-1	Л-2	Л-3
Марка і переріз проводу	АС-240/32	АС-185/29	АС-185/29
параметри проводів			
R_0 , Ом / км	0,118	0,16	0,16
X_0 , Ом / км	0,435	0,413	0,413
B_0 , См / км, 10^{-6}	2,6	2,75	2,75

1.2 Розрахунок потужностей трансформаторів підстанцій

Підстанція з трансформатором Т-1.

Потужність трансформатора Т-1 визначається сумою потужностей навантажень $\underline{S}_1, \underline{S}_2, \underline{S}_3, \underline{S}_4$.

$$\underline{S}_{T-1} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 + \underline{S}_4 = 157 + j95 \text{ МВА} .$$

Підстанція з трансформатором Т-2

Потужність трансформатора определется по потужності навантаження \underline{S}_1 .

Потужність підстанції з трансформатором Т-3 визначається потужністю навантаження $\underline{S}_2, \underline{S}_3$.

Використовуємо таблицю взятую з довідника з відповідними даними [4]

Таблиця 1.4 - Параметри трансформаторів Т-1 [3]

Тип	$S_{\text{ном}}$ МВА	каталожні дані								
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ			$U_{\text{до}}$, %			$\Delta P_{\text{к}}$	$\Delta P_{\text{х}}$	$I_{\text{х}}$, %
		ВН	СН	НН	В-С	По-Н	З-Н	кВт	кВт	
АТДЦТН- 200000/220/110	200	230	121	38,5	11	32	20	430	125	0,5

Продовження таблиці 1.4

R_T Ом			X_T Ом			ΔQ_x кВАр
ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
0,3	0,3	0,6	30,4	0	54,2	1000

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.5 - Параметри трансформатора Т-2 [5]

Тип	Номинальна потужність, МВА	Поеднання напруг, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, %	Струм ХХ, %	R_t , Ом	X_t , Ом	Q_x , кВАр
		ВН	НН	ХХ	КЗ					
ТРДЦН-80000/110	80	115	10,5 / 10,5	70	310	10,5	0,6	0,71	19,2	480

Таблиця 1.6 - Параметри трансформатора Т-3

Тип	$S_{ном}$ МВА	каталожні дані								
		$U_{ном}$ обмоток, кВ			$U_{до}$, %			ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %
		ВН	СН	НН	В-С	По-Н	З-Н			
ТДТН-63000/110	63	115	38,5	11	10,5	17	6,5	290	56	0,7

Продовження таблиці 1.6

R_t , Ом			X_t , Ом			ΔQ_x , кВАр
ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
0,5	0,5	0,5	22	0	13,6	441

Приймаємо напруга лінії Л-1, Л-2 і Л-3 110 кВ.

1.2 Розрахунок електричної мережі

1.2.1 Вихідні дані

Вихідними даними для розрахунку є принципова схема мережі, параметри ліній і трансформаторів, напруги на ділянках.

Розрахунок параметрів схеми заміщення

1.2.2 Розрахунок параметрів ліній включає в себе розрахунок активного і реактивного опору, а також зарядної потужності.

За каталожними даними [3] відповідно умови знаходимо питомі параметри ліній:

R_o - питомий активний опір лінії, Ом / км

X_o - питомий реактивний опір лінії, Ом / км

b_o - питома ємнісна провідність лінії, См / км

Активний опір лінії знаходиться по формулі [3]:

$$R_L = R_o * l_L$$

Реактивний опір лінії знаходиться по формулі [3]:

$$X_L = X_o * l_L$$

										Арк.
										13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.5.141.275.ПЗ					

Зарядна потужність знаходиться за формулою [3]:

$$Q_L = U_L^2 * b_0 * l_L / 2$$

де

U - напруга лінії, кВ

l - довжина лінії, км

Використовуючи формули знайдемо параметри елементів схеми заміщення для ліній.

Параметри лінії Л-1

$$R_{Л1} = R_0 * l_1 = 0,118 * 101 = 11,6 \text{ Ом} \quad X_{Л1} = 0,435 * 101 = 43,2 \text{ Ом}$$

$$Q_{Л1} = 220^2 * 2,6 * 10^{-6} * 101 / 2 = 6,418 \text{ МВАр.}$$

Параметри лінії Л-2:

$$R_{Л2} = R_0 * l_2 = 0,16 * 41 = 6,38 \text{ Ом.} \quad X_{Л2} = X_0 * l_2 = 0,413 * 41 = 16,49 \text{ Ом.}$$

$$Q_{Л2} = U^2 * b_0 * l_2 / 2 = 110^2 * 2,75 * 10^{-6} * 41 / 2 = 0,658 \text{ МВАр.}$$

Параметри лінії Л-3:

$$R_{Л3} = R_0 * l_3 = 0,16 * 21 = 3,18 \text{ Ом.} \quad X_{Л3} = X_0 * l_3 = 0,413 * 21 = 8,32 \text{ Ом.}$$

$$Q_{Л3} = U^2 * b_0 * l_3 / 2 = 110^2 * 2,75 * 10^{-6} * 21 / 2 = 0,326 \text{ МВАр.}$$

1.2.3 Розрахунок потужності в схемі заміщення мережі

Складемо повну схему заміщення мережі (рисунок 1.5).

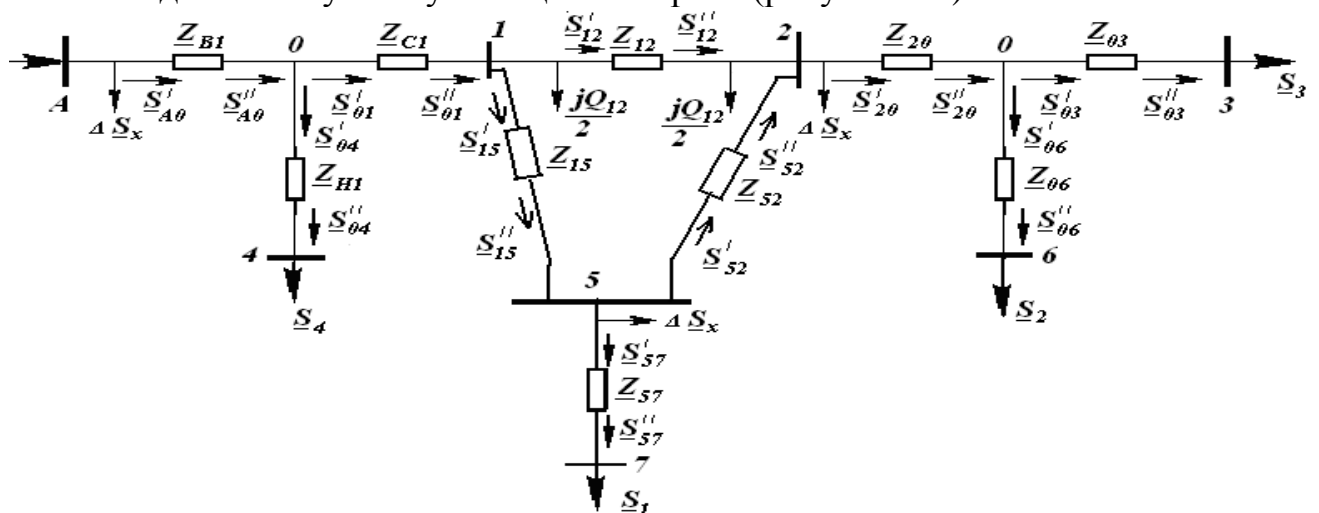


Рисунок 1.5 Схема заміщення мережі

Визначимо розрахункові потужності 5 і 2 вузлів з урахуванням втрат потужності в трансформаторах .

									Арк.
									14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Рисунок 1. 6 Визначення точки поточкорозділу

Приймаємо $\underline{S}'_2 = \underline{S}_{52}$; $\underline{S}''_2 = \underline{S}_{B2}$.

Зобразимо схему заміщення, розімкнувши її в вузлі 2.

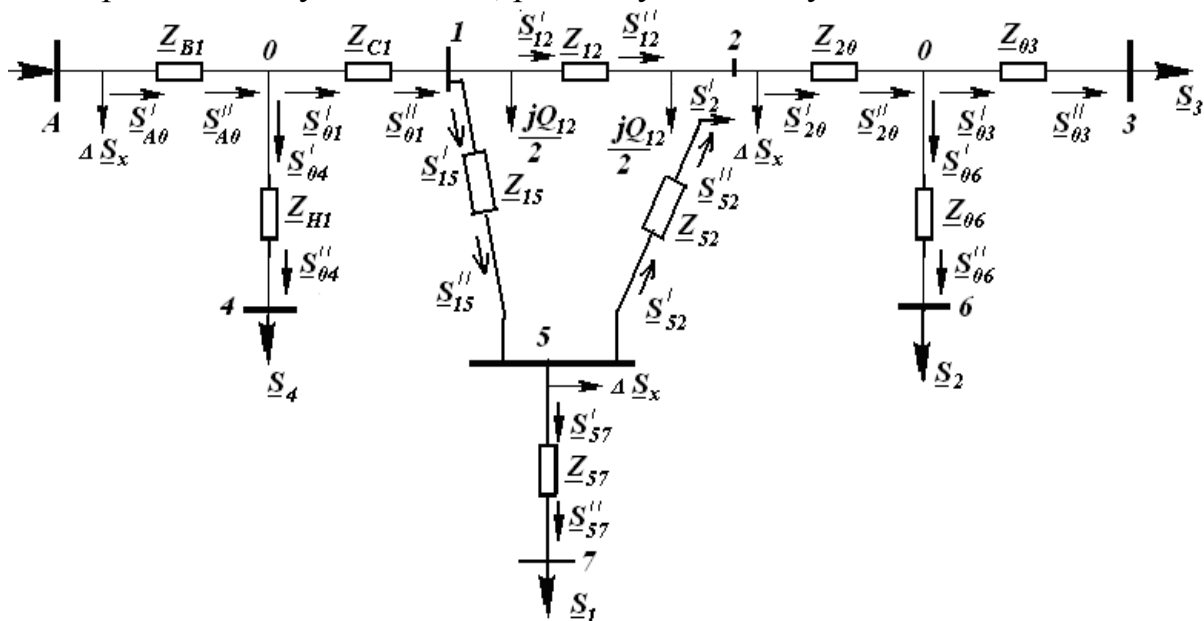


Рисунок 1.7 Разомкнута схема заміщення мережі

1.2 .4 Розрахунок потужностей в схемі в нормальному режимі роботи 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]).

