

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та енергетики

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

«Проектування підстанції 110/10 кВ з прилеглою мережею»

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(назва освітньої програми)

**Виконав: здобувач вищої освіти групи
ЕЕ-43**

Мигель Леонід Федорович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Грицюк Ірина Василівна

(підпис)

Кваліфікаційний проєкт

допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Луцьк - 2026 року

АНОТАЦІЯ

Мигель Л.Ф. Проектування підстанції 110/10 кВ з прилеглою мережею.
Рукопис.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра складається з п'яти розділів, списку використаних джерел, додатків.

У проєкті розроблено (запропоновано)_схему, та вибрано елементи районної мережі напругою 110 кВ. Проектування виконане на основі електротехнічних розрахунків: вибору силових трансформаторів вузлових підстанцій; визначення потокорозподілу потужності на основі методу розмикання контуру та матричного методу; механічного розрахунку ділянки повітряної лінії; розрахунку техніко-економічних показників прийнятих проєктних рішень на основі методу приведених затрат.

У результаті роботи отримали проєкт електричної мережі з високими показниками економічної обґрунтованості.

Прийняті проєктні рішення дозволяють перейти до їх практичної реалізації й впровадження спроектованої системи електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання (СЕП), лінія електропередач, повітряна лінія, потокорозподіл потужності, струми короткого замикання, електрична апаратура, електробезпека.

ANNOTATION

L. Migel. Design of a 110/10 kV substation with an adjacent network. Manuscript.

Bachelor's qualification project of OP "Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics" specialty 141 Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification project consists of five sections, a list of used sources, and appendices.

In the project, a scheme was developed (proposed) and elements of the district network with a voltage of 110 kV were selected. The design is made on the basis of electrotechnical calculations: selection of power transformers of nodal substations; determination of power flow distribution based on the circuit opening method and the matrix method; mechanical calculation of the overhead line section; calculation of technical and economic indicators of adopted project decisions based on the method of reduced costs.

As a result of the work, we received a project of an electrical network with high indicators of economic feasibility.

Adopted design decisions allow to proceed to their practical implementation and implementation of the designed power supply system.

Key words: power supply system (EPS), power line, overhead line, power flow distribution, short-circuit currents, electrical equipment, electrical safety.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ.....	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	11
2.1. Вибір силових трансформаторів підстанцій.....	11
2.2. Визначення поточкорозподілу потужності методом розмикання схем.....	12
2.3. Попередній вибір перерізів проводів.....	15
2.4. Визначення поточкорозподілу потужності матричним методом.....	16
2.5. Уточнення перерізу проводів та перевірка за втратами напруги.....	20
2.6. Проєктування підстанції 110/10 кВ.....	21
2.6.1. Розрахунок струмів короткого замикання.....	21
2.6.2. Вибір гнучких шин.....	23
2.6.3. Вибір обладнання напругою 110 кВ.....	24
2.6.3.1. Вибір роз'єднувачів.....	25
2.6.3.2. Вибір високовольтних вимикачів.....	25
2.6.3.3. Вибір трансформаторів струму.....	26
2.6.3.4. Вибір розрядників.....	27
2.6.3.5. Вибір заземлювачів.....	27
2.6.4. Вибір жорстких шин та ізоляторів.....	27
2.6.5. Вибір обладнання напругою 10 кВ.....	28
2.6.5.1. Вибір високовольтних вимикачів.....	29
2.6.5.2. Вибір трансформаторів струму.....	30
2.6.5.3. Вибір трансформаторів напруги.....	31
2.6.5.4. Вибір трансформаторів власних потреб.....	31
РОЗДІЛ 3 МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ.....	32

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Проєктування підстанції 110/10 кВ з прилеглою мережею. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Разраб		Мигель Л.Ф.				Д	6	71
Перев		Грицюк І.В..						
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Затверд		Волинець В.І.						

РОЗДІЛ 4 САПР.....	35
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	37
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	39
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	40
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРЄКТНІ РІШЕННЯ.....	43
ДОДАТОК 2 МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНК ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ.....	57
ДОДАТОК 3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	60
ДОДАТОК 4 РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ МЕТОДОМ РОЗМИКАННЯ СХЕМИ.....	61
ДОДАТОК 5 РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ МАТРИЧНИМ МЕТОДОМ.....	62

ВСТУП

Структура електроенергетичної системи базується на поєднанні ліній електропередачі (ЛЕП) різних рівнів напруги, розподільчих пристроїв та трансформаторних підстанцій. У межах даної роботи виконано розрахунок параметрів районної мережі живлення 110 кВ, що має замкнену двоконтурну конфігурацію. Для таких мереж характерною є певна неоднозначність вхідних даних стосовно того, як саме потужність розподіляється між окремими гілками. У зв'язку з цим, визначення режимів роботи здійснюється за методиками, викладеними у спеціальній літературі [1, 5].

Процес проектування зазвичай складається з двох етапів: застосування наближеного методу для оцінки потокорозподілу потужності та вибору попередніх перерізів провідників, та перевірки і корекції отриманих результатів за допомогою альтернативного розрахункового методу.

Оскільки мережі живлення переважно належать до II категорії надійності, їхня топологія передбачає обов'язкове резервування. Елементи системи мають витримувати післяаварійні режими протягом встановленого часу. Силові трансформатори допускають роботу з перевантаженням у післяаварійний період до 6 годин на добу протягом не більше, ніж 5 днів. Для лінії електропередачі, якщо переріз провідників обрано з урахуванням післяаварійних струмів, не обмежується.

Одним із ключових критеріїв створення мережі є її економічна доцільність. Оптимальний склад електрообладнання та конфігурація схеми енергопостачання визначаються шляхом порівняльного аналізу декількох техніко-економічних варіантів.

Додатково проектом передбачено систему контролю та комерційного обліку енергії, встановлення засобів для моніторингу та корекції режимних параметрів мережі, а також захист від атмосферних перенапруг (грозозахист), оскільки підстанції живильних мереж традиційно проєктуються як об'єкти відкритого типу.

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

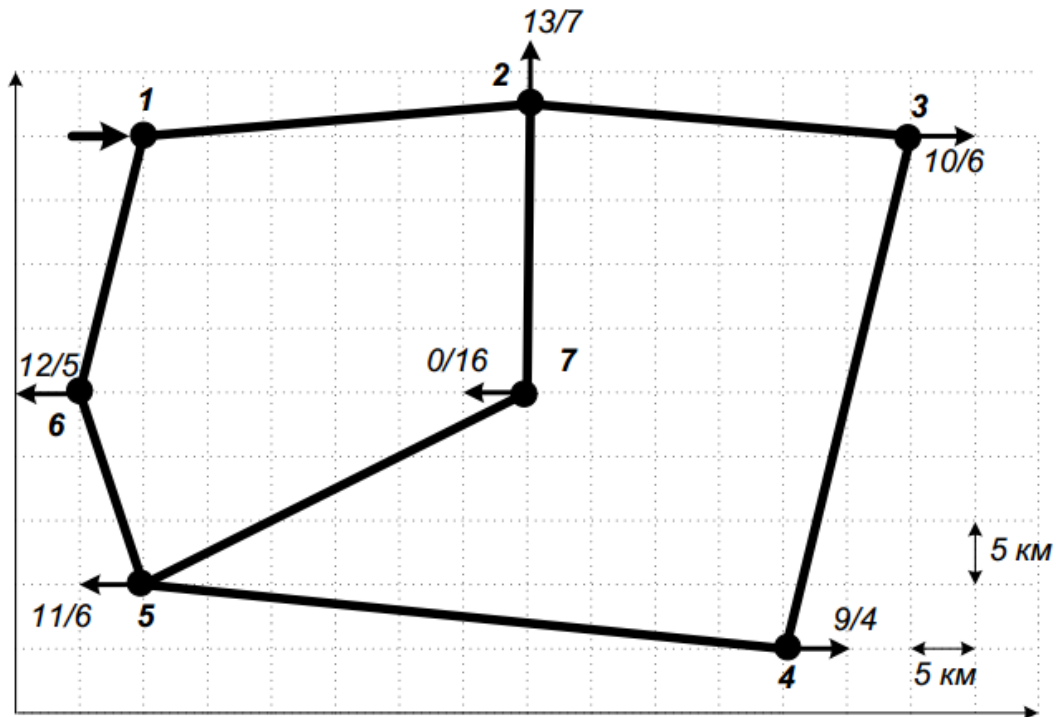


Рисунок 1.1 – Ситуаційний план мережі

Рисунок 1.1 зображує ситуаційний план електричної мережі, що розраховується в даному проєкті. Дана електромережа має два замкнених контури. Вузол 1 є вузлом балансу (залежним вузлом). Вузли 2 – 7 є незалежними.

97% споживачів проєктованої електромережі відносяться до II категорії надійності.

Ситуаційний план виконано у масштабі, отже довжини окремих ділянок схеми розрахуємо за прикладом:

$$L_{1-2} = 5 \cdot \sqrt{6^2 + 0,5^2} = 30,1 \text{ км}$$

m – масштаб схеми (рис.1.1) m = 5 км.

