

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 двоконтурної районної електричної мережі»

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-41**

Іноземцев Максим Юрійович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Грицюк Юрій Віталійович

(підпис)

Кваліфікаційний проект

допущено до захисту

«___» _____ 20__ р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Луцьк - 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет архітектури, будівництва та енергетики

Кафедра електричної інженерії

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 14 Електрична інженерія

Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Грицюк Ю.В.

“ ” 2026 р.

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Іноземцеву Максиму Юрійовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1.Тема кваліфікаційного проєкту: Проектування двоконтурної районної електричної мережі

Керівник проєкту: Грицюк Юрій Віталійович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНЗ від "31" грудня 2026 року № 971/01-07

2.Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційного проєкту 15.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Ситуаційний план; номінальна напруга мережі;
навантаження обмоток середньої і низької напруги; середньогометрична відстань між
проводами; річна тривалість використання максимального навантаження; проводи на
опорах розміщені трикутником; коефіцієнти реактивної потужності для обмоток
середньої і низької напруги; максимальна, мінімальна, експлуатаційна температура;
температура появи ожеледі; товщина стінки ожеледі.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Коротка характеристика об'єкту проектування.

2. Основні проєктні рішення.

3. Механічний розрахунок ділянки повітряної лінії.

4. САПР.

5. Електробезпека.

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

1. Ситуаційний план.

2. Визначення поточкорозподілу потужності в мережі (плакат).

3. Однолінійна схема підстанції 110/10 кВ.

4. План і розріз підстанції 110/10 кВ.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Коротка характеристика об'єкту проектування	Грицюк Ю.В.		
2. Основні проектні рішення	Грицюк Ю.В.		
3. Механічний розрахунок ділянки повітряної лінії	Грицюк Ю.В.		
4. САПР	Грицюк Ю.В.		
5. Електробезпека	Грицюк Ю.В.		

7. Дата видачі завдання

” 3 ” січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційного проекту бакалавра	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Коротка характеристика об'єкту проектування	03.02.2026	
2	Основні проектні рішення	03.03.2026	
3	Механічний розрахунок ділянки повітряної лінії	17.03.2026	
4	САПР	24.03.2026	
5	Електробезпека	07.04.2026	
6	Оформлення пояснювальної записки	21.04.2026	
7	Оформлення графічного матеріалу	10.05.2026	
8	Перевірка на плагіат кваліфікаційного проекту	15.05.2026	

8. Затвердження відповідності графічного матеріалу вимогам нормативних документів

№ з/п	Назва креслення	Підпис	Дата
1	Ситуаційний план.		
2	Визначення поточкорозподілу потужності в мережі (плакат).		
3	Однолінійна схема підстанції 110/10 кВ.		
4	План і розріз підстанції 110/10 кВ.		

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Іноземцев М.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційного проекту

(підпис)

Грицюк Ю.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Іноземцев М.Ю. Проектування двоконтурної районної електричної мережі. 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 проектних рішень на основі методу приведених затрат.

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

Прийняті проектні 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

M. Inozemtsev. Design of a two-circuit district electric 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 схеми.....	13
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.....	19
2.6. Проєктування підстанції 110/10 кВ.....	20
2.6.1. Розрахунок компенсації реактивної потужності.....	21
2.6.2. Розрахунок струмів короткого замикання.....	21
2.6.3. Вибір гнучких шин.....	24
2.6.4. Вибір обладнання напругою 110 кВ.....	26
2.6.4.1. Вибір роз’єднувачів.....	26
2.6.4.2. Вибір високовольтних вимикачів.....	26
2.6.4.3. Вибір трансформаторів струму.....	27
2.6.4.4. Вибір розрядників.....	27
2.6.4.5. Вибір заземлювачів.....	27
2.6.5. Вибір жорстких шин та ізоляторів.....	28
2.6.6. Вибір обладнання напругою 10 кВ.....	29
2.6.6.1. Вибір високовольтних вимикачів.....	30
2.6.6.2. Вибір трансформаторів струму.....	30
2.6.6.3. Вибір трансформаторів напруги.....	31
2.6.6.4. Вибір трансформаторів власних потреб.....	31

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проєктування двоконтурної районної електричної мережі. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Іноземцев М.Ю.						
Перевір.		Грицюк Ю.В.					6	70
						ФАБЕ, гр.ЕЕ-41		
Н. контр.		Вашелюк Ю.І.						
Затверд.		Волинець В.І.						