Розраховуємо потужність на початку ділянки 2-5

$$\underline{S}'_{25} = \underline{S}''_{25} + \Delta S_{25} = \underline{S}''_{25} + \frac{(P''_{25})^2 + (Q''_{25})^2}{U_{\hat{i}\hat{i}}^2} \cdot (R_{25} + jX_{25}) = 21,46 + j9,84 \quad \hat{i} \hat{A} \hat{A}$$

Розраховуємо потужність на початку ділянки 1-5

$$\underline{S}''_{15} = \underline{S}'_{52} + \underline{S}_{5P} = 81,72 + j46,98 \quad \text{MVA}$$

$$\underline{S}'_{15} = \underline{S}''_{15} + \Delta S_{15} = \underline{S}''_{15} + \frac{(P''_{15})^2 + (Q''_{15})^2}{U_{\hat{i}\hat{i}}^2} \cdot (R_{15} + jX_{15}) = 82,89 + j50,02 \quad \hat{i} \hat{A} \hat{A}$$

$$\underline{S}''_{12} = \underline{S}_{2P} = 55,31 + j38 \quad \hat{i} \hat{A} \hat{A}$$

$$\underline{S}'_{12} = \underline{S}''_{12} + \Delta S_{12} = \underline{S}''_{12} + \frac{(P''_{12})^2 + (Q''_{12})^2}{U_{\hat{i}\hat{i}}^2} \cdot (R_{12} + jX_{12}) = 59,7 + j54,19 \quad \hat{i} \hat{A} \hat{A}$$

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

$$\underline{S''}_{01} = \underline{S}'_{15} + \underline{S}'_{12} = 82,97 + j50,62 + 59,7 + j54,19 = 142,67 + j104,81 \text{ MBA}$$

$$\underline{S}'_{01} = \underline{S''}_{01} + \Delta \underline{S}_{01} = \underline{S''}_{01} + \frac{(P''_{12})^2 + (Q''_{12})^2}{U_{i\hat{i}}^2} \cdot (R_{C1} + jX_{C1}) = 142,86 + j104,81 \text{ à ÁÀ}$$

$$\underline{S}'_{04} = \underline{S''}_{04} + \Delta \underline{S}_{04} = \underline{S''}_{04} + \frac{(P''_{04})^2 + (Q''_{04})^2}{U_{i\hat{i}}^2} \cdot (R_{04} + jX_{04}) = 40 + j32,8 \text{ à ÁÀ}$$

$$\underline{S''}_{A0} = \underline{S}'_{01} + \underline{S}'_{04} = 182,83 + j137 \text{ MBA}$$

$$\underline{S}'_{A0} = \underline{S''}_{A0} + \Delta \underline{S}_{A0} = \underline{S''}_{A0} + \frac{(P''_{A0})^2 + (Q''_{A0})^2}{U_{i\hat{i}}^2} \cdot (R_{B1} + jX_{B1}) = 183,15 + j169,8 \text{ à ÁÀ}$$

1.2 . 4 . 1 Визначення напружень в вузлах мережі

Задаємося напругою джерела живлення $U_A = 242 \text{ àÁ}$.

Визначимо напруги в вузлах мережі з урахуванням падіння напруги в лінії, нехтуючи поперечною складовою падіння напруги.

$$U_0 = U_A - \frac{P'_{A0} R_{A0} + Q'_{A0} X_{A0}}{U_A}$$

Результати розрахунку напружень в вузлах наведені в таблиці 1.7

Таблиця 1.7

Вузли	U ₀	U ₄	U ₁	U ₂	U ₀₀	U ₃	U ₆	U ₅	U ₇
Напруги , кВ	220,38	220,31	220,12	208,59	194,77	194,77	194,77	213	203,99

1.2 .5 Розрахунок потужностей аварійного режиму роботи мережі (лінія Л-1 - відключена)

Зобразимо схему заміщення мережі для аварійного режиму (рисунок 8).

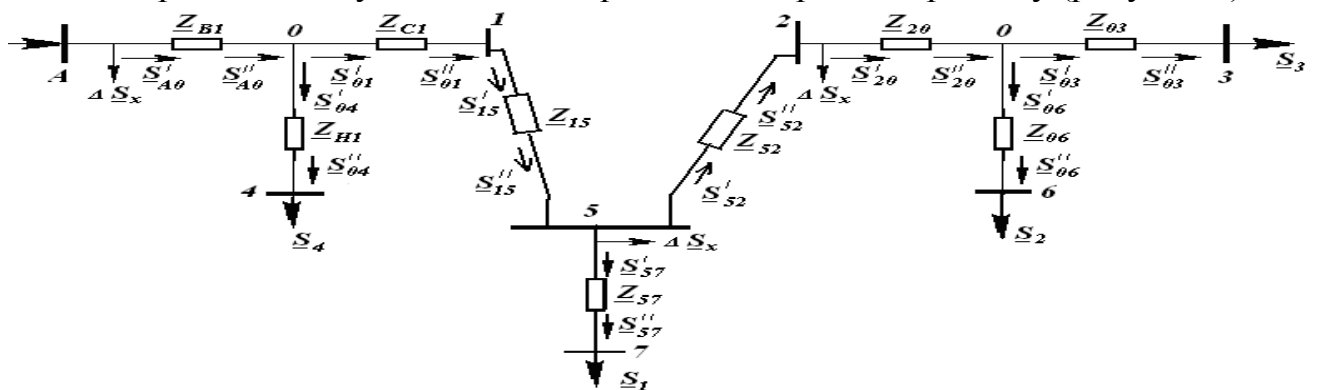


Рисунок 1.8 Аварійній режим робіт и мережі

1.2.5.1 Розраховуємо потужність вузла 2 $\underline{S}_{2P} = 55,31 + j38 \text{ } \hat{A}\hat{A}$.

Приймаємо $\underline{S}_{52}'' = \underline{S}_{2P} = 55,31 + j38 \text{ } \hat{A}\hat{A}$.

Визначаємо потужність на початку ділянки 5-2

$$\underline{S}_{52}' = \underline{S}_{52}'' + \Delta S_{52} = \underline{S}_{52}'' + \frac{(P_{52}'')^2 + (Q_{52}'')^2}{U_{i\hat{i}}^2} \cdot (R_{52} + jX_{52}) = 55,31 + j38 \text{ } \hat{A}\hat{A}.$$

Визначаємо потужність в кінці ділянки 1-5

$$\underline{S}_{15}'' = \underline{S}_{5P} + \underline{S}_{52}' = 115,58 + j75,7 \text{ } \hat{A}\hat{A}$$

Потужність на початку ділянки 1-5

$$\underline{S}_{15}' = \underline{S}_{15}'' + \Delta S_{15} = \underline{S}_{15}'' + \frac{(P_{15}'')^2 + (Q_{15}'')^2}{U_{i\hat{i}}^2} \cdot (R_{15} + jX_{15}) = 118,1 + j81,63 \text{ } \hat{A}\hat{A}$$

Приймаємо $\underline{S}_{15}' = \underline{S}_{01}'' = 118,1 + j81,63 \text{ } \hat{A}\hat{A}$

Потужність на початку ділянки 0-1

$$\underline{S}_{01}' = \underline{S}_{01}'' + \Delta S_{01} = \underline{S}_{12}'' + \frac{(P_{12}'')^2 + (Q_{12}'')^2}{U_{i\hat{i}}^2} \cdot (R_{C1} + jX_{C1}) = 118,22 + j81,63 \text{ } \hat{A}\hat{A}$$

$$\underline{S}_{A0}'' = \underline{S}_{01}' + \underline{S}_{04}' = 158,25 + j114,43 \text{ } MVA$$

$$\underline{S}_{A0}' = \underline{S}_{A0}'' + \Delta S_{A0} = \underline{S}_{A0}'' + \frac{(P_{A0}'')^2 + (Q_{A0}'')^2}{U_{i\hat{i}}^2} \cdot (R_{B1} + jX_{B1}) = 158,49 + j138,4 \text{ } \hat{A}\hat{A}$$

1.2.5.2 Визначення напружень в вузлах мережі

Задаємося напругою джерела живлення $U_A = 242 \text{ } \hat{A}$.

Визначимо напруги в вузлах мережі з урахуванням падіння напруги в лінії, нехтуючи поперечною складовою падіння напруги.

$$U_0 = U_A - \frac{P_{A0}' R_{A0} + Q_{A0}' X_{A0}}{U_A}$$

Результати розрахунку напруг в вузлах приведені в таблиці 1.8

Таблиця 1. 8

Вузли	U ₀	U ₄	U ₁	U ₂	U ₀₀	U ₃	U ₆	U ₅	U ₇
Напруга, кВ	224,35	224,28	224,35	224,35	224,35	224,22	224,22	214,74	205,19

1.2 .6 Розрахунок потужностей в схемі в режимі мінімальних навантажень мережі

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

Розраховуємо потужність на початку ділянки 2-5

$$\underline{S}'_{25} = \underline{S}''_{25} + \Delta S_{25} = \underline{S}''_{25} + \frac{(P''_{25})^2 + (Q''_{25})^2}{U_{\hat{i}\hat{i}}^2} \cdot (R_{25} + jX_{25}) = 10,66 + j4,77 \quad \hat{A}\hat{A}$$

Розраховуємо потужність в кінці ділянки 1-5

$$\underline{S}''_{15} = \underline{S}'_{52} + \underline{S}_{5P} = 21,46 + j9,85 + 60,33 + j37,62 = 40,73 + j21,55 \quad \text{MVA}$$

$$\underline{S}'_{15} = \underline{S}''_{15} + \Delta S_{15} = \underline{S}''_{15} + \frac{(P''_{15})^2 + (Q''_{15})^2}{U_{\hat{i}\hat{i}}^2} \cdot (R_{15} + jX_{15}) = 41 + j22,28 \quad \hat{A}\hat{A}$$

$$\underline{S}''_{12} = \underline{S}_{2P} = 27,62 + j17,32 \quad \hat{A}\hat{A}$$

$$\underline{S}'_{12} = \underline{S}''_{12} + \Delta S_{12} = \underline{S}''_{12} + \frac{(P''_{12})^2 + (Q''_{12})^2}{U_{\hat{i}\hat{i}}^2} \cdot (R_{12} + jX_{12}) = 28,66 + j21,14 \quad \hat{A}\hat{A}$$

$$\underline{S}''_{01} = \underline{S}'_{15} + \underline{S}'_{12} = 82,97 + j50,62 + 59,7 + j54,19 = 69,67 + j43,42 \quad \text{MVA}$$

$$\underline{S}'_{01} = \underline{S}''_{01} + \Delta S_{01} = \underline{S}''_{01} + \frac{(P''_{01})^2 + (Q''_{01})^2}{U_{\hat{i}\hat{i}}^2} \cdot (R_{C1} + jX_{C1}) = 69,7 + j43,42 \quad \hat{A}\hat{A}$$

$$\underline{S}'_{04} = \underline{S}''_{04} + \Delta S_{04} = \underline{S}''_{04} + \frac{(P''_{04})^2 + (Q''_{04})^2}{U_{\hat{i}\hat{i}}^2} \cdot (R_{04} + jX_{04}) = 20 + j15,67 \quad \hat{A}\hat{A}$$

$$\underline{S}''_{A0} = \underline{S}'_{01} + \underline{S}'_{04} = 142,86 + j104,81 + 40 + j37,8 = 89,71 + j59,12 \quad \text{MVA}$$

$$\underline{S}'_{A0} = \underline{S}''_{A0} + \Delta S_{A0} = \underline{S}''_{A0} + \frac{(P''_{A0})^2 + (Q''_{A0})^2}{U_{\hat{i}\hat{i}}^2} \cdot (R_{B1} + jX_{B1}) = 89,79 + j66,37 \quad \hat{A}\hat{A}$$

1.2 .6. 1 Визначення напружень в вузлах мережі

Задаємося напругою джерела живлення $U_A = 242 \hat{A}$.

Визначимо напруги в вузлах мережі з урахуванням падіння напруги в лінії, нехтуючи поперечною складовою падіння напруги.

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$U_0 = U_{\dot{A}} - \frac{P'_{A0} R_{A0} + Q'_{A0} X_{A0}}{U_{\dot{A}}}$$

Результати розрахунку напружень в вузлах наведені в таблиці 9

Таблиця 1. 9

Вузли	U ₀	U ₄	U ₁	U ₂	U ₀₀	U ₃	U ₆	U ₅	U ₇
Напряга , кВ	220,46	233,48	233,48	229,46	224,23	223,93	223,93	230,67	226,25

2. Розрахунок електричної частини підстанції.