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Проекткування підстанції 110/10 кВ з прилеглою мережею. Пояснювальна записка. ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Разраб		Мигель Л.Ф.					
Перев		Грицюк І.В..					
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.					
Затверд		Волинець В.І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
					Д	9	2

Таблиця 1.1 – Довжини віток схеми

Назва вітки	Довжина вітки, км
L ₁₋₂	30,1
L ₂₋₇	22,5
L ₅₋₇	33,5
L ₅₋₆	15,8
L ₁₋₆	20,6
L ₂₋₃	30,1
L ₃₋₄	41,2
L ₄₋₅	50,2

Електричні провідники розміщені в ряд ,а відстань між ними $D = 1400$ мм, тому за методиками [2, 3, 5]:

$$D_{cp} = 1,26 \cdot 4500 = 5670 \text{ мм}$$

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Номинальна напруга мережі $U_{ном.}$	кВ	110
Середньогометрична відстань між проводами	м	5,670
Коефіцієнт потужності :		
$tg\phi_{сн}$	–	0,73
$tg\phi_{нн}$	–	0,75
Річна тривалість роботи обладнання t	год	8760
Річна тривалість використання максимального навантаження T_{max}	год	5600
Вхідна реактивна потужність на шинах 10кВ підстанції А	МВАр	4,3
Максимальна температура Θ_{max}	°C	+34
Мінімальна температура Θ_{min}	°C	-21
Експлуатаційна температура Θ_e	°C	+15
Температура появи ожеледі $\Theta_{ож}$	°C	-2
Товщина стінки ожеледі b	мм	2,0
Довжина прогону l	м	280
Категорія надійності приєднаних споживачів:		
II	%	97
III	%	3

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Вибір силових трансформаторів підстанцій

На рисунку 1.1 зазначені потужності вузлів схеми в МВт (обмотки середньої та низької напруги). У вузлі 7 встановлені двообмоткові силові трансформатори ($P_{\text{сн}}^7 = 0$), в інших вузлах трансформатори з трьома обмотками.

Для вибору трансформаторів маємо врахувати повні потужності обох обмоток (СН і НН) та коефіцієнт завантаження трансформаторів за умови приєднання до них споживачів II категорії надійності ($k_3 = 0,7$) згідно з [3 – 5].

Таблиця 2.1 – Визначення навантажень трансформаторів

Вузол	$Q_{\text{сн}}, \text{МВАр}$	$Q_{\text{нн}}, \text{МВАр}$	$P, \text{МВт}$	$Q, \text{МВАр}$	$S, \text{МВА}$	$ S , \text{МВА}$	$S_{\text{т}}, \text{МВА}$
2	9,49	5,25	20	14,74	34,74	24,84	17,74
3	7,3	4,5	16	11,8	27,8	19,88	14,2
4	6,57	3	13	9,57	22,57	16,14	11,53
5	8,03	4,5	17	12,53	29,53	21,24	15,17
6	8,76	3,75	17	12,51	29,51	21,11	15,08
7	11,68	0	16	11,68	27,68	19,81	14,15

За [7] визначим навантаження, та виберемо трансформатори для вузлів 2 – 7 (крім вузла балансу 7) згідно з [Д.1.1]

Вибираючи трансформатори для кожного вузла, розглянемо варіанти встановлення трансформаторів з більшою та меншою пропускною здатністю. Кількість трансформаторів в усіх вузлах $N = 2$.

Економічно обґрунтованим буде варіант з меншими затратами.

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Проектування підстанції 110/10 кВ з прилеглою мережею. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів	
Разраб		Мигель Л.Ф.				Д	11	20	
Перев		Грицюк І.В..				ФАБД, гр. ЕЕ-43			
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.							
Затверд		Волинець В.І.							

Таблиця 2.2 – Вибір трансформаторів

Вузол	Тип трансформатора	$\alpha II \cdot S$, МВА	1,4 · St, МВА	P _x , кВт	P _k , кВт
2	ТДТН-25000/110	17,21	35	45	145
	ТДТН-40000/110		56	63	230
3	ТДТН-16000/110	13,77	22,4	32	105
	ТДТН-25000/110		35	45	145
4	ТДТН-16000/110	11,18	22,4	32	105
	ТДТН-25000/110		35	45	145
5	ТДТН-16000/110	14,71	22,4	32	105
	ТДТН-25000/110		35	45	145
6	ТДТН-16000/110	14,63	22,4	32	105
	ТДТН-25000/110		35	45	145
7	ТДН-16000/110	13,72	22,4	26	85
	ТДН-25000/110		35	25	120

Таблиця 2.3 – Техніко-економічне порівняння трансформаторів

Вузол	W, кВт·год	С _e , тис.грн	К, тис.грн	З, тис.грн
2	933995,66	6537,97	9200,00	7691,97
	13344704,84	9340,83	10400,00	10588,83
3	666071,34	4662,50	8000,00	5622,50
	933995,66	6537,97	9200,00	7691,97
4	666071,34	4662,50	8000,00	5622,50
	933995,66	6537,97	9200,00	7691,97
5	666071,34	4662,50	8000,00	5622,50
	933995,66	6537,97	9200,00	7691,97
6	666071,34	4662,50	8000,00	5622,50
	933995,66	6537,97	9200,00	7691,97
7	540869,18	3786,08	6400,00	4554,08
	558492,96	3909,45	7600,00	4821,45

В усіх випадках $Z = \min$ для I варіанту встановлення.

2.2. Визначення поточкорозподілу потужності методом розмикання схеми

Для розрахунку наближеного поточкорозподілу застосуємо метод розмикання схеми, наведений в [Д.1.2].

Суть методу згідно з [5] полягає в наступному:

- Обираємо замкнені контури (в кожному контурі має бути вузол балансу). Відповідно, контур I: 1-2-3-4-5-6-1 з власною потужністю S_I ; контур II: 1-2-7-5-6-1 з власною потужністю S_{II} . Умовно розмикаємо дві вітки 4-5 та 2-7.

- Для розімкнених віток приймаємо потужність рівною власним потужностям контурів. Потужності решти віток визначаємо за I законом Кірхгофа.

- Складаємо рівняння за II законом Кірхгофа для кожного окремого контура та об'єднуємо їх в систему. Через те, що на цьому етапі проектування опори віток невідомі, розрахунок проведемо пропорційно до їх довжин. Для розв'язання системи контурних рівнянь застосовуємо програму MathCad 15. Хід розв'язання системи наведений в додатку [Д.4].

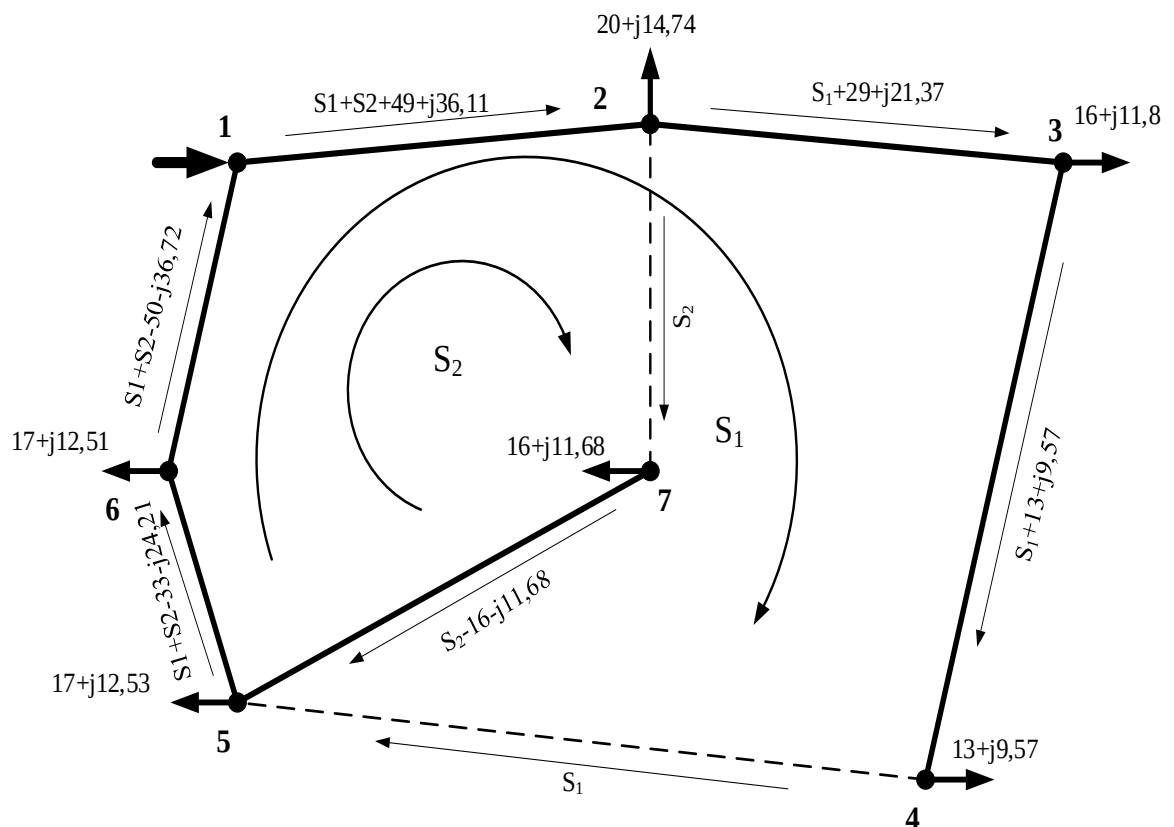


Рисунок 2.1 – Визначення потокорозподілу методом розмикання схеми

$$\left\{ \begin{array}{l} (S_1+S_2+49+j36,11) \cdot 30,1 + (S_1+29+j21,37) \cdot 30,1 + (S_1+13+j9,57) \cdot 41,2 + S_1 \cdot 50,2 + \\ + (S_1+S_2-33-j24,2) \cdot 15,8 + (S_1+S_2-50-j36,72) \cdot 20,6 = 0 \\ (S_1+S_2+49+j36,11) \cdot 30,1 + S_2 \cdot 22,5 + (S_2-16-j11,68) \cdot 33,6 + (S_1+S_2-33-j24,21) \cdot 15,8 + \\ + (S_1+S_2-50-j36,72) \cdot 20,6 = 0 \end{array} \right.$$