РОЗДІЛ 3 МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ.....	32
РОЗДІЛ 4 САПР.....	35
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	38
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	39
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	40
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	43
ДОДАТОК 2 МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ.....	60
ДОДАТОК 3 БЛИСКАВКОЗАХИСТ.....	64
ДОДАТОК 4 РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ МЕТОДОМ РОЗМИКАННЯ СХЕМИ.....	65
ДОДАТОК 5 РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ МАТРИЧНИМ МЕТОДОМ.....	66

ВСТУП

Згідно з [1 – 5] електричні мережі поділяють за призначенням на розподільні, живильні та системоутворюючі. Проектована мережа напругою 110 кВ належить до живильних.

При розрахунку живильних електричних мереж відповідно до [5] враховують такі параметри заступної схеми: активний та реактивний опори; ємнісну провідність. Активною провідністю в мережах напругою до 330 кВ нехтують, оскільки імовірність появи втрат на корону є низькою.

Ємнісна провідність повітряних ліній обумовлює протікання сумісно із струмом навантаження ємнісних зарядних струмів. Тобто лінія є споживачем ємнісної зарядної потужності, яку враховують при розрахунку компенсації реактивної індуктивної потужності.

Проектована мережа є замкненою та складається з двох незалежних контурів. Це дозволяє забезпечити резервування у випадку виходу з ладу джерела живлення.

Згідно з [1, 5] напруги розраховують в усіх незалежних вузлах та оцінюють роботу мережі в нормальному та післяаварійному режимах.

Для забезпечення надійності електропостачання між незалежними вузлами повітряні лінії виконують з двох паралельних ланок, кожна з яких в нормальному режимі витримує половину навантаження, а в післяаварійному – повне навантаження між вузлами.

Підстанції у вузлах також виконують двотрансформаторними.

Крім того, проєктовані повітряні лінії електропередавання перевіряють за мехнічною міцністю під дією таких чинників, як ожеледь, вітер, перепади температури, тощо.