2.1. Вибір потужності силових трансформаторів

Для підстанцій були вибрані трансформатори потужності $S = 16$ МВА типу ТМН. Більш точніше вибрані трансформатори, враховуючи графік навантаження рис.1.1.

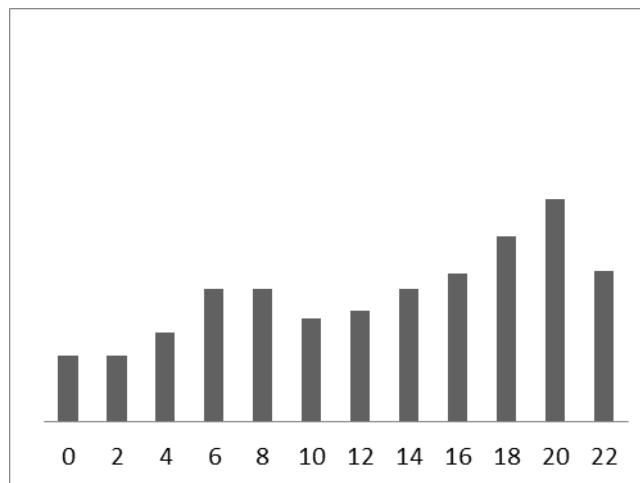


Рис.2.1. Графік навантаження підстанції.

Таблиця 2.1 - Навантаження споживачів на протязі доби

Часи	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$S_{НОМ}, \%$	45	45	60	90	90	70	75	90	100	125	150	102
$S, \text{МВА}$	7,2	7,2	9,6	14,4	14,4	11,2	12,9	14,4	16	19,7	24	16,3

Для перевірки правильності вибору трансформатора реальний графік навантаження перетворюємо в двоступінчатий. Початкове навантаження еквівалентного графіку визначається по формулі:

$$K_1 = \frac{1}{S_{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (1.1),$$

де S_1, S_2, \dots, S_n - власне навантаження першої, другої, n -го ступені графіку навантаження, розташованій нижче лінії номінальної потужності трансформатора, t_1, t_2, \dots, t_n - тривалість ступені, година

$$K_1 = \frac{1}{16} \cdot \sqrt{\frac{4^2 \cdot 2 + 5^2 \cdot 2 + 6^2 \cdot 2 + 9,5^2 \cdot 2 + 8,5^2 \cdot 2 + 7}{2 + 2 + 2 + 4 + 4}} = 0,82$$

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

$$K_2 = \frac{1}{S_H} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (1.2),$$

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

$$K_2 = \frac{1}{16} \cdot \sqrt{\frac{12^2 \cdot 2 + 15^2 \cdot 2 + 10,5^2 \cdot 2}{2 + 2 + 2}} = 1,25$$

Максимальне перевантаження трансформатора складає

$$K_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{S_{НОМ}} \quad (3.3),$$

де S_{MAX} - максимальне навантаження трансформатора по графіку навантаження.

$$K_{MAX} = \frac{15}{10} = 1,5$$

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

Так як $K'_2 = 1,25 < 0,9 \cdot 1,5 = 1,21 < 1,32$

$$K_2 = 1,32$$

По Госту 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду (-1°C) і часу перевантаження $t_{час}$, знаходимо значення перевантаження до-

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

пустиме $t = часв$ для трансформаторів з системою охолодження Д. Порівнюємо значенням K_2 по Госту і реальне. Якщо значення K_2 по Госту менше, ніж реальне це означає, що трансформатор вибраний неправильно і необхідно вибрати трансформатор більшої потужності. Для надійності приймаємо два трансформатори типу ТРДН. У разі виходу з ладу одного трансформатора, інший забезпечить живлення споживача без обмеження.

Оскільки по Госту 14209-85 $K_2 = 1,5 > 1,35$ - трансформатор вибраний правильно.

2.2. Вибір схеми електричних з'єднань підстанції

Основна схема електричних з'єднань повинна задовольняти такі вимоги:

- враховувати перспективи розвитку;
- допускати можливість розширення;
- забезпечувати можливість виконання ремонтних і експлуатаційних робіт на окремих елементах схеми і без відключення приєднань.

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

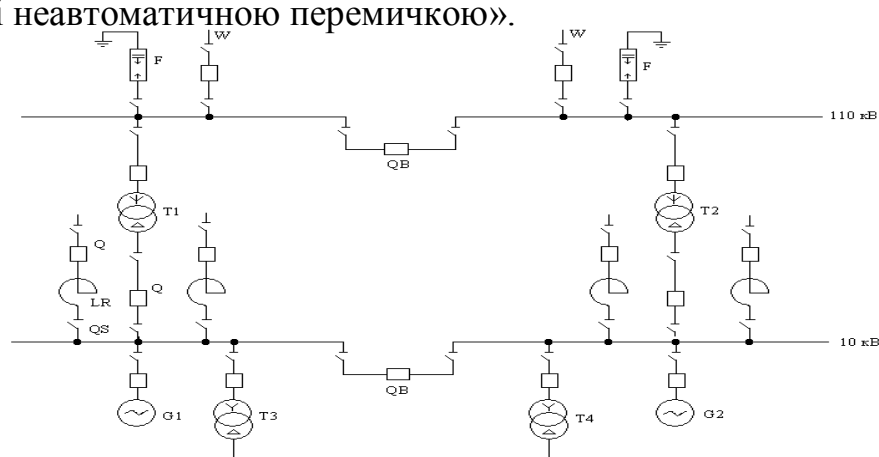


Рисунок 2.1 - Однолінійна схема електростанції середньої потужності з РП 110 і 10 кВ Q- вимикач; QS –раз'єднувач; QB- вимикач секційний;

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

2.3. Вибір трансформаторів власних потреб

Приймачами – власниками власних потреб є:

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

Сумарна розрахункова потужність приймача власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту. Розрахунок потужності приймача власних потреб наведений у таблиці. 1.

Таблиця 2.2- Розрахунок потужності приймача власних потреб

№ п / п	Найменування споживача	Кількість одиниць	Потужність одиниць кВт	Коеф. попиту	cos φ	Споживана Потужність кВт
1	Охолодження трансформаторів	2	3	0,82	0,86	5,42
2	Підігрів висковольтних вимикачів зовнішньої установки	2	1,8	1	1	3,58
3	Підігрів проводів роз'єднувачів зовнішньої установки	6	0,6	1	1	3,59
4	Опалення, освітлення, вентиляція закритого РП	1	5	0,65	0,95	3,39
5	Освітлення ВРП	1	2	0,65	0,93	1,34
Сумарне вивантаження власних потреб кВА						17,78

На підстанції передбачається установка 2 трансформаторів власних потреб. Номінальна потужність вибирається з умов $S_{TCH} \geq S_{CH}$

де S_{TCH} – потужність трансформатора власних потреб, кВА

S_{CH} – потужність споживачів власних потреб, кВА.

Ремонтне навантаження на підстанції можна брати таким, що дорівнює S_{TCH} 20-25 кВА

Під час ввімкнення цього навантаження на один трансформатор допускається його перевантаження на 20%. Потужність трансформатора для

забезпечення живлення навантаження власних потреб з урахуванням ремонтних навантажень

$$S_{\text{ТСН}} = \frac{S_{\text{ТРП}} + S_{\text{СН}}}{1,2} = \frac{17,78 + 20}{1,2} = 31,38 \text{кВА}$$

Беремо стандартну потужність трансформатора $S_{\text{ТСН}}=40$ кВА. Остаточо для живлення споживача власних потреб беремо два трансформатори стандартної потужності, ТМ -40/10

Схема живлення власних потреб рисунок. 3.1.

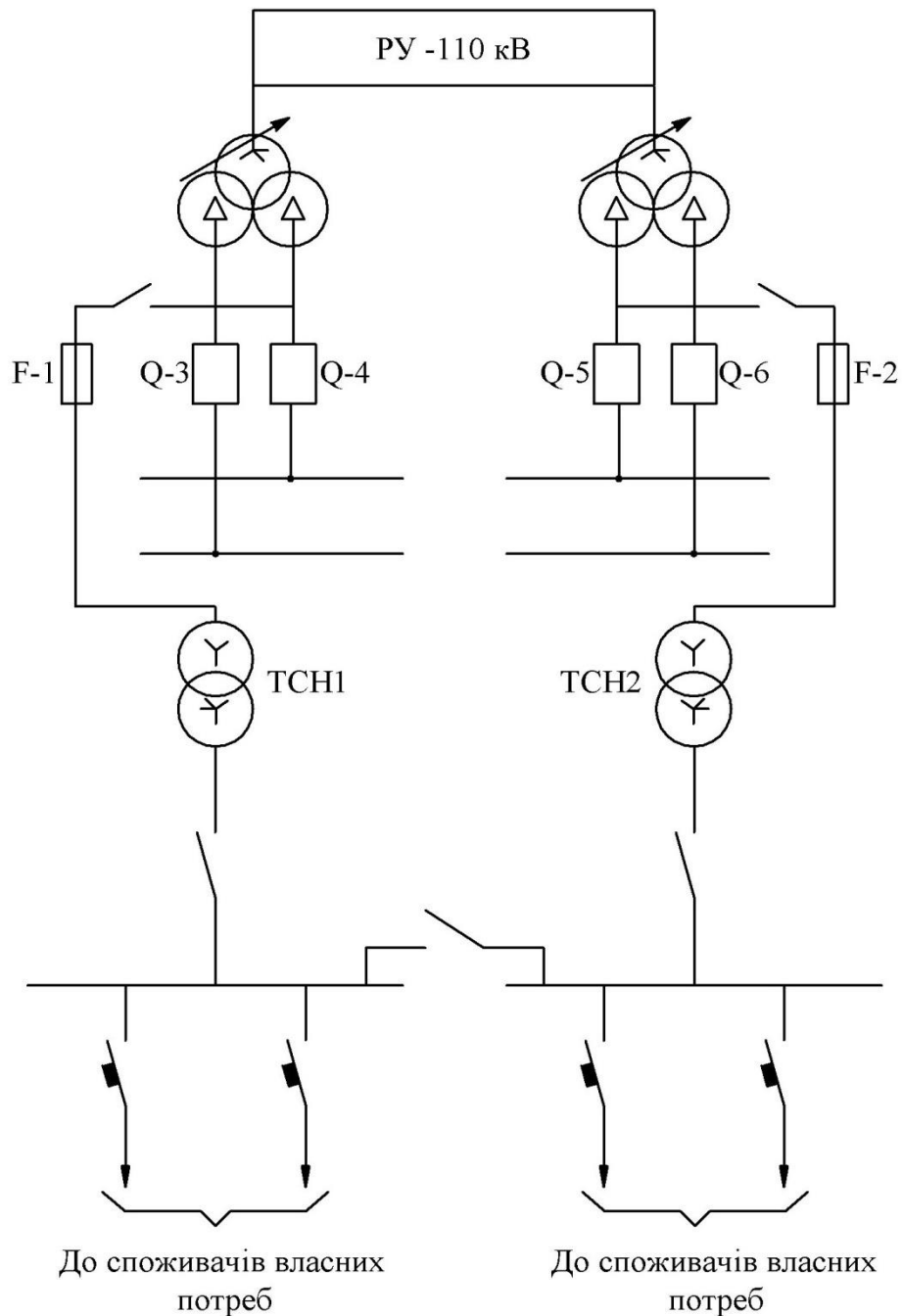


Рисунок. 2.1.Схема живлення власних потреб

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-

БР.5.141.275.ПЗ

Арк.