$$S_1 = -10,958-8,072j$$

$$S_2 = 10,946-8,001j$$

Додамо значення власних потужностей у вирази для віток схеми (рис.2.1) і одержимо наближений поточкорозподіл:

$$S_{12} = 48,991+36,039j$$

$$S_{23} = 18,042+13,298j$$

$$S_{34} = 2,042+1,495j$$

$$S_{45} = -10,958-8,072j$$

$$S_{56} = -33,009-24,281j$$

$$S_{16} = -50,009-36,791j$$

$$S_{27} = 10,949+8,001j$$

$$S_{57} = -5,051-3,679j$$

Таблиця 2.4 – Повні потужності віток

Вітка	P, кВт	Q, кВАр	S , МВА
12	48,99	36,04	60,82
23	18,04	13,30	22,41
34	2,04	1,49	2,53
45	-10,96	-8,07	13,61
56	-33,01	-24,28	40,98
16	-50,01	-36,79	62,08
27	10,95	8,00	13,56
57	-5,05	-3,68	6,25

Перевірка виконується для вузлів сполучення не менше, ніж трьох віток: 2 і 5:

$$S_{12} - S_{23} - S_{27} - S_2 = 0$$

$$S_{57} + S_{45} - S_{56} - S_5 = 0$$

2.3. Попередній вибір перерізів проводів

За показниками наближеного поточкорозподілу потужності виберемо попередньо тип та перерізи проводів віток схеми з [5] за методикою [Д.1.3]. З метою резервування усі вітки – подвійні.

Враховуємо те, що згідно з рекомендаціями [4], для мереж напругою 110 кВ оптимальними є перерізи від 70 до 240 мм².

Таблиця 2.5 – Попередній вибір проводів

Вітка	I _{норм} , А	n	I _{п.ав.} , А	F, мм ²	Тип проводу
12	159,8	2	316,4	160	2×АС-185
23	58,88	2	117,76	59	2×АС-70
34	6,65	2	13,3	7	2×АС-70
45	35,76	2	71,52	36	2×АС-70
56	107,67	2	215,34	108	2×АС-120
16	163,11	2	326,22	163	2×АС-185
27	35,63	2	71,26	36	2×АС-70
57	16,42	2	32,84	16	2×АС-70

Таблиця 2.6 – Визначення параметрів повітряних ліній

Вітка	г ₀ , Ом/км	d, мм	х ₀ , Ом/км	R, Ом	X, Ом
12	0,17	19,6	0,414	5,12	12,46
23	0,45	11,4	0,448	13,54	13,48
34	0,45	11,4	0,448	18,54	18,46
45	0,45	11,4	0,448	22,59	22,49
56	0,27	15,5	0,428	4,27	6,76
16	0,17	19,6	0,414	3,50	8,53
27	0,45	11,4	0,448	10,12	10,08
57	0,45	11,4	0,448	15,07	15,01

2.4. Визначення поточкорозподілу потужності матричним методом

Щоб уточнити поточкорозподіл, отриманий в п.2.1, маємо застосовувати матричний метод, наведений в [Д.2.4].

Спочатку побудуємо направлений граф електричної мережі (рис.2.2). Аналітичний опис графу виконується за допомогою комплексу матриць:

I матриця інциденцій показує з'єднання віток у незалежних вузлах;

II матриця інциденцій - з'єднання віток у незалежних контурах;

стовпцеві матриці - активної та реактивної потужностей у незалежних вузлах;

квадратні матриці - довжин та активних опорів віток схеми.

При обчисленні приймаємо розподіл активних потужностей пропорційно до довжин віток, реактивних – пропорційно до активних опорів.

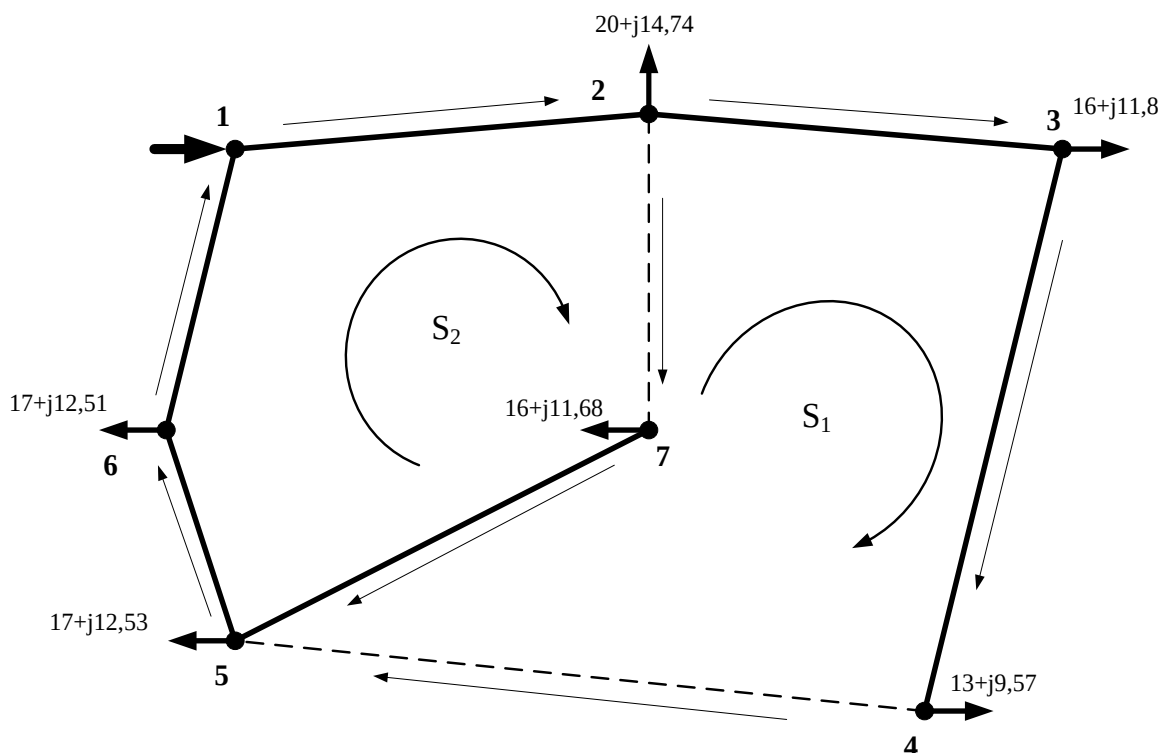


Рисунок 2.2 – Граф електричної мережі

Приймаємо такий порядок віток в матрицях інциденцій, довжин та опорів:

12 23 34 56 57 27 45

Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ЛНТУ.971073.000 ПЗ

Арк.

16

Порядок вузлів:

2 3 4 5 6 7

Порядок контурів:

I II

Перша матриця інциденцій:

$$M = \begin{array}{c|ccccccccc|c} & 12 & 23 & 34 & 56 & 57 & 16 & 27 & 45 & \\ \hline & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 2 \\ & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \\ & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 4 \\ & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 5 \\ & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 6 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 7 \end{array}$$

Друга матриця інциденцій:

$$N = \begin{array}{c|ccccccccc|c} & 12 & 23 & 34 & 56 & 57 & 16 & 27 & 45 & \\ \hline & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & I \\ & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 & II \end{array}$$

Вектор-стовпець активних та реактивних навантажень вузлів:

$$P = \begin{array}{c|c} & \\ \hline & 20 \\ & 16 \\ & 13 \\ & 17 \\ & 17 \\ & 16 \end{array} \qquad Q = \begin{array}{c|c} & \\ \hline & 14,74 \\ & 11,8 \\ & 9,57 \\ & 12,53 \\ & 12,51 \\ & 11,68 \end{array}$$

Матриця довжин віток схеми:

$$L_B = \begin{pmatrix} 30,1 & & & & & & \\ & 30,1 & & & & & \\ & & 41,2 & & & & \\ & & & 15,8 & & & \\ & & & & 33,5 & & \\ & & & & & 20,6 & \\ & & & & & & 22,5 \\ & & & & & & & 50,2 \end{pmatrix}$$

Матриця активних опорів:

$$R_B = \begin{pmatrix} 5,12 & & & & & & \\ & 13,54 & & & & & \\ & & 18,54 & & & & \\ & & & 4,27 & & & \\ & & & & 15,07 & & \\ & & & & & 3,50 & \\ & & & & & & 10,12 \\ & & & & & & & 22,59 \end{pmatrix}$$

Дії з матрицями виконаємо в MathCad 15 – додаток [Д.5].