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

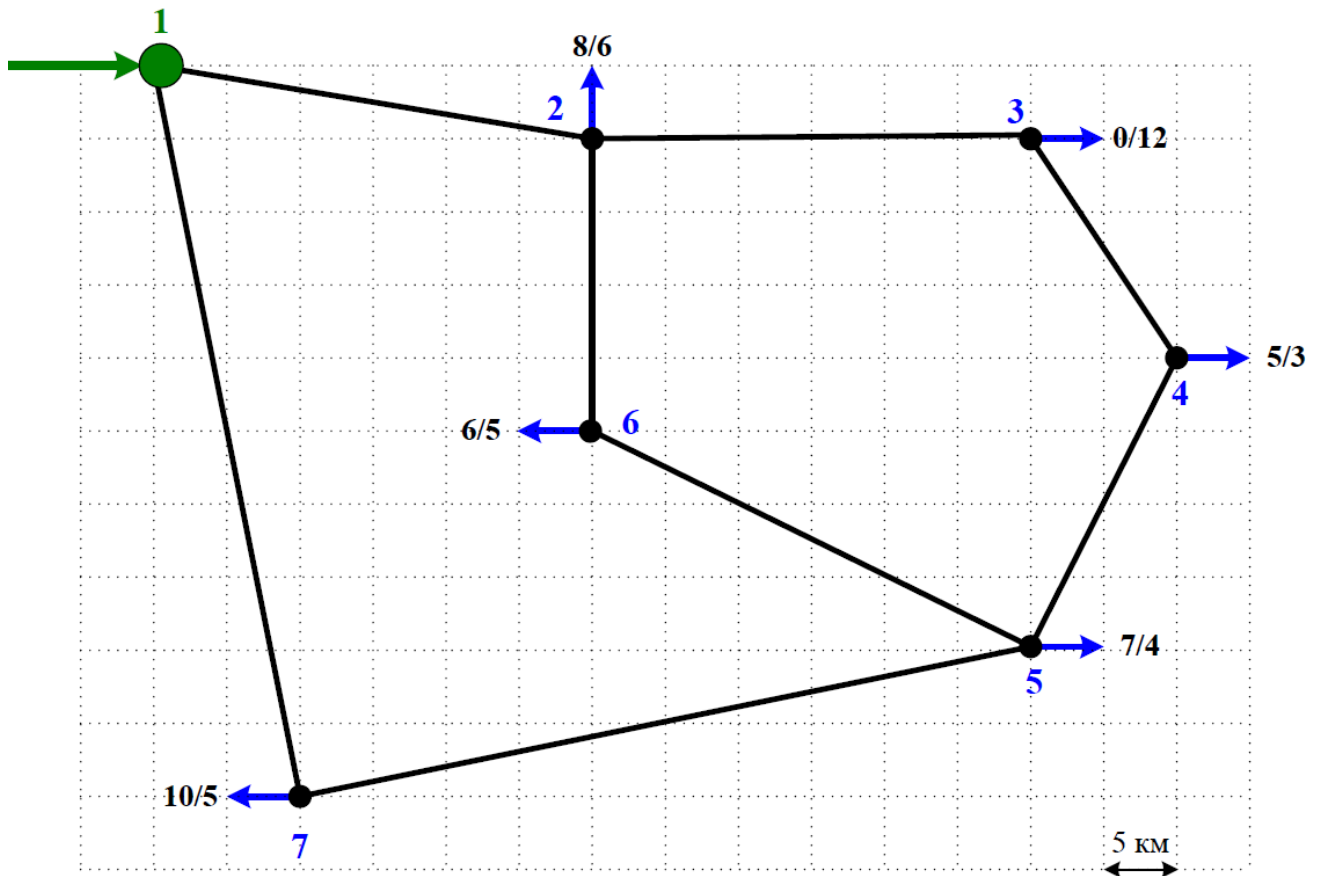


Рисунок 1.1 – Ситуаційний план мережі

На рисунку 1.1 наведено ситуаційний план проєктованої живильної мережі в масштабі 1:2500000.

Живлення в мережу приходить через вузол 1, який є вузлом балансу. В незалежних вузлах 2–7 встановлено трансформаторні підстанції, до яких приєднано споживачів електричної енергії напругою 35 та 10 кВ. У вузлі 3 приєднано лише споживачів напругою 10 кВ.

До технічного завдання до проєкту також включені значення активних навантажень кожної підстанції, МВт (рис.1.1) та методані для здійснення механічного розрахунку (табл.1.2).

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Іноземцев М.Ю.			Проекткування двоконтурної районної електричної мережі. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.		Грицюк Ю.В.					9
							2
Н. контр.		Вашелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕ–41	
Затверд.		Волинець В.І.					

Розрахунок довжин віток схеми, км, відповідно до ситуаційного плану (рис.1.1) наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Довжини віток схеми

Назва вітки	Довжина вітки, км
L_{1-2}	30,41
L_{2-3}	30,00
L_{2-6}	20,00
L_{1-7}	50,99
L_{5-7}	50,99
L_{4-5}	22,36
L_{3-4}	18,03
L_{5-6}	33,54

Проводи на опорах розміщені в ряд.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Номінальна напруга мережі $U_{ном}$	кВ	110
Середньогометрична відстань між проводами $D_{ср}$	м	$1,26 \cdot 4450 = 5607$
Коефіцієнти потужності:		
$tg \varphi_{сн}$	–	0,78
$tg \varphi_{нн}$	–	0,76
Річна тривалість роботи обладнання τ	год	8760
Річна тривалість використання максимального навантаження T_{max}	год	6550
Вхідні реактивна потужність на шинах 10 кВ підстанції А	МВАр	4,3
Максимальна температура θ_{max}	$^{\circ}C$	+38
Мінімальна температура θ_{min}	$^{\circ}C$	-23
Експлуатаційна температура θ_e	$^{\circ}C$	+14
Температура появи ожеледі $\theta_{ож}$	$^{\circ}C$	-1,5
Товщина стінки ожеледі b	мм	2,5
Довжина прогону l	м	300
Категорія надійності приєднаних споживачів:		
II	%	93
III	%	7

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Вибір силових трансформаторів підстанцій

При виборі трансформаторів підстанцій, окрім їх навантаження та кількості, потрібно враховувати частку підключених споживачів III категорії, яких на час проведення ремонту можна відключити.

Для отримання навантажень кожного вузла розраховуємо:

реактивні навантаження обмоток середньої та низької напруги;

сумарні активні та реактивні навантаження кожного вузла;

повне навантаження вузлів та його модуль.

Для вибору трансформаторів розраховуємо необхідну потужність трансформаторів вузла, враховуючи, що підстанція двотрансформаторна.

Марку та характеристики трансформаторів обираємо з [5].

Для кожної підстанції приймаємо два можливих варіанти трансформаторів (більшої та меншої потужності) та виконуємо їх техніко-економічне порівняння.

Таблиця 2.1 – Визначення навантажень трансформаторів

Вузол	$Q_{\text{сн}}$, МВАр	$Q_{\text{нн}}$, МВАр	P, МВт	Q, МВАр	S, МВА	$ S $, МВА	S_T , МВА
2	8	6	5,92	4,38	14	10,30	17,38
3	0	12	0,00	8,76	12	8,76	14,86
4	5	3	3,70	2,19	8	5,89	9,93
5	7	4	5,18	2,92	11	8,10	13,66
6	6	5	4,44	3,65	11	8,09	13,65
7	10	5	7,40	3,65	15	11,05	18,63

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування двоконтурної районної електричної мережі. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Іноземцев М.Ю.										11	21
Перевір.	Грицюк Ю.В.											
Н. контр.	Вашелюк Ю.І.											
Затверд.	Волинець В.І.							ФАБЕ, гр.ЕЕ–41				