25

2.4. Розрахунок струмів короткого замикання

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

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центра живлення складає $S_C = 2800$ МВА

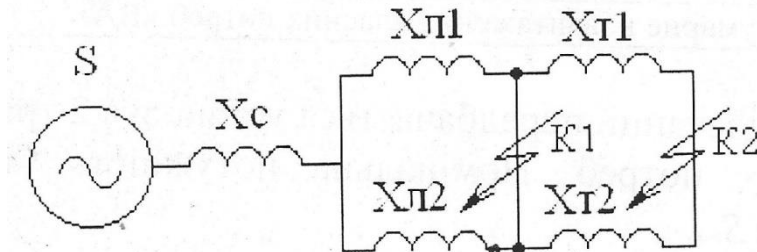


Рисунок. 2.2. – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Опір системи дорівнює

$$X_c = \frac{U_B}{S_C}, \text{ Ом} \quad X_c = \frac{110^2}{2800} = 4,28 \text{ Ом}$$

Опір працюючих ліній $X_L = 3,1$ Ом; трансформаторів $X_T = 141$ Ом
Періодична складова СКЗ у точці K_1

$$I_{K1} = \frac{U_B}{\sqrt{3}(X_C + X_L)} = \frac{110}{1,73(4,28 + 3,1)} = 8,66 \text{ кА}$$

Та сама у точці K_2 приведена до напруги вищої сторони

$$I_{K2}^B = \frac{U_B}{\sqrt{3}(X_C + X_L + X_T)} = \frac{110}{1,73(4,3 + 3,1 + 141)} = 0,428 \text{ кА}$$

Реальний СКЗ у точці K_2

$$I_{K2} = I_{K2}^B \cdot \frac{110}{10} = 0,428 \cdot \frac{110}{10} = 4,56 \text{ кА}$$

Ударний струм

$$\text{У точці } K_1: I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K1} = 1,41 \cdot 1,61 \cdot 8,66 = 19,98 \text{ кА}$$

$$\text{У точці } K_2: I_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K2} = 1,41 \cdot 1,61 \cdot 4,56 = 10,69 \text{ кА}$$

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

$$I_{nt} = I_{K1} \text{ кА для точок } K_1; I_{K1} = 8,66 \text{ кА}$$

$$I_{nt} = I_{K2} \text{ кА для точок } K_2; I_{K2} = 4,56 \text{ кА}$$

									Арк.
									26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-					

А періодична складова ТКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача

$$I_a = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \text{ кА}$$

$$I_{a1} = 1,41 \cdot 8,66 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,025}} = 1,125 \text{ кА}$$

$$I_{a1} = 1,41 \cdot 4,56 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,005}} = 0,85 \text{ кА}$$

Де T_a – постійна часу загасення аперіодичної складової для K_1 ;
 $T_a = 0,025$ с, для K_2 - $T_a = 0,05$ с.

Інтеграл джоуля

для K_1 :
$$W_R = I_{kl}^2 (T + T_a) = I_{kl}^2 (0,06 + 0,025) \text{ кА}^2 \text{ с}$$

для K_2 :
$$W_R = I_{k2}^2 (T + T_a) = I_{k2}^2 (0,1 + 0,05) \text{ кА}^2 \text{ с}$$

для K_1 ;
$$W_R = 8,66^2 (0,06 + 0,025) = 6,58 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

для K_2 ;
$$W_R = 4,56^2 (0,1 + 0,005) = 3,19 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

Таблиця 2.3.- Значення струмів короткого замикання

Струми короткого замикання	СКЗ у початковий момент часу	Ударний СКЗ i_y , кА	СКЗ у момент витрати контактів вимикача, кА	Аперіод складова СКЗ, i_a кА	Інтеграл Джоуля W_k кА ² с
Шини 110 кВ (K_1)			8,66	1,1	6,58
Шини 10 кВ (K_2)	4,56	10,69	4,56	0,85	3,19

2.5. Вибір високовольтних електричних апаратів РП і струмоведучих частин

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

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

Вибору підлягають:

- вимикачі на боці вищої напруги;
- вступні вимикачі на боці 10 кВ
- секційні вимикачі на боці 10 кВ
- вимикачі лінії, що входять, 10 кВ; роз'єднувачі вищої напруги;
- трансформатори типу і напруги 110 кВ і 10 кВ.

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

Максимальний струм на зовнішньому боці

$$I_{\max} = \frac{1,4S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times 110} = \frac{1,4 \times 16000}{1,73 \times 110} = 117,565 \text{ А}$$

Струм у колі ввідних вимикачів на боці 10 кВ

$$I_{10}^{\text{в}} = \frac{1,4S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times 10} = \frac{1,4 \times 16000}{1,73 \times 10} = 1294,249 \text{ А}$$

Струм у колі секційного вимикача

$$I_{10}^{\text{с.в}} = \frac{0,7S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times 10} = \frac{0,7 \times 16000}{1,73 \times 10} = 647,617 \text{ А}$$

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

$$I_{10}^{\max} = \frac{1,4S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times 10 \times 10} = \frac{1,4 \times 16000}{1,73 \times 10 \times 10} = 129,922 \text{ А}$$

Вибір вимикачів наведений у таблиці 3. Каталожні параметри вимикачів узяті з [5]

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	4,56 кА	38 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	10,64 кА	86 кА
$I_{nt} \leq I_{ОткНом}$	4,56 кА	38 кА
$I_{at} \leq I_{а ном}$	0,85 кА	8,2 кА
$B_k \leq I_t^2 t_r$	3,19 кА ² · С	215 кА ² · 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 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	129,922 А	1600 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	4,56 кА	38 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	10,64 кА	86 кА
$I_{nt} \leq I_{ОткНом}$	4,56 кА	38 кА
$I_{at} \leq I_{а ном}$	0,85 кА	8 кА
$B_k \leq I_t^2 t_r$	3,19 кА ² · С	215 кА ² · С

Вибираєм вауумний вимикач ВВ/TEL-10 35/630-У2

У таблиці 2.7 наведений вибір роз'єднувачів на боці , 110 кВ, роз'єднувачі необхідні з одним і двома комплектами ножів, що заземлюють

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	117,565 А	1000 А
$i_{уд} \leq I_{прСКВ}$	19,83 кА	80 кА
$B_k \leq I_t^2 t_r$	6,58 кА ² · С	992 кА ² · С

Рекомендується брати до установки на боці 110 кВ роз'єднувачі типу РНД31-110 УХЛІ і РНД 32-110/1000 УХЛІ.

2.6. Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги

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

У ланцюзі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюється амперметр, вольтметр, варметр, лічильники активної і реактивної енергії, на шинях 110 кВ – вольтметр із перемикачем для виміру трьох міжфазових напруг, на секційному вимикачі 10 кВ – амперметр, на лініях, що відходять, 10 кВ – амперметр, лічильники активної і реактивної енергії. Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму наведений у таблиці 8.

Таблиця 2.8- Вторинне навантаження трансформаторів струму

Прилад	Тип	Клас	Навантаження по фазах		
			А	В	С
Амперметр	Э-335	1	0,5	0,5	0,5
Ваттметр	Д350	1,5	0,5	-	0,5
Варметр	Д345	1,5	0,5	-	0,5
Лічильник активної енергії	СА3	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 секції. Вимикач на НН			0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра на боці ВН			0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі відхідної лінії			0,5	0,5	0,5

Вибір трансформатора струму наведений у таблицях 9-11

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

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	1294,249 А	2000 А
$i_y \leq i_{дин}$	10,64 кА	-
$B_k \leq I_t^2 t_T$	3,19 кА ² · С	74,42 кА ² · С
$Z_H \leq Z_{H ном}$	1,25 кА	4 кА

Перевірка за вторинним навантаженням виконується аналогічно.
Рекомендується вибрати трансформатор ТШЛК-10У3

Таблиця 2.11- Вибір трансформатора струму на лінії що відходить

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	129,922 А	5200 А
$i_y \leq i_{дин}$	10,64 кА	250 кА
$B_k \leq I_t^2 t_T$	3,19 кА ² · С	74,42 кА ² · С
$Z_H \leq Z_{H ном}$	1,25 кА	4 кА

Беремо до установки трансформатор струму ТП1-10-У3

Як трансформатори напруги вибираємо на боці 110 кВ трансформатори НКФ-110-58, на боці 10 кВ ЗНОЛ06-10-У3

7. Вибір ошиновки розподільчих пристроїв (РП)

Ошиновку в РП 110 кВ виконують, як правило, сталевалюмінієвими проводами марки АС, при цьому перетин шин повинен бути не менше 70 мм² (за умовами коронування). Вибір перетину здійснюється за довгостроково припустимому струмові. При максимальному робочому до 200 А вибираємо перетин 70 мм² із припустимим струмом 265 А мінімальний перетин, виходячи з умов термічної стійкості, визначається за формулою

$$F = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{57 \times 10^3}}{91 \times 10^{-3}} = 24,89 \text{ мм}^2$$

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

Перетин 70мм² підходить і за термічною стійкістю, але живильну підстанцію лінії виконують проводом АС-95, тому і для оцинковки підстанції беремо АС-95.

Ошиновка закритих РП 10 кВ виконується твердими шинами. Вибір перетину також виконується 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 шин менше 30 і більше 200 Гц. Частота власних коливань для алюмінієвих шин визначається за формулою

$$F_0 = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{\gamma}{q}},$$

де l -довжина прольоту між ізоляторами $l=1,5\text{м}$;

γ - момент інерції поперечного перерізу шини щодо осі, перпендикулярної до напрямку згинаючої сили, см⁴;

$$q = \frac{\pi}{4} (d^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (30^2 - 25^2) = 2.21$$

$$\gamma = \frac{\pi}{64} (d^2 - d^2) = \frac{\pi}{64} (30^2 - 25^2) = 203$$

$$F_u = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{\gamma}{q}} = \frac{173,2}{1,5^2} \sqrt{\frac{203}{2,15}} = 779 > 200 \text{ Гц}$$

де q -розрахункова механічна напруга у матеріалу шин, $l=1,5\text{м}$;

де $q_{\text{доп}}=75 \text{ МПа}$ – допустима механічна напруга в матеріалі шин для алюмінієвого сплаву ДДЗТГ

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-					

2.8. Компонування роздільних пристроїв 110 кВ і конструктивна частина

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

Спорудження закритих ПС напругою 110 кВ, допускається в таких випадках: розміщення ПС із трансформаторами 16 МВА і вище на службовій території міст, розміщення ПС на території міст, коли це допускається містобудівним міркуванням.

Розміщення ПС із великими сніжними заметами у зонах сильних промислових викидів і в прибережних зонах із сильно засоленою атмосферою.

На ПС 110 кВ спрощенням схеми на боці ВН з мінімальною кількістю апаратури, розміщеної в районах із забрудненою атмосферою, рекомендується відкрита установка устаткування ВН і трансформаторів з посиленою зовнішньою ізоляцією.

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

Будинки ЗРП (закритих РП) допускається виконувати як окремо розміщені, так і зблокованими з будинками РПУ в тому числі і по вертикалі.

КРПЕ, напругою 110 кВ і вище, беруть при технікоекономічному обґрунтуванні при стиснутих умовах, а також у районах із забрудненою атмосферою. Трансформатори 110 кВ варто установлювати відкритими, а у районах із забрудненою атмосферою з посиленою ізоляцією. У ЗРП 110 кВ і в закритих камерах трансформаторів необхідно передбачати стаціонарні вантажопідйомні пристрої або можливість застосування вантажопідйомних пристроїв (самохідних, пересувних) для механізації ремонту і технічного обслуговування.