Таблиця 2.6 – Уточнений поточкорозподіл потужності

Вітка	P, кВт	Q, кВАр	S , МВА
12	48,99	36,78	61,26
23	18,04	13,53	22,55
34	2,04	1,73	2,67
45	-33,01	-23,54	40,54
56	-5,05	-3,17	5,96
16	-50,01	-36,05	61,65
27	10,95	8,51	13,87
57	-10,96	-7,84	13,47

Перевірка для вузлів 2 і 5:

$$S_{12} - S_{23} - S_{27} - S_2 = -3,553 \cdot 10^{-15} - 1,776j \cdot 10^{-15}$$

$$S_{57} + S_{45} - S_{56} - S_5 = 3,553 \cdot 10^{-15} + 3,553j \cdot 10^{-15}$$

Для тих віток, де потужність виявилась від'ємною, наприклад, 4-5, змінюємо напрям потужності на протилежний.

Остаточний поточкорозподіл потужності наведено на рисунку 2.3.

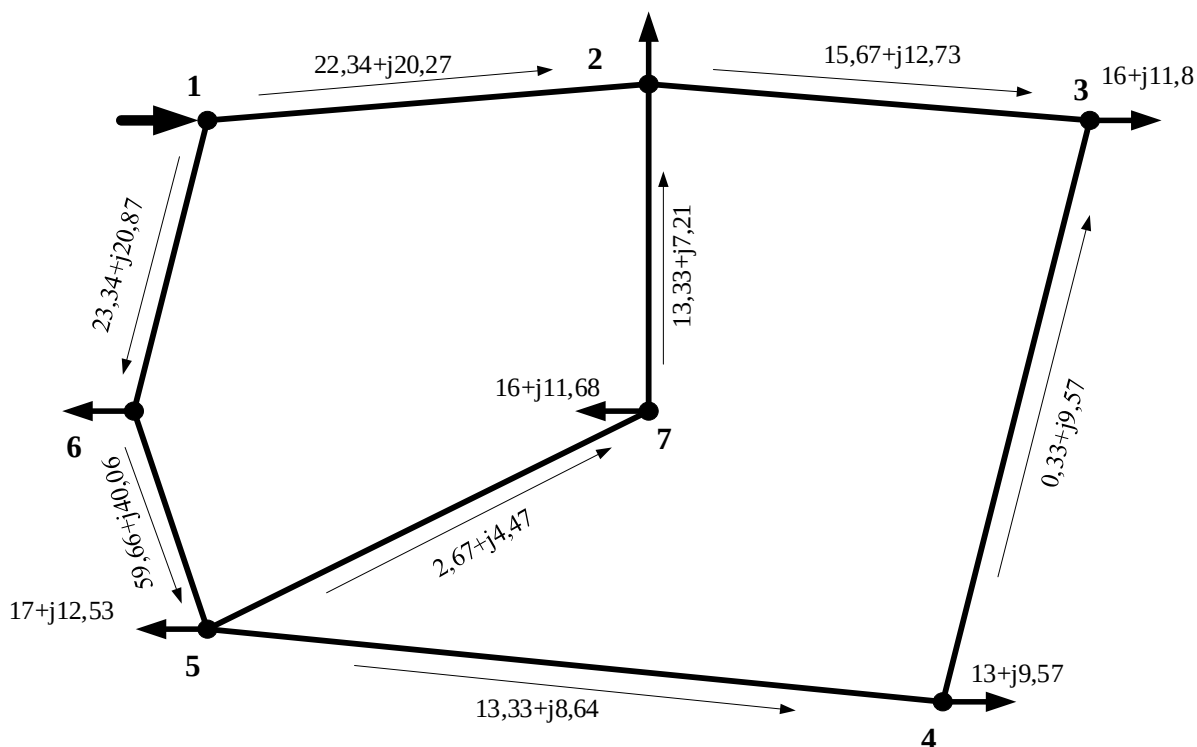


Рисунок 2.3 – Остаточний поточкорозподіл потужності в мережі

2.5. Уточнення перерізу проводів та перевірка за втратами напруги

Проведемо уточнення по перерізу проводів згідно з даними остаточного поточкорозподілу, отриманого в п.2.4.

Таблиця 2.7 – Остаточний вибір проводів віток схеми

Вітка	Іп.ав , А	Інорм , А	F, мм2
12	321,91	160,96	161
23	118,5	59,25	59
34	14,03	7,01	7
45	213,03	106,52	106
56	31,32	15,66	16
16	323,96	161,98	162
27	72,88	36,44	36
57	70,78	35,39	35

Таблиця 2.8 – Перевірка проводів за втратами напруги

Вітка	Провід	r ₀ , Ом/км	d, мм	x ₀ , Ом/км	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	ΔU, кВ
12	2×AC-185	0,17	19	0,42	5,12	12,64	13,64	4,39
23	2×AC-70	0,45	11,4	0,44	13,55	13,24	18,94	2,24
34	2×AC-70	0,45	11,4	0,44	18,54	18,13	25,93	0,36
45	2×AC-120	0,27	15,2	0,43	13,55	21,59	25,49	5,87
56	2×AC-70	0,45	11,4	0,44	7,11	6,95	9,94	0,31
16	2×AC-185	0,17	19	0,42	3,50	8,65	9,33	3,02
27	2×AC-70	0,45	11,4	0,44	10,13	9,90	14,16	1,03
57	2×AC-70	0,45	11,4	0,44	15,08	14,74	21,09	1,49

$$U_1 = 115 \text{ В};$$

$$\Delta U_{13}\% = (\Delta U_{12} + \Delta U_{23}) \cdot 100 / 110 = (4,39 + 2,24) \cdot 100 / 110 = 6,0\%$$

$$\Delta U_{13}^*\% = (\Delta U_{16} + \Delta U_{56} + \Delta U_{45} + \Delta U_{34}) \cdot 100 / 110 = (3,02 + 0,31 + 5,87 + 0,36) \cdot 100 / 110 = 8,7\%$$

$$\Delta U_{17}\% = (\Delta U_{12} + \Delta U_{27}) \cdot 100 / 110 = (4,39 + 1,03) \cdot 100 / 110 = 4,9\%$$

$$\Delta U_{17}^*\% = (\Delta U_{16} + \Delta U_{56} + \Delta U_{57}) \cdot 100 / 110 = (3,02 + 0,31 + 1,49) \cdot 100 / 110 = 4,4\%$$

$$\Delta U < 10 \%$$

2.6. Проектування підстанції 110/10 кВ

На аркуші 3, графічної частини проекту, зображена однолінійна схема підстанції 110/10 кВ, розташованої у вузлі 7. Дана підстанція заживлена від двох джерел 2 і 5 повітряними лініями 2-7 та 5-7, виконаними проводом АС-70.

2.6.1. Розрахунок струмів короткого замикання

За методикою [Д.1.6] розрахуємо струми короткого замикання (КЗ) на боці високої (К1) та низької (К2) напруги підстанції (рис.2.4, 2.5).

Беремо до уваги обидві живлячі лінії (2-7; 5-7); враховуємо, при цьому, що лінії є дволанковими. Застосуємо абсолютне наближене зведення параметрів схеми до базових умов.

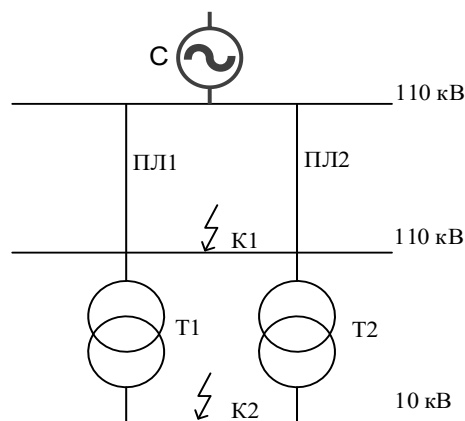


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема короткозамкненого кола

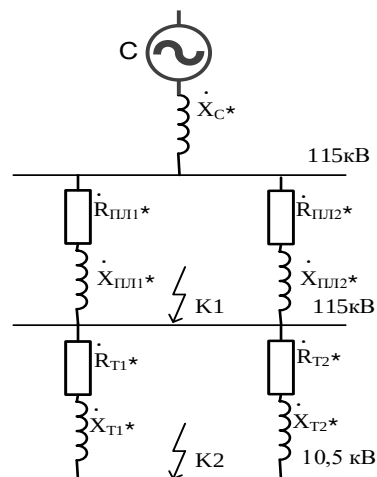


Рисунок 2.5 – Заступна схема короткозамкненого кола

Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ЛНТУ.971073.000 ПЗ

Арк.