Таблиця 2.2 – Вибір трансформаторів

Вузол	Тип трансформатора	$\alpha_{II} \cdot S$, МВА	$1,4 \cdot S_T$, МВА	P_X , кВт	P_K , кВт
2	ТДТН – 16000 / 110	16,16	22,4	32	105
	ТДТН – 25000 / 110		35	45	145
3	ТМН – 10000 / 110	13,82	14	18	60
	ТДН – 16000 / 110		22,4	26	85
4	ТДТН – 10000 / 110	9,24	14	23	80
	ТДТН – 16000 / 110		22,4	32	105
5	ТДТН – 10000 / 110	12,70	14	23	80
	ТДТН – 16000 / 110		22,4	32	105
6	ТДТН – 10000 / 110	12,70	14	23	80
	ТДТН – 16000 / 110		22,4	32	105
7	ТДТН – 16000 / 110	17,33	22,4	32	105
	ТДТН – 25000 / 110		35	45	145

Таблиця 2.3 – Техніко-економічне порівняння трансформаторів

Вузол	W, кВт·год	C_e , тис.грн	K, тис.грн	З, тис.грн
2	685380,53	3084,21	8000	4084,2
	960660,73	4322,97	9200	5473,0
3	386640,30	1739,88	5600	2439,9
	556500,43	2504,25	6400	3304,3
4	498000,40	2241,00	7800	3216,0
	685380,53	3084,21	8000	4084,2
5	498000,40	2241,00	7800	3216,0
	685380,53	3084,21	8000	4084,2
6	498000,40	2241,00	7800	3216,0
	685380,53	3084,21	8000	4084,2
7	685380,53	3084,21	8000	4084,2
	960660,73	4322,97	9200	5473,0

За результатами порівняння (табл.2.3) обрали:

вузол 2, 7 – $2 \times$ ТДТН – 16000 / 110;

вузли 4, 5, 6 – $2 \times$ ТДТН – 10000 / 110;

вузол 3 – $2 \times$ ТМН – 10000 / 110.

2.2. Визначення поточкорозподілу потужності методом розмикання схеми

Для визначення наближеного поточкорозподілу потужності застосовуємо метод розмикання схеми [5], який дозволяє виконувати розрахунки відносно довжин віток схеми:

розмикаємо умовно вітки 5-6, 3-4;

присвоюємо розімкненим віткам значення власних потужностей контурів (S_1 , S_2 відповідно);

складаємо рівняння потоків потужностей для решта віток за I законом Кірхгофа;

складаємо два контурних рівняння за II законом Кірхгофа шляхом множення повної потужності вітки на її довжину; для розв'язання системи використовуємо MathCad 15 [Д.4].