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

2.9. Компонування роздільних пристроїв 6-10 кВ і конструкційна частина

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

РП 6 і 10 кВ закритого типу (у будинках, у тому числі з УТБ або полегшених конструкцій типу панелі „сендвіч” та ін.

можуть застосовуватися:

а) у районах, де за кліматичними умовами (забруднення атмосфери або наявність сніжних заметів або курних віднесень) неможливе застосування КРПН;

б) при кількості шаф більше ніж 25;

в) при наявності техніко-економічного обґрунтування.

У ЗРП 6 і 10 кВ рекомендується встановлювати шафи КРП заводського виготовлення.

КРП заводського виготовлення. Для їхнього ремонту і збереження видатного візка у ЗРП варто передбачити спеціальне місце.

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

3. Розрахунок релейного захисту трансформатора

3.1 Види захистів трансформатора

Енергетична система являє собою складну багатоосередкову технічну систему, призначену для виробництва, розподілу і споживання електроенергії. Процеси, що відбуваються в енергосистемі, відрізняються швидкістю, взаємозв'язком, єдністю процесів виробництва, розподілу і споживання електроенергії. Управління ними без застосування спеціальних технічних засобів, які називаються засобами автоматичного управління, в більшості випадків виявляється неможливим [11, 12].

Умовно, всі пристрої автоматики за своїм призначенням і області застосування можна розділити на наступні дві великі групи: технологічну і протиаварійну автоматику.

Технологічна автоматика забезпечує автоматичне керування в нормальному режимі.

Призначенням протиаварійної автоматики є запобігання або найбільш ефективна ліквідація наслідків аварій.

З перерахованих видів пристроїв автоматики особливо виділяється релейний захист, що вивчає поведінку електроенергетичної системи та її елементів в режимах глибоких збурюючих впливів і стрибкоподібних змін електричних параметрів.

На елементах системи електропостачання - генераторах, трансформаторах, лініях електропередачі і електродвигунах застосовуються струмові, струмові спрямовані, дистанційні, диференційні захисти, а також максимальні і мінімальні захисти напруги. На цих елементах передбачаються відповідні пристрої автоматики.

Релейний захист і автоматика тісно пов'язані між собою, доповнюють одне одного, взаємно впливають на вибір параметрів схеми, мають загальні кола. Перш за все, це характерно для релейного захисту та пристроїв АПВ і АВР.

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

Особливості захищеного елемента системи електропостачання, безумовно, впливають на схеми захисту і автоматики, на вибір їх параметрів, але принципи дії цих пристроїв залишаються незмінними.

За призначенням залежно від відповідальності і порядку дії захисту трансформаторів і автотрансформаторів поділяються на основні, резервні та захисту [11, 12].

1. Основні захисти реагують на всі види пошкоджень трансформатора або автотрансформатора (надалі - об'єкта) і діють на відключення вимикачів з усіх боків без витримки часу.

До основних захистів відносяться:

а) подовжній диференційний струмовий захист від усіх видів замикань на виводах і в обмотках сторін з заземленою нейтраллю, а також від багатофазних замикань на виводах і в обмотках сторін з ізольованою нейтраллю;

б) газовий захист від замикань всередині кожуха об'єкта, що супроводжуються виділенням газу, а також при різкому зниженні рівня масла;

2. Резервні захисти резервують основні захисти і реагують на зовнішні КЗ, діючи на відключення з двома витримками часу: з першою витримкою часу відключається вимикач однієї зі сторін нижчої напруги (зазвичай тієї, де встановлений захист), з другої - всі вимикачі об'єкта. Резервні захисти від міжфазних пошкоджень мають кілька варіантів виконання:

а) МСЗ без пуску по напрузі;

б) МСЗ з комбінованим пуском по напрузі;

в) МСЗ зворотній послідовності з приставкою для дії при симетричних КЗ;

г) дистанційні захисти автотрансформаторів.

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

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

Захист основного обладнання реалізується за допомогою комплексів релейного захисту, виконаних на базі електромеханічних пристроїв і з застосуванням мікроелектроніки (статичне реле захисту).

Почали застосовуватися комплекси мікропроцесорних захистів генераторів, блоків генератор-трансформатор, трансформаторів, як правило, виробництва великих зарубіжних фірм (ABB, Siemens).

Струмовий захист

Відзначимо лише, що в загальному випадку струмові захисти містять три ступені, є відносно селективними і можуть здійснювати як ближнє, так і дальнє резервування. Швидкодіючий перший ступінь захисту - струмове відсічення без витримки часу - має тільки вимірювальний орган, а другий і третій ступені - струмове відсічення з витримкою часу і максимальний струмовий захист - містять два органи: вимірювальний і витримки часу. Другу сходинку виконують з незалежною від струму витримкою часу, а третю - з незалежною і з залежною. Функції вимірювального органу виконують реле струму, що входять в вимірювальну частину схеми. Вони реагують на пошкодження або порушення нормального режиму роботи і вводять в дію орган витримки часу, якщо він є. Для підвищення чутливості захисту іноді використовують комбінований вимірювальний орган, в якому поряд з реле струму є реле напруги.

Як орган витримки часу можна використовувати окреме реле часу. Поряд з цим, в одному реле струму можуть бути об'єднані обидва органи захисту.

У схемах струмових захистів є також допоміжні реле, наприклад, проміжні й вказівні. Разом з реле часу вони утворюють логічну частину схеми. Проміжне реле полегшує роботу контактів основних органів захисту і, вводячи деяке уповільнення, запобігає дії струмового відсічення без

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

витримки часу при роботі трубчастих розрядників. Вказівне реле дозволяє контролювати спрацьовування захисту.

Струмові спрямовані захисти

Для селективної дії в мережах з двостороннім живленням струмовий захист доповнюється вимірювальним органом напрямку потужності KW. Такий захист називається струмовим спрямованим. Він, як і струмовий, зазвичай виконується триступеневим, з відносною селективністю. На відміну від струмового захисту струмовий спрямований, завдяки реле KW, реагує не тільки на абсолютне значення струму в захищуваному елементі, а й на його фазу щодо напруги на шинах біля місця установки захисту, тобто діє в залежності від напрямку потужності при коротких замиканнях. Селективна дію захисту забезпечується відповідним включенням органу напрямку потужності і вибором витримки часу.

Дистанційні захисти

Призначення і принцип дії. У схемах електропостачання в залежності від режиму роботи і виду короткого замикання змінюються струми пошкодження, тому чутливість струмових і струмових спрямованих захистів, зони дії відсічень не залишаються постійними. У мінімальному режимі роботи системи електропостачання вони можуть виявитися недостатніми. У складних мережах максимальний спрямований захист не завжди задовольняє вимогам селективності і швидкодії. У зв'язку з цим бажано мати захист, характеристична величина якого не залежить від режиму роботи системи електропостачання, а час дії захисту визначається тільки відстанню від місця його установки до місця короткого замикання. Таким захистом є дистанційний захист. Він реагує на відношення напруги до струму в місці установки захисту. Це відношення називається опором на затискачах реле захисту. При

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

відповідному включенні реле цей опір пропорційний відстані від місця установки захисту до місця короткого замикання і не залежить від режиму роботи системи електропостачання. Дистанційний захист, як і струмовий, зазвичай виконується триступеневим з відносною селективністю. Параметрами кожного ступеня є довжина зони, що захищається і час спрацьовування.

За характеристиками витримок часу її перша, друга і третя ступені аналогічні відповідним ступеням струмового захисту. Це ілюструється графіками (рисунок 3.1, а). Захист А1 має характеристику 1, захист А2 - характеристику 2, захист А3 - характеристику 3. При пошкодженні в точці К1 приходять в дію захисти А1 і А2, але пошкодження відключає найближчий до нього захист А2, так як він має меншу витримку часу. Якщо пошкодження виникає в точці К2, то воно відключається найближчим до нього захистом А3.

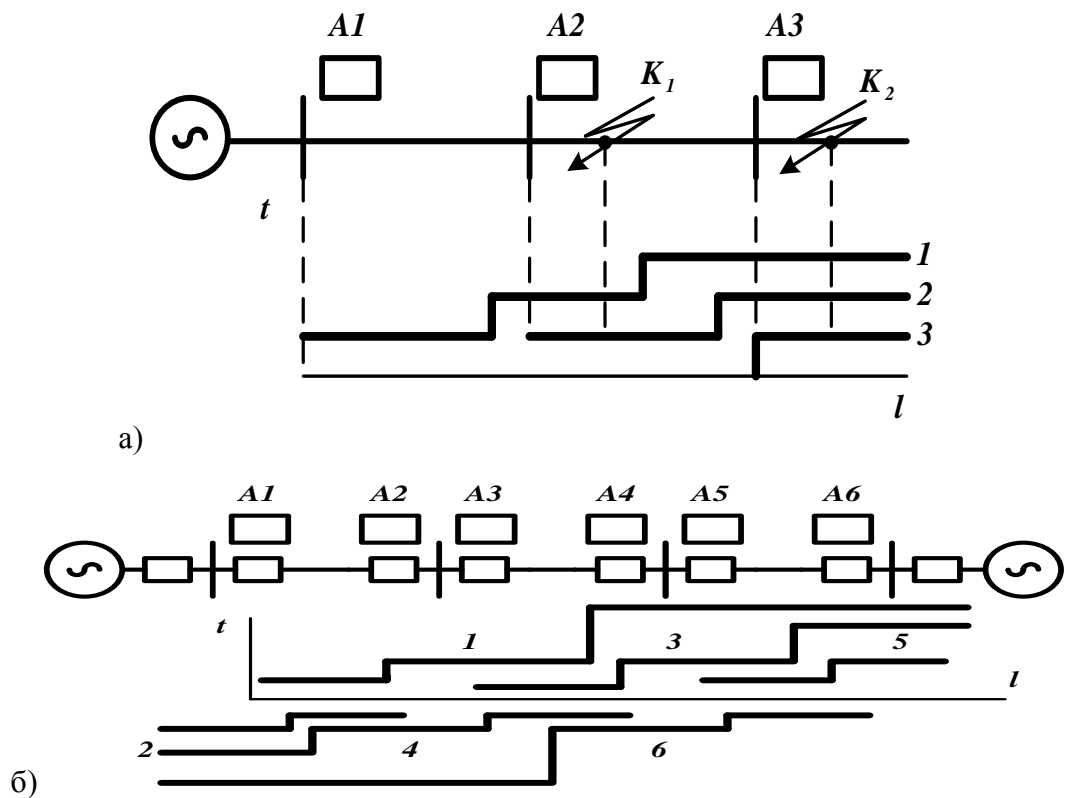


Рисунок 3.1 Ступінчасті характеристики витягів часу дистанційного захисту
На лініях з двостороннім живленням дистанційний захист виконується спрямованим, а витримки часу відповідних ступенів захисту вибираються,

як і у струмового спрямованого захисту, за зустрічно-ступінчастим принципом (рисунок 3.1, б).