21

ПЛ2-7: $l = 22,5$ км; $r_0 = 0,45$ Ом/км; $x_0 = 0,44$ Ом/км.

ПЛ5-7: $l = 33,5$ км; $r_0 = 0,45$ Ом/км; $x_0 = 0,44$ Ом/км.

Визначимо струм КЗ в точці К1:

$$S_K = \infty; X_C = 0;$$

$$S_6 = 100 \text{ МВА}; U_6 = 115 \text{ кВ};$$

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,503 \text{ кА};$$

$$\dot{R}_{\text{ПЛ2-7}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 22,5 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,038 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ2-7}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,44 \cdot 22,5 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,037 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{ПЛ5-7}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 33,5 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,057 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ5-7}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,44 \cdot 33,5 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}'_{\text{ПЛ2-7,5-7}^*} = \frac{0,038 \cdot 0,057}{0,038 + 0,057} = 0,023 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}'_{\text{ПЛ2-7,5-7}^*} = \frac{0,037 \cdot 0,056}{0,037 + 0,056} = 0,022 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{резК1}^*} = \dot{R}'_{\text{ПЛ2-7,5-7}^*} = 0,023 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{резК1}^*} = 0 + 0,018 = 0,022 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{\text{резК1}^*} = \sqrt{0,023^2 + 0,022^2} = 0,032 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{ноК1}} = \frac{0,503}{0,032} = 15,719 \text{ кА};$$

$$i_{y\text{К1}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 15,719 = 31,029 \text{ кА};$$

$$B_{\text{К К1}} = 15,719^2 \cdot 0,25 = 61,771 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Визначимо струм КЗ в точці К2:

$$S_K = \infty; X_C = 0;$$

$$S_6 = 100 \text{ МВА}; U_6 = 10,5 \text{ кВ};$$

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,505 \text{ кА};$$

$$\dot{R}_{\text{ПЛ2-7}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 22,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} \cdot \left(\frac{10,5}{115}\right)^2 = 0,038 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ2-7}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,44 \cdot 22,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} \cdot \left(\frac{10,5}{115}\right)^2 = 0,037 \text{ Ом};$$

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		22

$$\dot{R}_{\Pi\Pi5-7*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 33,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} \cdot \left(\frac{10,5}{115}\right)^2 = 0,057 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\Pi\Pi5-7*} = \frac{1}{2} \cdot 0,44 \cdot 33,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} \cdot \left(\frac{10,5}{115}\right)^2 = 0,056 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}'_{\Pi\Pi2-7,5-7*} = \frac{0,038 \cdot 0,057}{0,038 + 0,057} = 0,023 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}'_{\Pi\Pi2-7,5-7*} = \frac{0,037 \cdot 0,056}{0,037 + 0,056} = 0,022 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{T1*} = \dot{R}_{T2*} = \frac{0,085 \cdot 110^2}{16^2} \cdot 10^{-3} = 0,004 \text{ Ом}$$

$$\dot{X}_{T1*} = \dot{X}_{T2*} = \frac{10,5 \cdot 110^2}{100 \cdot 16} = 8,039 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}'_{T1,2*} = \frac{0,004}{2} = 0,002 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}'_{T1,2*} = \frac{8,039}{2} = 4,019 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{рез}K2*} = 0,002 + 0,203 = 0,205 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{рез}K2*} = 0 + 0,022 + 4,019 = 4,041 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{\text{рез}K2*} = \sqrt{0,205^2 + 4,041^2} = 4,046 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{но}K2} = \frac{5,505}{4,046} = 1,361 \text{ кА};$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,361 = 2,687 \text{ кА};$$

$$B_{K2} = 1,361^2 \cdot 0,25 = 0,463 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

2.6.2. Вибір гнучких шин

Для гнучких шин використаєм провід АС, який вибираємо за струмом навантаження в нормальному режимі більш завантаженої лінії 2-7. Розглянемо метод економічної густини струму [5]. Використовуємо методику [Д.1.7].

$$q_e = \frac{39,80}{1} = 39,8 \text{ мм}^2$$

з [7, табл.79] $\Rightarrow$ провід АС-70: $I_{\text{доп}} = 265 \text{ А}; d = 11,4 \text{ мм};$

з [8 табл. Д.10] $\Rightarrow C = 91 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2;$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{75,21 \cdot 10^6}}{91} = 95,30 \text{ мм}^2 > 70 \text{ мм}^2;$$

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		23

перевірка не виконується, отже приймаємо гнучкі шини, виконані проводом АС-120;

$$D = 1,4 \text{ м};$$

$$f^{(3)} = \frac{1,5 \cdot (17,345 \cdot 10^3)^2}{1,4} \cdot 10^{-7} = 32,23 \text{ Н/м};$$

$$z [8] \text{ м} = 0,492 \text{ кг/м}; g = 1,1 \cdot 9,8 \cdot 0,492 = 5,3 \text{ кг/м};$$

$$z = \frac{32,23}{5,3} = 6,081;$$

$$t_{p.з.} = 0,1 \text{ с}; t_{екв} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ с};$$

$$z [8] \text{ h} = 1,5 \text{ м};$$

$$x = \frac{\sqrt{1,5}}{0,15} = 8,165;$$

Максимально допустиме відхилення шин, м:

$$b_{доп} = 3,5 - 3 \cdot 0,152 - 0,45/2 = 1,3 \text{ м};$$

$$0,08 \text{ м} < 1,3 \text{ м}.$$

Перевірка шин за умовами коронування:

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot (1 + 0,299/\sqrt{0,76}) = 33,4 \text{ кВ/см};$$

$$E = 0,354 \cdot 110/0,76 \cdot \lg(176,4/0,76) = 21,63 \text{ кВ/см};$$

$$23,112 \text{ кВ/см} < 30,06 \text{ кВ/см}.$$

Оскільки умова виконується, то корона в шинах не виникатиме.

Остаточно приймаємо до встановлення гнучкі шини АС – 120.

2.6.3. Вибір обладнання напругою 110 кВ

Відповідно до однолінійної схеми електропостачання, наведеної на аркуші 3 графічної частини і на рисунку 2.6, обираємо електричне обладнання напругою 110 кВ.

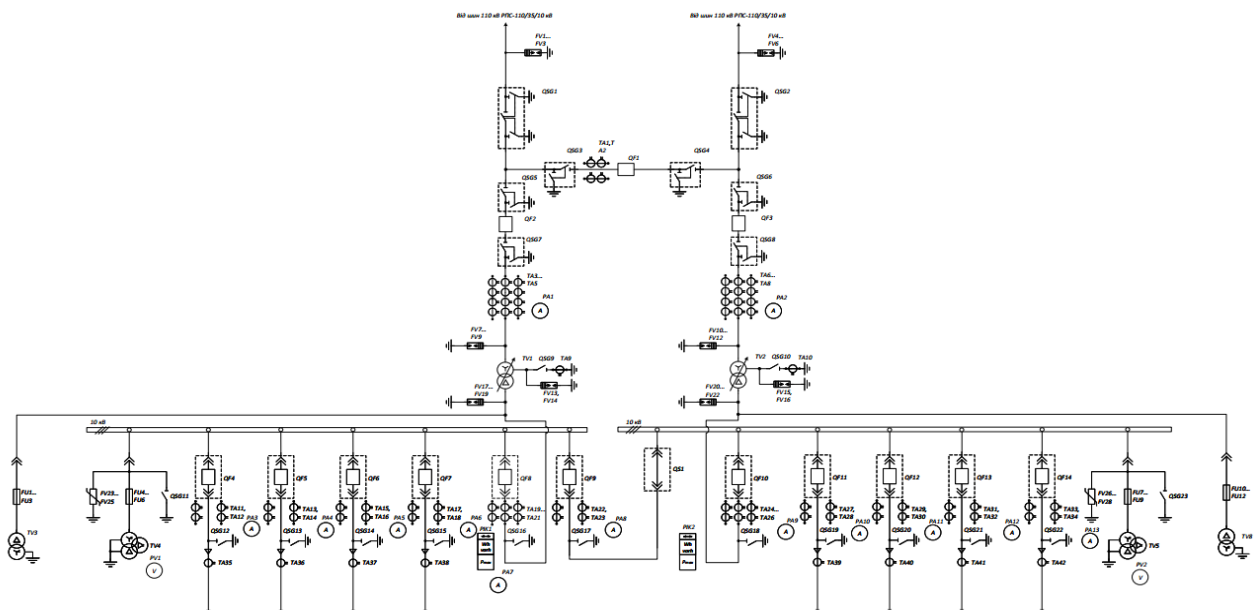


Рисунок 2.6 – Однолінійна схема підстанції 110/10 кВ

2.6.3.1. Вибір роз'єднувачів

На стороні напруги 110 кВ (рис.2.6) встановлені роз'єднувачі QSG1 – QSG6. Роз'єднувачі QSG1, QSG2 з двома заземлюючими ножами: обираємо з [10] РДЗ-2-110/1000 УХЛ 1. Роз'єднувачі QSG3 – QSG6 з одним заземлюючим ножем: обираємо з [10] РДЗ-1-110/1000 УХЛ 1. Перевіряємо за методикою [Д.1.8.1].

$$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ};$$

$$39,8 \text{ А} < 1000 \text{ А};$$

$$79.6 \text{ А} < 1000 \text{ А};$$

$$34,239 \text{ кА} < 80 \text{ кА};$$

$$61,771 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 3969 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.3.2 Вибір високовольтних вимикачів

На стороні 110 кВ встановлено високовольтні вимикачі: QF1 – в ремонтній перемишці; QF2, QF3 – перед силовими трансформаторами.

Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ЛНТУ.971073.000 ПЗ

Арк.

25

З [11] обираємо елегазові вимикачі типу ВЕ/Н-110-3150-40У1 та перевіряємо за методикою [Д.1.8.2].

$$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ};$$

$$39,8 \text{ А} < 3150 \text{ А};$$

$$79.6 \text{ А} < 3150 \text{ А};$$

$$17,345 \text{ кА} < 40 \text{ кА};$$

$$34,239 \text{ кА} < 100 \text{ кА};$$

$$61,771 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.3.3. Вибір трансформаторів струму

Щоб підключити прилади обліку та пристрої релейного захисту встановлюємо трансформатори струму: ТА1, ТА2 – з двома вторинними обмотками типу ТФЗМ 110Б-1-1П-У1 – в ремонтній перемичці; ТА3 – ТА8 – з чотирма вторинними обмотками типу ТФЗМ 110Б-4-1П-У1 – перед силовими трансформаторами.

Трансформатори струму вибираємо з [12] за методикою [Д.1.8.3].

$$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ};$$

$$39,8 \text{ А} < 100 \text{ А};$$

$$79.6 \text{ А} < 100 \text{ А};$$

$$34,239 \text{ кА} < 80 \text{ кА};$$

$$61,771 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 2028 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,835 \text{ Ом} < 30 \text{ Ом}$$

враховуючи [13], вторинне навантаження:

$$r_k = 0,05 \text{ Ом};$$

$$S_{\text{прил}} = 0,8 \cdot 3 + 8 \cdot 2 = 18,4 \text{ ВА};$$

$$r_{\text{прил}} = \frac{18,4}{5^2} = 0,74 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 4}{2,5} = 0,045 \text{ Ом};$$

$$Z_2 \approx r_2 = 0,74 + 0,045 + 0,05 = 0,835 \text{ Ом}.$$

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		26

2.6.3.4. Вибір розрядників

З [14] підберем розрядники:

РВС –110 в схемі головних електричних з'єднань;

РВС – 35, РВС – 20 в нейтралі силового трансформатора.

2.6.3.5. Вибір заземлювачів

З [15] вибираємо заземлювачі ESO-110М УХЛ1:

$$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ};$$

$$39,8 \text{ А} < 1000 \text{ А};$$

$$79.6 \text{ А} < 1000 \text{ А};$$

$$17,345 \text{ кА} < 31,5 \text{ кА};$$

$$34,239 \text{ кА} < 80 \text{ кА};$$

$$61,771 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 2976 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.4. Вибір жорстких шин та ізоляторів

Щоб вибрати жорсткі шини, ізолятори та електричне обладнання на боці напруги 10 кВ потрібно розрахувати струми навантаження в нормальному та післяаварійному режимах підстанції 110/10 (для вузла 7). Шини обираємо з [6] за методикою [Д.1.9].

$$I_{\text{норм.}} = \frac{14,15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 408,96 \text{ А}; \quad I_{\text{п.ав.}} = \frac{14,15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 817,92 \text{ А};$$

$$\text{з [6, табл.ПЗ.4]} \Rightarrow \text{шини } 60 \times 6 \text{ } I_{\text{доп}} = 870 \text{ А};$$

$$\vartheta_{\text{тр.доп.}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}; \quad \vartheta_0 = 10^{\circ}\text{C}; \quad \vartheta_{0.\text{ном.}} = 25^{\circ}\text{C};$$

$$I'_{\text{доп.}} = 870 \cdot \sqrt{\frac{70-10}{70-25}} = 1004,59 \text{ А};$$

$$817,92 \text{ А} < 1004,59 \text{ А};$$

$$C = 91 \text{ А} \cdot \text{с}^{-1} / \text{мм}^2;$$

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		27

$$q = 60 \cdot 6 = 360 \text{ мм}^2 = 3,6 \text{ см}^2;$$

$$q_{\text{мін.}} = \frac{\sqrt{0,464 \cdot 10^6}}{91} = 7,4 \text{ мм}^2;$$

$$360 \text{ мм}^2 > 7,4 \text{ мм}^2;$$

$$J = \frac{0,6 \cdot 6^3}{12} = 10,8 \text{ см}^4;$$

$$l \leq \sqrt{\frac{173,2}{f_0}} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}} = \sqrt{\frac{173,2}{200}} \cdot \sqrt{\frac{10,8}{3,6}} = 1,22 \text{ м};$$

$$1 \text{ м} < 1,22 \text{ м};$$

$$a = 0,3 \text{ м};$$

$$2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (0,006 + 0,06) = 0,132 \text{ м};$$

$$0,3 > 0,132 \text{ м} \Rightarrow k_{\phi} = 1;$$

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot \frac{2688^2}{0,3} = 4,17 \text{ Н/м};$$

$$M = \frac{4,17 \cdot 1^2}{10} = 0,417 \text{ Н/м};$$

$$\sigma_{\text{розр}} = \frac{6 \cdot 0,417}{0,6 \cdot 6^2} = 0,116 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 40 \text{ МПа};$$

$$0,116 \text{ МПа} < 40 \text{ МПа}.$$

З [15, табл. 5.7] вибираєм ізолятори ОФ-10-375 УЗ: з [6 § 4.2]: $k_h = 1$;

$$F = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{2688^2}{0,3} = 4,17 \text{ Н};$$

З [6, табл. 4.3] $F_{\text{руйн.}} = 3675 \text{ Н}$; $F_{\text{доп.}} = 0,6 \cdot 3675 = 2205 \text{ Н}$;

$$4,17 \text{ Н} < 2205 \text{ Н}.$$

2.6.5. Вибір обладнання напругою 10 кВ

Усе електрообладнання по напрузі 10 кВ обираємо у відповідності до однолінійної схеми електропостачання, що зображена на аркуші 3 графічної

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		28

частини і на рисунку 2.6. Обладнання встановлюється в комірках КУ-10Ц, комірки вибираємо з [16] за методикою [Д.1.10].

Таблиця 2.9 – Комплектація комірок КУ-10Ц

Шафа	
Комплектація	Тип
З вакуумним вимикачем	ШВВ
Шафа з трансформатором власних потреб потужністю 40 кВА	ШСТ
Шафа з трансформатором напруги	ШТН
Шафа з лінійним роз'єднувачем	ШПР

Для підвищення безпеки, надійності та зручності обслуговування високовольтного обладнання усі шафи забезпечені викатними елементами.

Технічні характеристики комірок КУ-10Ц подані в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики комірок КУ-10Ц

Назва та позначення параметра	Одиниці вимірювання	Значення параметра
Номінальна напруга	кВ	10
Номінальна робоча напруга	кВ	12
Номінальний струм головних з'єднань шаф для категорії розміщення УЗ	А	1000
Частота	Гц	50
Номінальний струм збірних шин	А	1600
Номінальний первинний струм трансформатора струму	А	80
Номінальний струм відключення вимикача	кА	31,5
Струм термічної стійкості для проміжку часу 3с	кА	31,5
Номінальний струм електродинамічної стійкості головних кіл шаф	кА	81
Номінальна напруга допоміжних кіл	В	20
Габаритні розміри:		
- ширина;	мм	750
- глибина;	мм	1200
- висота.	мм	2000
Маса	кг	1300

2.6.5.1. Вибір високовольтних вимикачів

У відповідності зі схемою (рис.2.6) високовольтні вимикачі встановлено у ввідних QF8, QF10, секційній QF9 та лінійних QF4 – QF7, QF11 – QF14

комірках. З [17] вибираєм вакуумні вимикачі ВВ/ЕС 12-31,5/1250-У1 за методикою [Д.1.8.2].

$$10 \text{ кВ} = 12 \text{ кВ};$$

$$408,96 \text{ А} < 1250 \text{ А};$$

$$817,92 \text{ А} < 1250 \text{ А};$$

$$1,361 \text{ кА} < 31,5 \text{ кА};$$

$$2,687 \text{ кА} < 80 \text{ кА};$$

$$2,687 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 31,5^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.5.2. Вибір трансформаторів струму

У відповідності зі схемою (рис.2.6) трансформатори струму з двома вторинними обмотками розміщені у ввідних ТА19 – ТА23, ТА24 – ТА26, секційній ТА22 – ТА23 та лінійних ТА11 – ТА18, ТА27 – ТА34 комірках. Використаєм трансформатори струму ТОЛ-10-І-3 з [18] за методикою [Д.1.8.3].