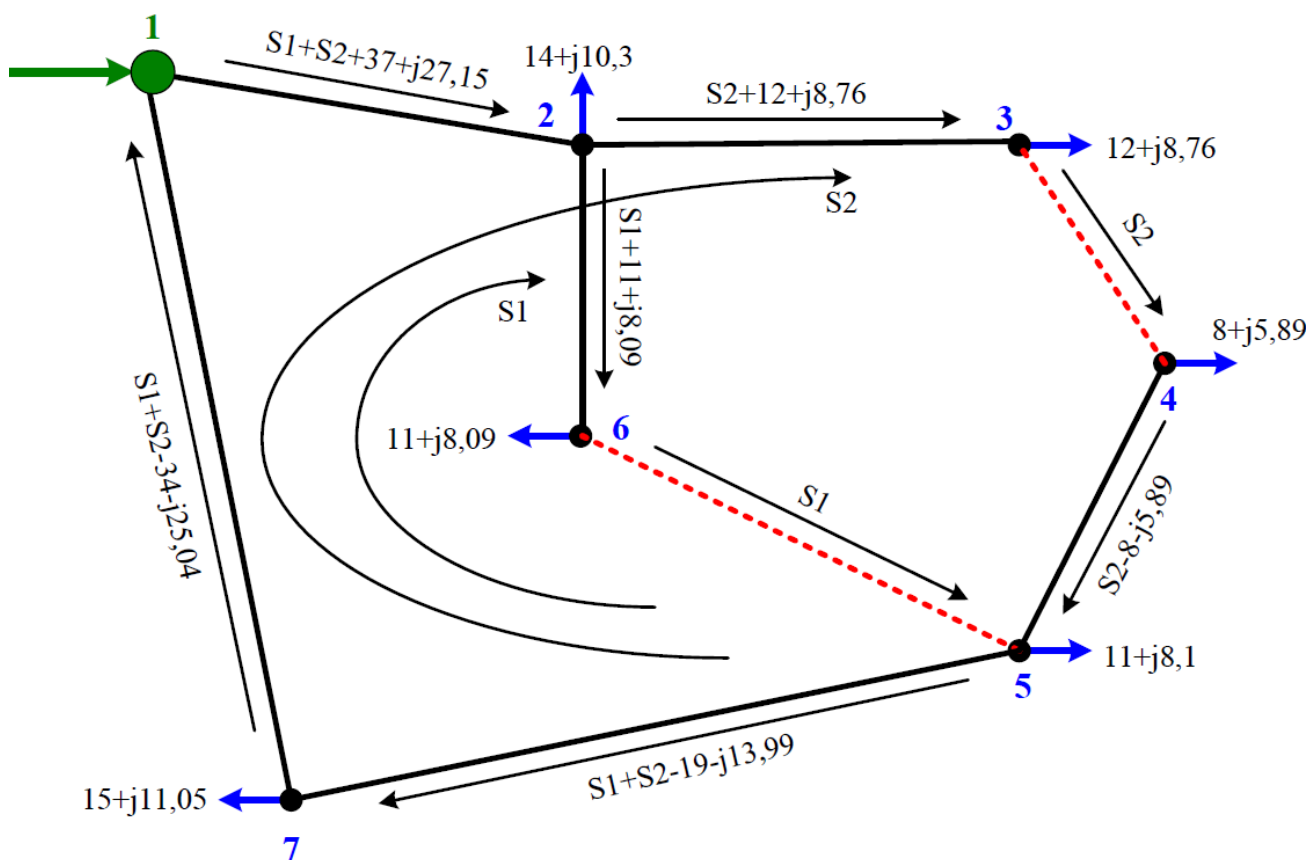


Рисунок 2.1 – Визначення поточкорозподілу методом розмикання схеми

$$\left\{ \begin{aligned} & (S_I + S_{II} + 37 + j27,15) \cdot 30,41 + (S_{II} + 12 + j8,76) \cdot 30 + \\ & + S_{II} \cdot 30,41 + S_I \cdot 18,03 + (S_I - 8 - j5,89) \cdot 22,36 + \\ & + (S_I + S_{II} - 19 - j13,09) \cdot 50,99 + (S_I + S_{II} - 34 - j25,04) \cdot 50,99 = 0, \\ & (S_I + S_{II} + 37 + j27,15) \cdot 30,41 + (S_I + 11 + j8,09) \cdot 20 + \\ & + S_I \cdot 33,54 + (S_I + S_{II} - 19 - j13,09) \cdot 50,99 + \\ & + (S_I + S_{II} - 34 - j25,04) \cdot 50,99 = 0. \end{aligned} \right.$$

$$S_I = 4,48 + j3,137,$$

$$S_{II} = 3,96 + j2,822.$$

Наближений поточкорозподіл:

$$S_{12} = 45.44 + 33.109i$$

$$S_{23} = 15.96 + 11.582i$$

$$S_{17} = -28.56 - 18.081i$$

$$S_{57} = -10.56 - 8.031i$$

$$S_{45} = -4.04 - 3.068i$$

$$S_{26} = 15.48 + 11.227i$$

$$S_{34} = 3.96 + 2.822i$$

$$S_{56} = 4.48 + 3.137i$$

Таблиця 2.4 – Повні потужності віток

Вітка	P, кВт	Q, кВАр	$ \dot{S} $, МВА
1 – 2	45,44	33,11	56,22
2 – 3	15,96	11,58	19,72
1 – 7	-28,56	-18,08	33,80
5 – 7	-10,56	-8,03	13,27
4 – 5	-4,04	-3,07	5,07
2 – 6	15,48	11,23	19,12
3 – 4	3,96	2,82	4,86
5 – 6	4,48	3,14	5,47

Перевірку виконуємо для вузлів 2, 5, які знаходяться на межі поділу контурів:

$$S_{12} - S_{23} - S_{26} - s_2 = 45,44 + j33,109 - 15,96 - j11,582 - \\ -15,48 - j11,227 - 14 - j10,3 = -(3,55 + j7,1) \cdot 10^{-15}, \\ S_{45} - S_{57} + S_{56} - s_5 = -4,04 - j3,068 + 10,56 + j8,031 + \\ +4,48 + j3,137 - 11 - j8,09 = j1,8 \cdot 10^{-15}.$$

Напрямки потоків потужностей у вітках з від'ємними значеннями змінюємо на протилежні.

2.3. Попередній вибір перерізів проводів

Тип та характеристики проводів повітряних ліній електропередавання обираємо з [5]. Перерізи проводів визначаємо за економічною густиною струму [5].

Розраховуємо активні та реактивні опори віток заступної схеми електричної мережі.