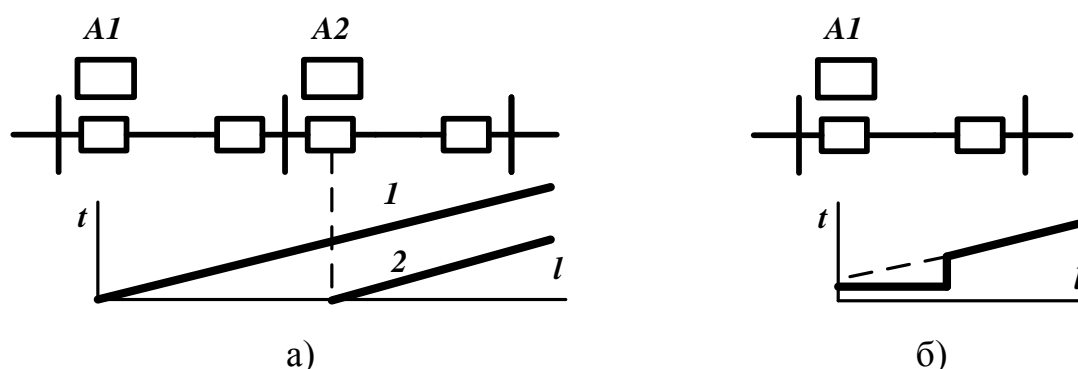


Рисунок 3.2 – Характеристики витримки часу дистанційного захисту:

- а) безперервно залежні;
- б) комбіновані

Селективну дію можуть забезпечувати також дистанційні захисти з безперервно залежними (рисунок 3.2, а) і комбінованими (рисунок 3.2, б) характеристиками.

Диференційні струмові захисти

Для захисту елементів електричних установок широко використовується диференційний принцип, на якому здійснюються поздовжні і поперечні диференційні захисти з абсолютною селективністю.

Поздовжні диференційні струмові захисти використовуються в основному для захисту елементів із зосередженими параметрами, наприклад трансформаторів. Вони можуть застосовуватися також для захисту ліній невеликої довжини. Поперечні диференційні захисти виконуються у вигляді диференційних струмового і струмового спрямованого, а також балансного захистів. Вони служать для захисту двох (і більше) паралельних ліній, а також для захисту від виткових замикань обмотки статора синхронного генератора, що має паралельні вітки.

Подовжній диференційний струмовий захист заснований на порівнянні струмів на початку і кінці захищеного елемента. Для виконання захисту

лінії на кінцях встановлюються вимірювальні трансформатори струму з однаковим коефіцієнтом трансформації.

Вторинні обмотки трансформаторів струму однойменних фаз і реле з'єднуються за допомогою допоміжних проводів так, щоб при короткому замиканні поза зони, що захищається, обмеженої вимірювальними трансформаторами, струм в реле був відсутній, а при пошкодженні усередині зони дорівнював струму короткого замикання.

Застосовуються дві можливі схеми виконання диференційного захисту - з циркулюючими струмами і з врівноваженими напругами.

Більш часто використовуються захисту, виконані за схемою з циркулюючими струмами (рисунок 3.1). Схема виходить шляхом паралельного з'єднання вторинних обмоток трансформаторів струму TAI , $TAII$ і реле струму KA . При цьому струм в реле I_p визначається з урахуванням прийнятих умовних додатних напрямків струмів I_{II} і I_{III} по кінцях захищеної лінії L .

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

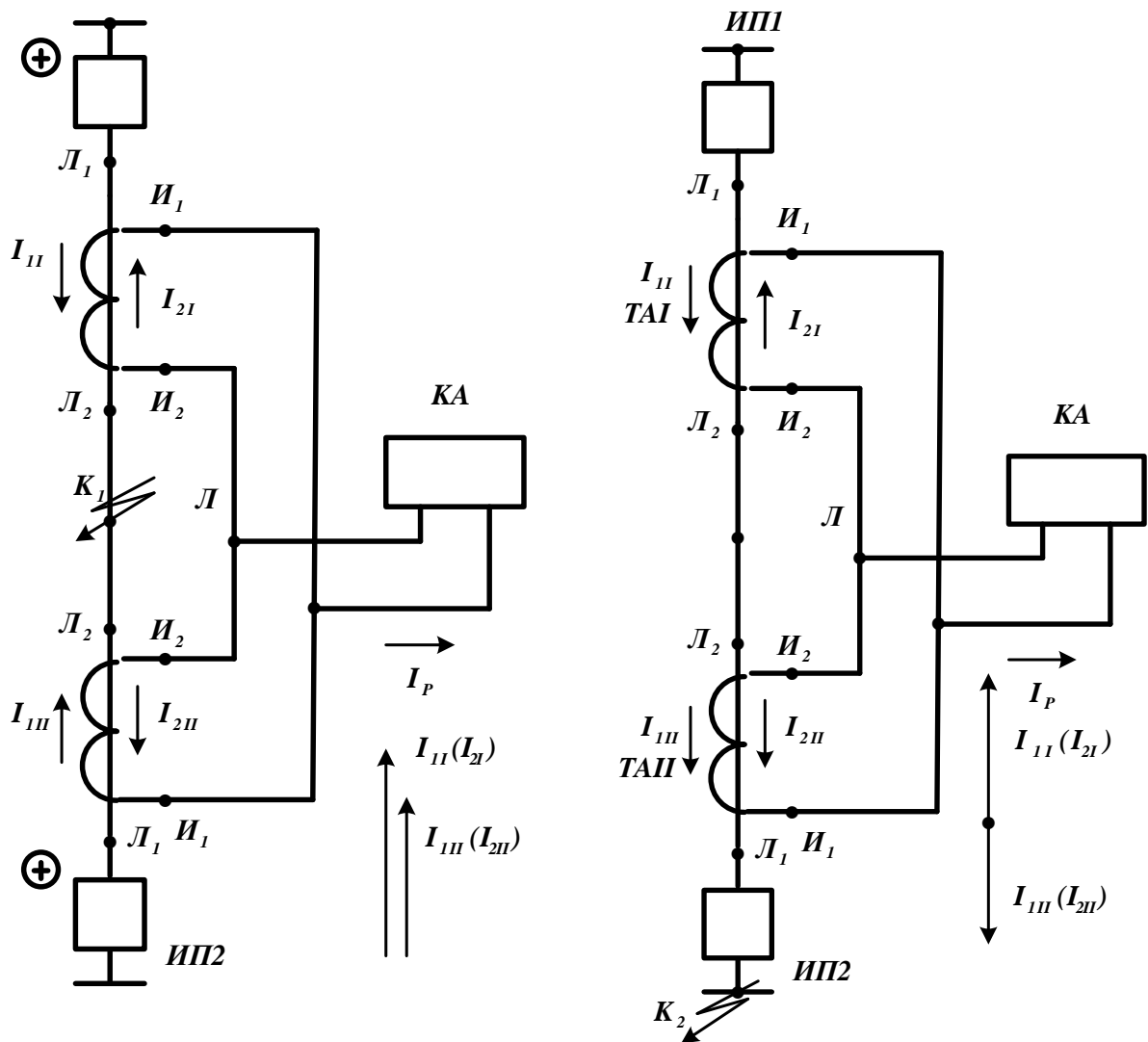


Рисунок 3.3 – Розподіл струмів в схемі поздовжнього диференційного захисту з циркулюючими струмами і їх векторні діаграми

З урахуванням додатних напрямків струмів, зазначених на рисунку. 3.3, а, струм в реле дорівнює геометричній сумі вторинних струмів:

$$I_p = I_{21} + I_{23}$$

При короткому замиканні в захищуваній зоні 1, обмеженій трансформаторами струму TAI і $TAII$ (точка K_1) струми I_{11} і I_{13} від джерел живлення направляються в точку пошкодження, т. тобто. мають додатний напрям (рисунок 3.3, а), внаслідок чого струми I_{21} і I_{23} в реле відповідно до виразу $I_p = I_{21} + I_{23}$

складаються струми. При односторонньому живленні один з струмів, наприклад I_{III} , дорівнює нулю, тому вторинний струм I_{2II} відсутній. При цьому струм I_{2I} не може замикатися через вторинну обмотку трансформатора струму ТАШ, так як трансформатор струму працює в режимі джерела струму (опір струмових кіл реле у багато разів менший внутрішнього опору трансформатора струму). Весь струм I_{2I} проходить через реле.

Таким чином, при короткому замиканні в зоні струм в реле визначається струмом I_k в точці ушкодження. При цьому захист спрацьовує, якщо $I_p > I_{c.p}$ - в нормальному режимі роботи, при коливаннях, а також при зовнішніх коротких замиканнях (точка K_2) первинні струми I_{II} і I_{III} рівні і зміщені по фазі на кут π . Якщо не зважати на похибки трансформаторів струму, то $I_{2I} = -I_{2II}$ (рисунок 3.3, б), тому струм в реле $I_p = 0$ і захист не спрацьовує.

Отже, подовжній диференційний захист діє при пошкодженні в зоні і не реагує на зовнішні короткі замикання, струми коливань і струми нормальної роботи, тобто він володіє абсолютною селективністю. Ця принципова особливість дає можливість виконати захист без витримки часу, а при виборі струму спрацьовування не враховувати струмів коливань і нормального режиму. Насправді трансформатори струму мають похибки. Тому, незважаючи на те, що в зазначених режимах первинні струми I_{II} і I_{III} рівні і зміщені по фазі на кут π , вторинні струми I_{2I} і I_{2II} не однакові за абсолютним значенням і зміщені по фазі на кут, відмінний від π . У зв'язку з цим в реле з'являється струм, названий струмом небалансу $I_{нб}$. Для виключення неправильної роботи диференційного захисту струм спрацьовування реле повинен вибиратися з урахуванням струму небалансу.

Для диференційного захисту трансформаторів застосовується реле серії РНС.

Технічні характеристики:

Номінальна частота струму, Гц - 50 або 60

Магніторушійна сила спрацьовування, А - 100+5

Час спрацьовування при трикратному струмі спрацьовування, с - 0,04

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

Коефіцієнт надійності реле при струмі спрацьовування не менше:

п'ятикратному - 1,35

двократному - 1,2

Розривна потужність контактів реле в колі постійного струму з індуктивним навантаженням при напрузі до 250 В або струмі до 2 А, Вт – 60.

Мінімальна напруга на контактах, В, не менше - 24

кількість контактів:

реле РНТ565, РНТ566, РНТ566/2 - 1 з

реле РНТ567, РНТ567/2 - 1 з і 1 р

Випробувальна напруга змінного струму частотою 50 Гц, що витримується електричною ізоляцією в стані поставки протягом 1 хв без пробою або перекриття, В, прикладена: між усіма електрично не пов'язаними частинами реле, а також між ними і корпусом - 2000 між контактами в розімкнутому положенні - 500

Маса реле, кг, не більше - 3,5

Реле складається з виконавчого органу (реле РС40), проміжного насичуючогося трансформатора струму (НТС), змонтованих на загальних підставах і закритих прозорим кожухом. Магнітопровід трансформатора виконаний трьохстержневим.