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ};$$

$$408,96 \text{ А} < 1000 \text{ А};$$

$$817,92 \text{ А} < 1000 \text{ А};$$

$$1,361 \text{ кА} < 31,5 \text{ кА};$$

$$2,687 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 1,9 \text{ Ом},$$

враховуємо, що $r_K = 0,05 \text{ Ом};$

а також, якщо до трансформаторів підключені лічильники НІК 2303 АПЗТ, тоді згідно з [18]:

$$S_{\text{прил.}} = 10 \text{ ВА};$$

$$R_{\text{прил.}} = 10/5^2 = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{пр}} = 0,0283 \cdot 4/2,5 = 0,045 \text{ Ом};$$

$$z_2 \approx r_2 = 0,4 + 0,045 + 0,05 = 0,495 \text{ Ом}.$$

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		30

2.6.5.3. Вибір трансформаторів напруги

За [20] виберемо трансформатори напруги НАМИ-10-2:

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ};$$

$$60 \text{ В} < 300 \text{ ВА};$$

$$\text{де } S_{2\Sigma} = 2 \cdot 10 \cdot 3 = 60 \text{ ВА}.$$

2.6.5.4. Вибір трансформаторів власних потреб

Щоб забезпечити власні потреби для РП-10 кВ з [20] виберемо трансформатори власних потреб типу ТСКС – 16/10/0,4.

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ

Для проектуванні повітряних ліній враховуються механічні навантаження, що будуть впливати на їхні провідники в процесі експлуатації. А саме: зміна температур, власна вага проводів, тиск вітру, вага ожеледі. Отож під впливом вищезгаданих чинників буде змінюватись величина напруження в матеріалі проводів та стріла провисання.

Будемо розраховувати механічну міцність проводів, якими виконана повітряна лінія 2-7 (має більшу довжину ніж 2-7). В п.2.5 для цієї лінії вибрано провід АС-70. Розрахунки проведемо за методикою [Д.3].

Технічні характеристики проводу визначаємо з [5, табл. Г.2]:

$$F = 68 \text{ мм}^2; d = 11,4 \text{ мм}; G_0 = 0,274 \text{ кг/м}.$$

Дані розрахунку питомих навантажень від власної ваги проводу, ваги ожеледі та тиску вітру заносим в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Питомі навантаження на провід

$\gamma_1, \text{МН/м}^3$	0,04
$\gamma_2, \text{МН/м}^3$	0,011
$\gamma_3, \text{МН/м}^3$	0,051
$Q, \text{МН/м}^2$	391
α	0,85
c_x	1,2
$\gamma_4, \text{МН/м}^3$	0,067
$Q', \text{МН/м}^2$	98
α'	1
c'_x	1,1
$\gamma_5, \text{МН/м}^3$	0,024
$\gamma_6, \text{МН/м}^3$	0,078
$\gamma_7, \text{МН/м}^3$	0,056

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата						
Разраб		Мигель Л.Ф.			Проектування підстанції 110/10 кВ з прилеглою мережею. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перев		Грицюк І.В..						Д	32	3
								ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.								
Затверд		Волинець В.І.								

Відповідно до даних [5,табл.Г.4, Г.5]:

$$\sigma_r = 154 \text{ МПа}, \sigma_{\text{доп}} = 0,5 \cdot \sigma_r = 77 \text{ МПа}$$

Дані для проведення механічного розрахунку візьмемо з таблиці 1.2 розділу 1.

$$l_{\text{кр}} = 77 \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 23 \cdot 10^{-6} \cdot (-2 - (-21))}{0,056^2 - 0,04^2}} = 221,4 \text{ м}$$

$$l = 280 \text{ м} > l_{\text{кр}} = 221,4 \text{ м} \Rightarrow \text{критичні умови } \theta_{\text{ож}}; \gamma_7.$$

$$z [5, \text{таб.Г.4}] \quad E = 63 \cdot 10^3 \text{ МПа}.$$

Для різних сполучень кліматичних умов складемо рівняння стану проводу і визначимо значення напружень.

$$\sigma_{+\text{max}} - \frac{(4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{+\text{max}}^2} - 77 + \frac{(5,6 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77^2} + \\ + 23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (34 - (-21)) = 0;$$

$$\sigma_{-\text{min}} - \frac{(4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{-\text{min}}^2} - 77 + \frac{(5,6 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77^2} + \\ + 23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (-21 - (-21)) = 0;$$

$$\sigma_3 - \frac{(5,1 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_3^2} - 77 + \frac{(5,6 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77^2} + \\ + 23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (-2 - (-21)) = 0;$$

$$\sigma_6 - \frac{(7,8 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_6^2} - 77 + \frac{(5,6 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77^2} + \\ + 23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (-21 - (-21)) = 0;$$

$$\sigma_7 - \frac{(5,6 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_7^2} - 77 + \frac{(5,6 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77^2} + \\ + 23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (-2 - (-21)) = 0;$$

Отримані рівняння мають третій порядок, тому для їх розв'язання будемо застосовувати систему комп'ютерної математики MathCad 15. Хід розв'язання цих рівнянь наведемо в розділі 4 даного проєкту, результати в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Напруження в матеріалі проводу

σ_{max} , МПа	130,796
σ_{min} , МПа	81,476
σ_3 , МПа	106,541
σ_6 , МПа	98,929
σ_7 , МПа	85,93

$$f_{+32} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot 280^2}{8 \cdot 130,796} \approx 3,0 \text{ м}$$

$$f_{-21} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot 280^2}{8 \cdot 81,476} \approx 4,8 \text{ м}$$

$$f_3 = \frac{5,1 \cdot 10^{-2} \cdot 280^2}{8 \cdot 106,541} \approx 4,7 \text{ м}$$

З розрахунків видно, що максимальна стріла провисання буде при мінімальній температурі і навантаженні від власної ваги проводу.

$$L = 280 + \left(\frac{8}{3}\right) \cdot \frac{4,8}{280} = 280,046 \text{ м}$$

$$\Delta = \frac{(280,046 - 280)}{280} \cdot 100 = 0,016 < 0,1 \%$$

$$\sigma_e - \frac{(4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_e^2} - 77 + \frac{(5,6 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77^2} +$$

$$+ 23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (15 - (-21)) = 0;$$

$$\sigma_e = 62,604 \text{ МПа};$$

$$\frac{\sigma_e}{\sigma_T} = \frac{62,604}{150} \cdot 100\% = 41,7\% < 50\%$$

РОЗДІЛ 4

САПР

Щоб розв'язати рівняння стану проводу третього порядку (розд.3) використовуємо систему комп'ютерної математики MathCad 15. Хід розрахунку наведено на рис. 4.1 – 4.5.

$\sigma_{\max} - \frac{(4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{\max}^2} - 77 + \frac{(5.6 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77^2} + 23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot [34 - (-21)] \rightarrow \sigma_{\max} - \frac{329280}{\sigma_{\max}^2} + 111.54789256198347107$	
1 Напруження при найвищій температурі та найбільшому додатковому навантаженні Given $\sigma_{\max} - \left(\frac{329280}{\sigma_{\max}^2} + 111.54789256198347107 \right) = 0$ A1 := Find($\sigma_{\max}$) → (130.79560257993151679 -9.6238550089740228616 + 49.243245677428135189i -9.6238550089740228616 - 49.243245677428135189i) $\sigma_{\max} := A1^T$ $\sigma_{\max} = \begin{pmatrix} 130.796 \\ -9.624 + 49.243i \\ -9.624 - 49.243i \end{pmatrix} \quad \sigma_{\max5} := \sigma_{\max0,0}$ 3 $\sigma_{\max5} = 130.796 \text{ МПа}$	
$\sigma_{\min} - \frac{(4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{\min}^2} - 77 + \frac{(5.6 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 280^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77^2} + 23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot [-21 - (-21)] \rightarrow \sigma_{\min} - \frac{329280}{\sigma_{\min}^2} + 31.852892561983471074$	
2 Напруження при найнижчій температурі та навантаженні від власної ваги проводу Given $\sigma_{\min} - \left(\frac{329280}{\sigma_{\min}^2} + 31.852892561983471074 \right) = 0$ A2 := Find($\sigma_{\min}$) → (81.466831198070058026 -24.806969318043293476 + 58.536353125140370673i -24.806969318043293476 - 58.536353125140370673i) $\sigma_{\min} := A2^T$ $\sigma_{\min} = \begin{pmatrix} 81.467 \\ -24.807 + 58.536i \\ -24.807 - 58.536i \end{pmatrix} \quad \sigma_{\min5} := \sigma_{\min0,0}$ 3 $\sigma_{\min5} = 81.467 \text{ МПа}$	

Рисунок 4.1 – Визначення напружень $\sigma_{\max}$, $\sigma_{\min}$ в матеріалі проводу

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Проектування підстанції 110/10 кВ з прилеглою мережею. Пояснювальна записка.		
Разраб	Мигель Л.Ф.						
Перев	Грицюк І.В..						
Н. Контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затверд	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					Д	35	2
					ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Силові трансформатори підстанції 110/10 та розподільний пристрій 110 кВ, що розташовані у вузлі 7, відкриті. А отже необхідно передбачити захист усього обладнання від грозових перенапруг та прямих ударів блискавки (установити блискавкозахист).