Таблиця 2.5 – Попередній вибір проводів

Вітка	$I_{\text{норм}}, \text{A}$	n	$I_{\text{п.ав}}, \text{A}$	F, мм ²	Провід
1–2	147,72	2	295,44	148	2 × АС – 150
2–3	51,81	2	103,62	52	2 × АС – 70
1–7	88,81	2	177,63	89	2 × АС – 95
5–7	34,86	2	69,72	35	2 × АС – 70
4–5	13,33	2	26,66	13	2 × АС – 70
2–6	50,24	2	100,49	50	2 × АС – 70
3–4	12,78	2	25,55	13	2 × АС – 70
5–6	14,37	2	28,74	14	2 × АС – 70

Таблиця 2.6 – Визначення параметрів повітряних ліній

Вітка	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	d, мм	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	R, Ом	X, Ом
1–2	0,21	16,8	0,340	6,387	10,349
2–3	0,45	11,4	0,365	13,500	10,935
1–7	0,33	13,5	0,354	6,600	7,079
5–7	0,45	11,4	0,365	22,946	18,586
4–5	0,45	11,4	0,365	22,946	18,586
2–6	0,45	11,4	0,365	10,062	8,151
3–4	0,45	11,4	0,365	8,112	6,571
5–6	0,45	11,4	0,365	15,093	12,226

2.4. Визначення поточкорозподілу потужності матричним методом

Для уточнення поточкорозподілу потужності застосовуємо матричний метод [5], який дозволяє виконувати розрахунки відносно активних опорів віток схеми.

Для цього будуємо граф мережі (рис.2.2), що складається з дерева (позначено синім кольором) та двох хорд (позначено помаранчевим).

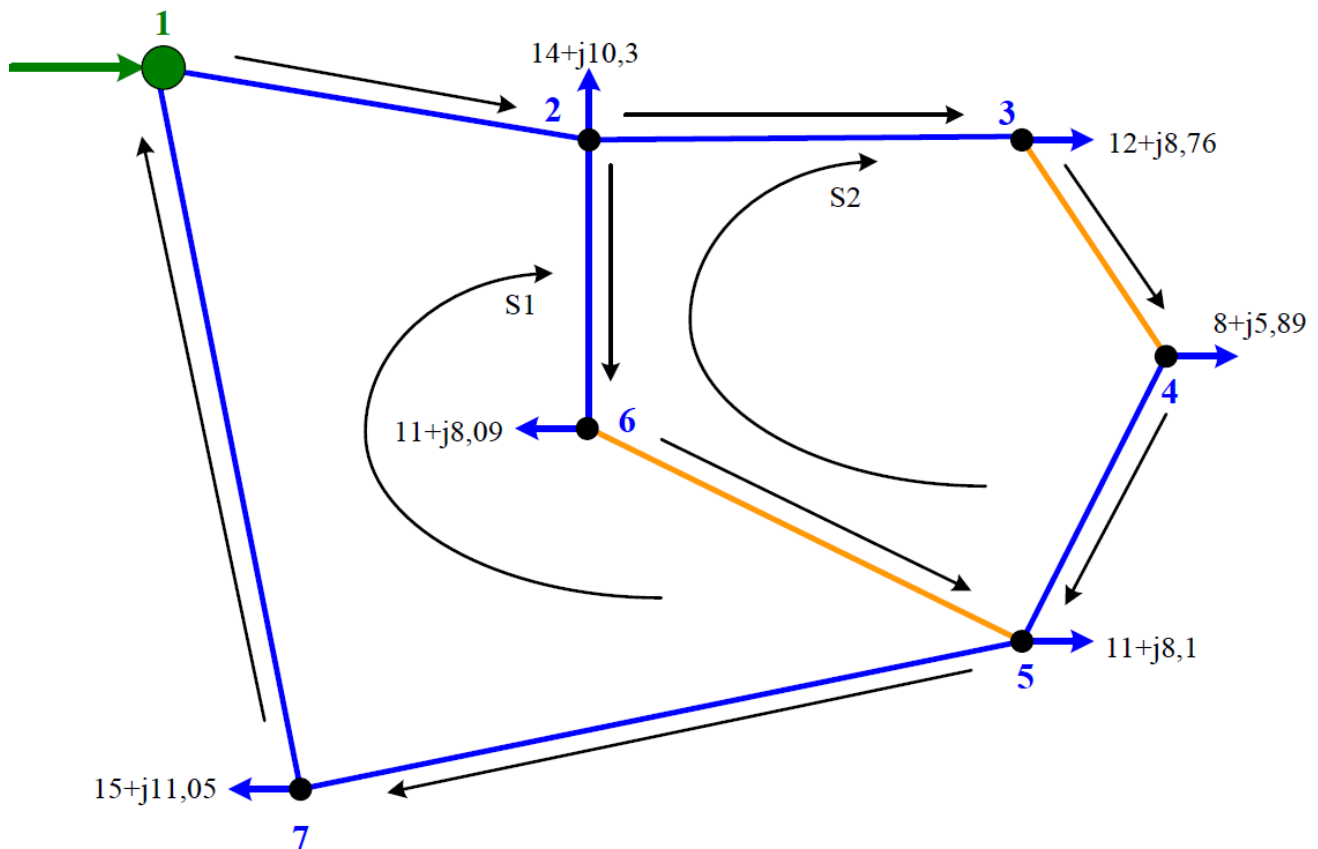


Рисунок 2.2 – Граф електричної мережі

За графом формуємо першу та другу матриці інциденцій, матриці довжин та активних опорів віток схеми, матриці активних та реактивних навантажень незалежних вузлів.