3.2 Технічні дані трансформатора, що захищається

Технічні дані трансформатора ТДН-40000/110/35

$$S_{T.HOM} = 40 \text{ МВА} \quad U_{T.HOM} = 115/38,5$$

Схема з'єднання: Δ/Y

$$U_{P.HH} = 0,15 \quad U_{K.MIN} = 9,58 \% \quad U_{K.HOM} = 10,5 \% \quad U_{R.MAX} = 11,45 \%$$

3.3 Розрахунок струмів короткого замикання

Мінімальна і максимальна напруга трансформатора

$$U_{T.min} = U_{T.ном.вн} \cdot (1 - \Delta U_{P.HH}) = 115 \cdot (1 - 0,15) = 96,58 \text{ кВ}$$

									Арк.
									46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-					

БР.5.141.275.ПЗ

$$I_{роб.макс.нн} = \frac{S_{Т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{Т.мін}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 96,6} = 239 \text{ А}$$

Коефіцієнт самозапуску:

$$K_{сзн} = \frac{I_{сзн.макс.вн}}{I_{роб.макс.вн}} = \frac{638,2}{239} = 2,67 \text{ А}$$

3.4 Розрахунок МСЗ лінії, яка відходить від шин НН трансформатора

Максимальний струм навантаження $I_{нав.макс.нн} = 600 \text{ А}$

$$I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot K_{сзн}}{K_{нав}} \cdot I_{нав.макс.нн} = \frac{1,5 \cdot 2,67}{0,8} \cdot 600 = 3,0 \text{ кА}$$

Струм спрацьовування реле:

$$I_{сп} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}^2}{n_T} = \frac{3003,75 \cdot 1 \cdot 5}{500} = 10 \text{ А}$$

Мінімальний струм КЗ, який протікає по обмотці реле:

$$I_{р.мін} = \frac{0,87 \cdot I_{к.мін.нн}^{(3)}}{n_T} = \frac{11913 \cdot 0,87 \cdot 5}{500} = 34,5 \text{ А}$$

Коефіцієнт чутливості захисту:

$$K_u = \frac{I_{р.мін}}{I_{сп}} = \frac{34,5}{10} = 3,4 > 1,5$$

Витримка часу $t_{сз} = 0,5 \text{ с}$. Тип реле РТ-40/5

3.5 Розрахунок уставок захисту трансформатора

Захист від міжфазних КЗ [11, 12].

Використовуємо подовжній диференційний струмовий захист з реле типу ДЗС-11.

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

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

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		48

$$I_{cp} = \frac{I_{с.з3} \cdot K_{cx}^{(3)}}{n_T} = \frac{358,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 5}{15000} = 2,1 \text{ A}$$

Попереднє значення коефіцієнта чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{p.\text{мін}}}{I_{cp}} = \frac{10,3}{2,1} = 4,9 \approx 5.$$

3.6 Визначення числа витків обмоток реле

Струм спрацьовування реле в основній зоні [11, 12]:

$$I_{cp.\text{осн}} = \frac{I_{с.з.\text{осн}} \cdot K_{cx.\text{вн}}}{n_T}$$

$$I_{cp.\text{осн}} = \frac{286,3 \cdot \sqrt{3} \cdot 5}{400} = 6,2 \text{ A.}$$

Число витків обмотки реле для основної сторони основної зони:

Розрахункове значення:

$$W_{\text{осн.розр}} = \frac{F_{cp}}{I_{сн.\text{осн}}} = \frac{100}{6,2} = 16,13 \text{ вит}$$

Прийняте значення $W_{\text{осн}} = 16 \text{ вит}$

Струм спрацьовування реле:

$$I_{cp.\text{осн}} = \frac{F_{cp}}{W_{\text{осн}}} = \frac{100}{16} = 6,25 \text{ A}$$

Струм спрацьовування захисту в основній зоні:

$$I_{сз.\text{осн}} = I_{cp.\text{осн}} \cdot \frac{n_T}{K_{cx}} = 6,25 \cdot \frac{80}{1} = 500 \text{ A}$$

Струм спрацьовування захисту в неосновній зоні:

$$I_{сз.\text{неосн}} = I_{сз.\text{осн}} \cdot K_{T.\text{мін}} = 500 \cdot 2,5 = 1,25 \text{ кА}$$

Число витків обмотки реле для неосновної сторони.

Розрахункове значення:

$$W_{\text{неосн.розр}} = \frac{I_{2.\text{осн}} \cdot W_{\text{осн}}}{I_{2.\text{неосн}}} = \frac{2,5 \cdot 16}{1,86} = 21,5 \text{ вит}$$

										Арк.
										50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-						

Прийняте значення $W_{неосн} = 22$

$$W'_{неосн.розр} = \left(\frac{W_{неосн.розр} - W_{неосн}}{W_{неосн.розр}} \right) \cdot I_{к.макс.вн}^{(3)}$$

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

Первинний струм небалансу з урахуванням $I_{нб.з}$:

$$I'_{нб} = I_{нб} + I_{нб.з}$$

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

Прийняті числа витків

$$W_{осн} = W_{розр.1} \quad W_{осн} = 16 \cdot W_{неосн} = W_{розр.2} \quad W_{неосн} = 22$$

Робимо перевірку:

$$I_{2.осн} \cdot W_{осн} \approx I_{2.неосн} \cdot W_{неосн.розр}$$

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

Коефіцієнт чутливості захисту при КЗ за трансформатором:

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

Кількість витків обмотки гальмування:

$$W_{гал.розр} = \frac{K_n \cdot I'_{нб} \cdot W_{неосн} \cdot K_{Т.мін}}{I_{к.макс}^{(3)} \cdot \text{tg}\alpha}$$

$$W_{гал.розр} = \frac{1,5 \cdot 151,26 \cdot 22 \cdot 2,5}{1595,5 \cdot 0,87} = 8,99 \text{ вит}$$

Приймаємо число витків рівним 9: $W_n = 9$

3.7 МСЗ трансформатора від зовнішніх КЗ

Максимальний струмовий захист (МСЗ) спрацьовує при збільшенні струму елемента, який захищається, понад встановленого струму спрацьовування (уставки). На понижувальних трансформаторах фактично будь-якої

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

потужності він 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 трансформаторах часто не встановлюється диференційний і газовий захисти, а струмове відсічення (якщо воно встановлюється) захищає тільки частину витків трансформатора. Крім того, г.с.з. є основним захистом шин нижньої напруги, а також резервним захистом для елементів мережі нижньої напруги.

На трансформаторах потужністю 1 МВА і вище г.с.з. встановлюється як основний захист при КЗ на шинах нижньої і середньої напруг і як резервний - при КЗ на елементах мережі, які відходять (нижчої і середньої напруг). При цьому передбачається, що на трансформаторі є диференційний і газовий захист або один з них.

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

Для виконання г. с. з. можуть використовуватися максимальні реле струму різних конструкцій: електромагнітні, індукційні і статичні. Г. с. з. з обмежено залежною характеристикою застосовується тільки на трансформаторах невеликої потужності з вищою напругою 6 або 10 кВ (іноді 35 кВ) з використанням реле типу РСВ або РС-80. На трансформаторах з вищою напругою 35, 110, 220 кВ г. с. з. виконується з незалежною 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 і СН.

Схема неповної зірки є типовою для понижувальних трансформаторів 6 або 10 кВ і схемами з'єднання обмоток В / Y_0 або Д / Y_0 , а також для трансформаторів 35 кВ.

МСЗ встановлюємо на стороні ВН з двома витримками часу [11, 12].

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		52

Струм спрацьовування реле:

- за умови неспрацьовування від струму самозапуску^

$$I_{cp} = K_x \cdot I_{сп.макс.вн}$$

$$I_{сз} = 1,1 \cdot 638,2 = 702 \text{ A}$$

- за умови погодження з МСЗ лінії :

$$I_{сз} = K_{нс} \cdot I_{поз.лін}$$

$$I_{сз} = 1,3 \cdot \frac{3003,75 \cdot 38,5}{115} = 1307,3 \text{ A}$$

Приймаємо $I_{сз} = 1307,3 \text{ A}$

Струм спрацьовування реле:

$$I_{cp} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}^{(3)}}{n_T} = \frac{1307}{80} = 16,3 \text{ A}$$

Чутливість МТС при двофазному КЗ за трансформатором:

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

Час спрацьовування першого та другого ступенів МСЗ:

$$t_{мсз.1} = t_{мсз.лін} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ с}$$

$$t_{мсз.2} = t_{мсз.1} + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ с}$$

3.8 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 [11, 12].

Захист виконуємо за допомогою одного реле, яке включаємо в коло одного з ТС МСЗ трансформатора.

Струм спрацьовування захисту:

$$I_{сз} = \frac{K}{K_{полн}} \cdot I_{Т.ном.вн} = \frac{1,05 \cdot 191}{0,8} = 250 \text{ A}$$

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		53

Струм спрацьовування реле:

$$I_{cp} = \frac{I_{cz} \cdot K_{cx}^{(3)}}{n_T} = \frac{250 \cdot 1}{80} = 3,125 \text{ A}$$

Час спрацьовування захисту:

$$t_{nep} = t_{мсз.2} + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ c}$$

3.9 Захист від пошкоджень всередині трансформатора

Використовуємо газовий захист з поплавковим реле типу РЗС-80 і струменевим реле РЗС-24. Газовий захист (ГЗ) - це захист від внутрішніх пошкоджень трансформатора, що супроводжуються 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 у розтин трубопроводу від корпусу трансформатора до розширювача. Газовий захист абсолютно селективний і не реагує на пошкодження поза баком трансформатора. Газовий захист трансформатора виконується двоступеневим:

Перший ступінь ГЗ спрацьовує при незначному 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.5.141.275.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

4. Розрахувати ефективність природної вентиляції приміщення чергового по підстанції

Дано:

Габарити приміщення:

- довжина – 6,5 м,
- ширина – 4 м,
- висота – 4 м.

Кількість працюючих – 5 чол.

Розмір квартирки – 0,26 м².

Рішення

У відповідності до СНиП 2.09.04-87 об'єм робочого приміщення, що припадає на одного працюючого повинен складати не менше 40 м³. У протилежному разі для нормальної роботи в приміщенні необхідно забезпечити постійний повітрообмін за допомогою вентиляції розміром не менше $L'=30$ м³/год на одного працюючого.

Таким чином, необхідний повітрообмін L_n , м³/год, обчислюється за формулою:

$$L_n = L' \cdot n, \text{ м}^3/\text{год},$$

де n – кількість працюючих;

L' - норма на одного робочого, 30 м³/год.

$$L_n = 30 \cdot 5 = 150 \text{ м}^3/\text{год}$$

Фактичний повітрообмін у відділі здійснюється за допомогою природної вентиляції (аерації) як неорганізовано – через різні нещільності у віконних і дверних прорізах, так і організаційно – через квартиру у віконному прорізі.

Фактичний повітрообмін L_ϕ , м³/год, обчислюється за формулою:

$$L_\phi = m \cdot F \cdot V \cdot 3600, \text{ м}^3/\text{год}$$

де m – коефіцієнт витрати повітря, який розміщується в межах значень 0,3-0,8 (1. с.29) (в розрахунку беремо середнє значення $m = 0,55$);

F – площа квартирки, через яку буде виходити повітря, 0,26 м²;

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

V – швидкість виходу повітря з верхнього прорізу (кватирки), м/с. Її можна розрахувати за формулою:

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta H_2}{\gamma_{\text{вп.ср.}}}}$$

де g – прискорення вільного падіння, $g=9,8$ м/с²;

ΔH_2 – тепловий напір, під дією якого буде виходити повітря з кватирки, кг/м²:

$$\Delta H_2 = h_2(\gamma_{\text{вн}} - \gamma_{\text{вп}}),$$

де h_2 – висота від площини рівних тисків до центру кватирки. З достатньою для наших розрахунків точністю можна припустити, що площина рівних тисків розміщена посередині висоти розглянутого приміщення, а центр кватирки знаходиться від площини стелі на відстані 0,75 м; $h_2=1,25$ м

$\gamma_{\text{вн}}$ та $\gamma_{\text{вп}}$ – відповідно об'ємні ваги повітря зовні приміщення та усередині його, кгс/м³.

Об'ємна вага повітря визначається за формулою:

$$\gamma = 0,465 \cdot \frac{P_6}{T},$$

де P_6 – барометричний тиск, мм рт. ст., який беремо та-
ким: $P_6=750$ мм рт. ст.;

T – температура повітря в °К.