Для цього виконаємо розрахунок за методикою [Д.4], зокрема враховуючи вимоги, наведені в [22].

$$h = 24 \text{ м}; h_{x1} = 7 \text{ м}; h_{x2} = 8,5 \text{ м};$$

$$h_0 = 0,85 \cdot 24 = 20,4 \text{ м};$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot 24) \cdot 24 = 25,248 \text{ м};$$

$$r_{x1} = (1,1 - 0,002 \cdot 24) \cdot (24 - \frac{7}{0,85}) = 16,58 \text{ м};$$

$$r_{x2} = (1,1 - 0,002 \cdot 24) \cdot (24 - \frac{8,5}{0,85}) = 14,728;$$

$$L = 25 \text{ м}; h_c = 20,4 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 24) \cdot (25 - 24) = 20,22 \text{ м};$$

$$r_{cx1} = 25,248 \cdot \frac{20,22 - 7}{20,22} = 16,51 \text{ м};$$

$$r_{cx2} = 25,248 \cdot \frac{20,22 - 8,5}{20,22} = 14,6 \text{ м}.$$

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата						
Разраб		Мигель Л.Ф.			Проектування підстанції 110/10 кВ з прилеглою мережею. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перев		Грицюк І.В..						Д	37	2
								ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.								
Затверд		Волинець В.І.								

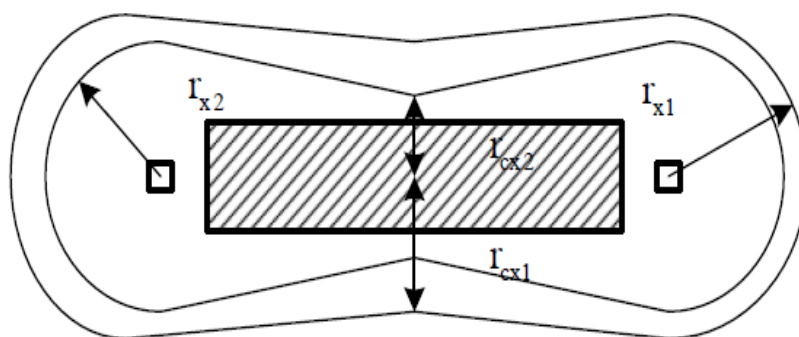
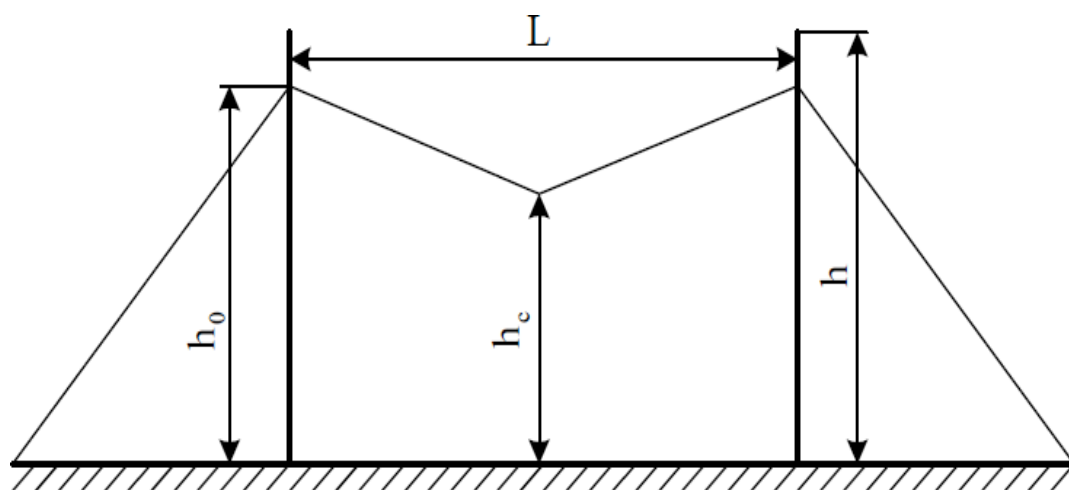


Рисунок 5.1 – Схема блискавкозахисту підстанції

Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ЛНТУ.971073.000 ПЗ

Арк.

38

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Електрична мережа, спроектована в рамках цієї роботи, відповідає вимогам технічної та економічної доцільності, що досягнуто завдяки реалізації таких рішень:

- мережа забезпечує необхідну пропускну здатність як у нормальному, так і в післяаварійному режимах;

- надійність електропостачання споживачів II категорії гарантується можливістю резервування силових трансформаторів, повітряних і кабельних ліній, що здійснюється за допомогою ручного ввімкнення резерву (секційний вимикач QF11 на схемі (рис.2.6));

- наявність ремонтної перемички на рівні 110 кВ спроектованої підстанції 110/10 підвищує гнучкість схеми, полегшує виконання ремонтних робіт та збільшує її надійність;

- регулювання напруги може виконуватися за рахунок пристроїв регулювання під навантаження силових трансформаторів підстанції;

- передбачено захист елементів схеми від струмів аварійних режимів, грозових та експлуатаційних перенапруг;

- розроблено захист обладнання підстанції, розташованого на відкритому повітрі, від прямих ударів блискавки;

- повітряну лінію ділянки 4–5 перевірено на механічну міцність з урахуванням поєднання різних кліматичних факторів (температури, вітру, ожеледі).

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Електричні системи і мережі. Частина 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський ; Вінницький національний технічний університет ; за ред. П. Д. Лежнюка. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,13 Мбайт). Вінниця : ВНТУ, 2020. 200 с.
2. Електричні мережі та системи. Режими роботи розімкнених мереж : навчальний посібник для студентів усіх форм навчання та студентів-іноземців напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / уклад. В.В. Кирик. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 130 с.
3. Електричні мережі та системи: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : С. П. Шевчук, О. В. Мейта. Електронні текстові дані (1 файл: 4,46 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 167 с.
4. Правила улаштування електроустановок : затв. наказом Міненерговугілля України від 21 липня 2017 р. №476. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 620 с.
5. Електричні системи та мережі : методичні вказівки до виконання курсової роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання ; уклад. І.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2024. 72с.
6. Давиденко Л.В., Коменда Н.В, Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об’єктів : практикум : навчальний

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		40

посібник. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.

7. Трансформатори силові типу ТМ. URL :
http://cabex.com.ua/produkcija//transformatori_silovie_tipa_tm.html
8. Грицюк Ю.В. Електрична частина станцій і підстанцій. Методичні вказівки до практичних занять. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – 96 с.
9. Електрична частина станцій і підстанцій : методичні вказівки до виконання курсового проекту ; уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2014. 84с.
10. Високовольтне і низьковольтне обладнання «УкрЕлектро». URL :
<https://ukrelektro.com.ua/ua/p4792800-razedinitel-rdz-1101000.html>
11. CNC Electric <http://www.neoelectric.ua/eq/ben/ben110/contact.htm>
12. Високовольтне і низьковольтне обладнання «УкрЕлектро». URL :
<https://ukrelektro.com.ua/ua/p4430526-transformator-toka-tfzm.html>
13. Реле струму. URL : https://rza.org.ua/rele/read/Rele-toka--RT-40-i-RT-140--rele-maksimalnogo-toka_10.html
14. Вольтен. URL : <https://volten.com.ua/ua/p15095902-razryadnik-rvs-110>
15. Вольтен. URL : <https://volten.com.ua/ua/p15101085-zazemliteli-zon-110m.html>
16. Комплектні розподільні пристрої серій КУ-10 і КУ-10Ц : технічний опис. РЗБА, 2022.
17. ENERGY GROUP. Вакуумні вимикачі ВВ/ЕС. URL : eg-ltd.com.ua/hroduction/ekv-6-10-kv-uk/vakuumnyj-vymykach/htm
18. Беонтоп. Трансформатори струму. URL :
<https://beontop.com.ua/products/tolu-10-3>
19. Електролічильник NIK 2303 АПЗТ 1000МЕ 5х120А (2303АПЗТ). URL :
https://panelectro.ua/ua/catalog/elektroschetchik_nik_2303_ap3t_1000me_5kh120a_2303ap3t.html
20. ПрАТ «ЗТР». URL : <http://www.ztr.ua/ua/products> ТОВ «Кварц». Запобіжники високовольтні серії ПКТ (ПТ). URL :

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		41

<https://quartz.all.biz/uk/zapobizhnyky-vysokovoltni-plavki-seriyi-pkt-pt-g13730>

21.Грозозахист підстанцій: http://ni.biz.ua/13/13_16/13_161523_grozoashchita-podstantsiy.html.

					ЛНТУ.971073.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		42