Використовуємо методику [Д.1.4]; розрахунки виконуємо в MathCad 15 [Д.5].

Послідовність вузлів та віток у матрицях відповідає даним таблиць 2.1 та 2.4 відповідно.

$$M = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$N = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 \end{vmatrix}$$

$$\dot{P} = \begin{vmatrix} 14 \\ 12 \\ 8 \\ 11 \\ 11 \\ 15 \end{vmatrix} \quad \dot{Q} = \begin{vmatrix} 10,3 \\ 8,76 \\ 5,89 \\ 8,1 \\ 8,09 \\ 11,05 \end{vmatrix}$$

$$l_B = \begin{vmatrix} 30,41 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 50,99 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 50,99 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 22,36 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 18,03 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 33,54 \end{vmatrix}$$

$$R_B = \begin{vmatrix} 6,387 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 13,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6,6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 22,946 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 22,946 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10,062 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8,112 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15,093 \end{vmatrix}$$

Таблиця 2.6 – Уточнений поточкорозподіл потужності

Вітка	P, кВт	Q, кВАр	$ \dot{S} $, МВА
1 – 2	45,44	37,38	58,84
2 – 3	15,96	12,81	20,47
1 – 7	-25,56	-14,81	29,54
5 – 7	-10,56	-3,76	11,21
4 – 5	-4,04	-1,84	4,44
2 – 6	15,48	14,27	21,05
3 – 4	3,96	4,05	5,67
5 – 6	4,48	6,18	7,63

Перевірку виконуємо для вузлів 2, 5, які знаходяться на межі поділу контурів:

$$S_{12} - S_{23} - S_{26} - s_2 = 45,44 + j37,38 - 15,96 - j12,813 - \\ -15,48 - j14,266 - 14 - j10,3 = -j1,8 \cdot 10^{-15},$$

$$S_{45} - S_{57} + S_{56} - s_5 = -4,04 - j1,837 + 10,56 + j3,76 + \\ +4,48 + j6,176 - 11 - j8,09 = -j1,8 \cdot 10^{-15}.$$

Дійсні напрямки потоків потужностей у вітках мережі наведені на рисунку 2.3.