Для відділу, де виконуються легкі роботи відповідно до ГОСТу 12.1.005-88 для теплого періоду року температура повинна складати не більше 28 °С, або $T=301$ °К, для холодного періоду року відповідно $t=17$ °С, або $T=290$ °К.

Для зовнішнього повітря температуру беремо відповідно до СНиП 2.04.05-91:

для літа – $t=24$ °С, $T=297$ °К;

для зими – $t=-11$ °С, $T=262$ °К.

Спочатку проведемо розрахунок фактичного повітрообміну для теплого періоду року.

Найдемо об'ємні ваги повітря:

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		

$$y_h = 0,465 \frac{750}{297} = 1,17 \text{ кгс/м}^3$$

$$y_{\text{вп}} = 0,465 \frac{750}{301} = 1,16 \text{ кгс/м}^3$$

Знайдемо тепловий напір:

$$\Delta H_2 = 1,25(1,17 - 1,16) = 0,0125 \text{ кг/м}^2$$

Знайдемо швидкість виходу повітря:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot 0,0125}{\frac{1,17 + 1,16}{2}}} = 0,46 \text{ м/с}$$

Визначимо фактичний повітрообмін:

$$L_{\phi} = 0,55 \cdot 0,26 \cdot 0,46 \cdot 3600 = 236,8 \text{ м}^3/\text{год}$$

Тепер проведемо розрахунок фактичного повітрообміну для холодного періоду року.

Знайдемо об'ємні ваги повітря:

$$y_h = 0,465 \frac{750}{262} = 1,33 \text{ кгс/м}^3$$

$$y_{\text{вп}} = 0,465 \frac{750}{290} = 1,2 \text{ кгс/м}^3$$

Знайдемо тепловий напір:

$$\Delta H_2 = 1,25(1,33 - 1,2) = 0,16 \text{ кг/м}^2$$

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		57

Знайдемо швидкість виходу повітря:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot 0,16}{\frac{1,33 + 1,2}{2}}} = 1,57 \text{ м/с}$$

Визначимо фактичний повітрообмін:

$$L_{\phi} = 0,55 \cdot 0,26 \cdot 1,57 \cdot 3600 = 808,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

Співставляючи фактичний повітрообміну з необхідним ми бачимо, що природна вентиляція достатньо ефективна як в холодний так і в теплий періоди року.

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		58

Висновки

У розділі «Розрахунок електричної мережі» знайдено потоки потужностей в мережі при нормальному режимі роботи. Знайдено також падіння потужностей в елементах мережі. Розглянуто величини напруг в точках мережі з урахуванням поздовжніх і поперечних складових.

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

У розділі «Розрахунок релейного захисту» проведені розрахунки релейного захисту трансформатора.

У розділі «Розрахувати ефективність природної вентиляції приміщення чергового по підстанції» розглянуті питання повітрообміну в приміщенні чергового по підстанції.

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		59

Література

- 1 Електричні мережі та системи. Підручник. Сегеда М.С. / Третє видання, доповнене та перероблене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 540 с. ISBN 978-617-607-831-9
- 2 Електричні системи та мережі : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми: Сумський державний університет, 2018.– 214 с.
- 3 3202 Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „Розрахунок замкнутої електричної мережі” з курсу „Електричні системи та мережі” / укладачі: І. Л. Лебединський, С. М. Лебеда, В. І. Романовський, В. В. Волохін. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 40 с.
- 4 Правила улаштування електроустановок - 5-те вид., переробл. й доповн. – Харьков, Форт, 2014. – 782 с.
- 5 Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. / С.С. Ананичева, А.Л. Мызин, С.Н. Шелюг. ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. - 52 с
[http://www.energyland.info/files/library/487586c140e2946c28be316bc
bd800a3.pdf](http://www.energyland.info/files/library/487586c140e2946c28be316bcbd800a3.pdf)
- 6 Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. Навчальний посібник. Лук'яненко Ю.В., Остапчук Ж.І., Кулик В.В. / Вінниця: ВДТУ, 2002.–116с.
[http://kulykvv.vk.vntu.edu.ua/file/posibn/cf207246a5ffede8257f5b865a
7b60d9. pdf](http://kulykvv.vk.vntu.edu.ua/file/posibn/cf207246a5ffede8257f5b865a7b60d9.pdf)
- 7 СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011. Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Київ. Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 399 від 21.06.2013.

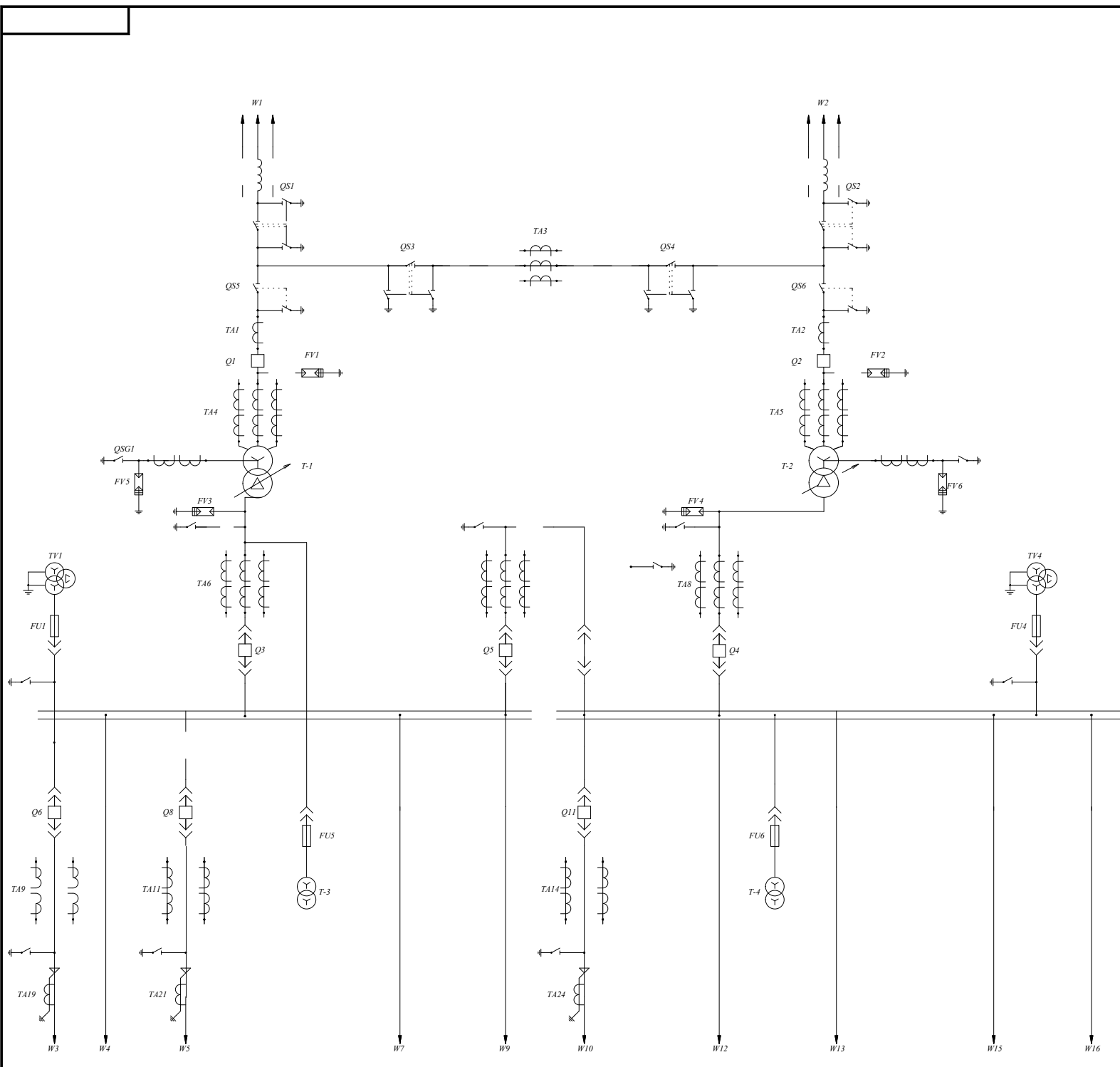
										Арк.
										60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-						

8. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (для слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070103 – Електротехнічні системи електроспоживання (за видами)) / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : В. М. Гаряжа, Є. Д. Дьяков, Г. В. Капустін. – Х. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015.– 44 с.
9. Сегеда М.С., Гапанович В.Г., Олійник В.П., Покровський К.Б. Проектування структурних схем електростанцій та підстанцій: навч. посіб. – Львів: Вид-во НУ «ЛП», 2010.
10. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2015. – 504 с.
11. Методичні вказівки до проведення практичних занять з курсу «Релейний захист та автоматика» / Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Д. С. Шимук. – Х.: ХНУМГ, 2013 – 60 с.
12. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, Л.І. Несен, за ред. Г.Г. Півняка М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 5-те вид., доопрац. та допов. – Дніпро : НГУ, 2016. – 600 с
13. ДСТУ ІЕС 60909-0:2007. Струми короткого замикання у трифазних системах змінного струму. Частина 0. Обчислення сили струму (ІЕС 60909-0:2001, ІДТ).
14. ГОСТ 11677-85 Трансформаторы силовые. Общие технические условия (Трансформатори силові. Загальні технічні умови).

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		61

Додатки

					БР.5.141.275.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-		



Перечень аппаратуры

Формы	Знака	Поз	Обозначение	Наименование	К-во	Прим.
		1	T1, T2	Тр-р силовой ТД-32000/110	2	
		2	Q1, Q2	Выключатель ВВКМ-110Б-31,5/2000У1	2	
		3	Q3 - Q5	Выключатель ВВУ-35А-40/2000У1	3	
		4	QS1, QS2, QS3, QS4	Разъединитель наружной установки РНД31-110/1000 УХЛ1	4	
		5	QS5, QS6	Разъединитель наружной установки РНД31-110/1000 УХЛ1	2	
		6	Q6 - Q15	Выключатель ВВУ-35А-40/2000У1	10	
		7	TA1, TA2, TA3	Трансформатор тока ТФЗМ-110-У1	3	
		8	TA4, TA5	Трансформатор тока встроенный НКФ-110-58	2	
		9	FV1, FV2	Разрядник вентильный РВС-110 МУ1	2	
		10	FV3, FV4	Разрядник вентильный РВП1-35 МУ1	2	
		11	FV5, FV6	Разрядник вентильный РВС-15+РВС-35	12	
		12	QSG1, QSG2	Заземлитель однополюсный ЗОН-110М	2	
		13	TA6 - TA8	Трансформатор тока ТФЗМ35-У1	3	
		14	T3, T4	Трансформатор собственных нужд ТМ-40/35	2	
		15	FU1-FU6	Предохранитель ПКН 001-10 У1	6	
		16	TV1-TV4	Трансформатор напряжения ЭНОЛ-35	4	
		17	TA9 - TA18	Трансформатор тока	28	
		18	TA19 - TA28	Трансформатор тока ТФЗМ35-У1	14	

БП 5.141.275.ЕТ				Лист	Корр	Масштаб
Исполн	И. документ	Объем	Дата	Схема показывающей подстанции 110/35 кВ		
Разработ	Механик Р.А.			Лист 1	Листов 1	
Руковод	Бригадир Г.В.			СумГУ ЕТgn-74n		
Конструктор						
Корректор						
Начальник						
Зав. цех	Лаборант					