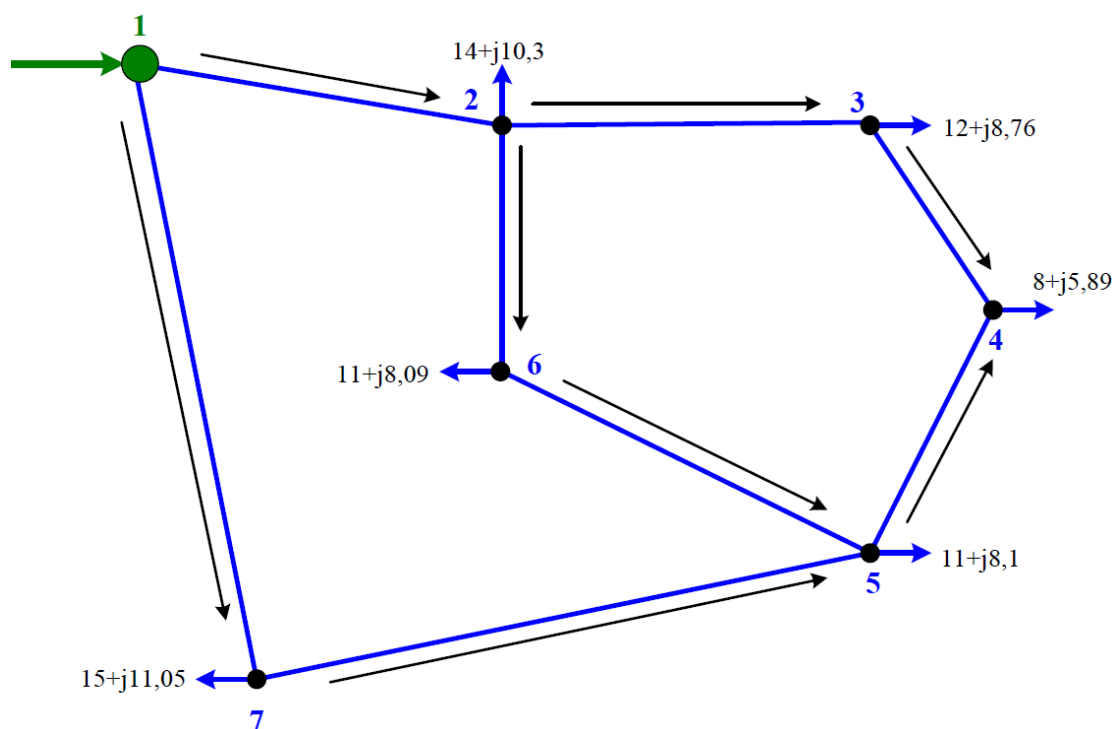


Рисунок 2.3 – Дійсні напрямки потоків потужностей

2.5. Уточнення перерізу проводів та перевірка за втратами напруги

Уточнюємо перерізи проводів повітряних ліній згідно з даними таблиці

2.6. Розраховуємо активні, реактивні та повні опори віток схеми. Визначаємо спад напруги у кожній вітці.

Таблиця 2.7 – Остаточний вибір проводів віток схеми

Вітка	$I_{п.ав}, A$	$I_{норм}, A$	$F, мм^2$
1 – 2	309,19	154,60	155
2 – 3	107,55	53,78	54
1 – 7	155,23	77,62	78
5 – 7	58,90	29,45	29
4 – 5	23,32	11,66	12
2 – 6	110,62	55,31	55
3 – 4	29,78	14,89	15
5 – 6	40,09	20,05	20

Таблиця 2.8 – Перевірка проводів за втратами напруги

Вітка	Провід	$r_0, \frac{Ом}{км}$	$d, мм$	$x_0, \frac{Ом}{км}$	$R, Ом$	$X, Ом$	$Z, Ом$	$\Delta U, кВ$	$\Delta U, \%$
1 – 2	$2 \times AC - 185$	0,17	19,6	0,331	5,170	10,055	11,307	3,496	3,178
2 – 3	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,365	13,500	10,935	17,373	1,869	1,699
1 – 7	$2 \times AC - 95$	0,33	13,5	0,354	6,600	7,079	9,678	1,502	1,366
5 – 7	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,365	22,946	18,586	29,529	1,739	1,581
4 – 5	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,365	22,946	18,586	29,529	0,689	0,626
2 – 6	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,365	10,062	8,151	12,949	1,432	1,302
3 – 4	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,365	8,112	6,571	10,440	0,311	0,283
5 – 6	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,365	15,093	12,226	19,424	0,779	0,708

Допустимі втрати напруги в післяаварійному режимі роботи мережі не повинні перевищувати 10 – 12% від її номінального значення. Розрахуємо втрати напруги від вузла балансу 1 до найбільш віддалених вузлів 4, 5 (рис.2.3):

$$U_5 = 115 В;$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{1...4} \% &= \frac{(\Delta U_{1-2} + \Delta U_{2-3} + \Delta U_{3-4}) \cdot 100}{110} = \\ &= \frac{(3,178 + 1,669 + 0,283) \cdot 100}{110} = 5,16\%; \end{aligned}$$

$$\Delta U_{1...4*} \% = \frac{(\Delta U_{1-7} + \Delta U_{5-7} + \Delta U_{4-5})100}{110} =$$

$$= \frac{(1,581 + 0,626 + 1,302) \cdot 100}{110} = 3,51\%;$$

$$\Delta U_{1...5} \% = \frac{(\Delta U_{1-2} + \Delta U_{2-6} + \Delta U_{5-6}) \cdot 100}{110} =$$

$$= \frac{(3,178 + 1,366 + 0,708) \cdot 100}{110} = 5,25\%;$$

$$\Delta U_{1...5*} \% = \frac{(\Delta U_{1-7} + \Delta U_{5-7})100}{110} = \frac{(1,581 + 0,626) \cdot 100}{110} = 2,21\%;$$

$\Delta U_i < 10\%$, що відповідає вимогам [4, 5].

2.6. Проектування підстанції 110/10 кВ

Проектування підстанції, встановленої у вузлі 3, включає такі розрахунки:

розрахунок потреби у встановленні пристроїв компенсації реактивної потужності з врахуванням власної зарядної потужності повітряних ліній зовнішнього живлення;

розрахунок струмів короткого замикання на боці високої та низької напруги підстанції;

вибір гнучких шин на боці високої напруги;

вибір жорстких шин та ізоляторів на боці низької напруги;

вибір комутаційно-захисної та вимірювальної апаратури на боці високої та низької напруги підстанції.

Тип та характеристики трансформаторів підстанції наведено в таблиці 2.2; тип проводів, їх переріз та характеристики ліній зовнішнього живлення – в таблиці 2.8.

В нормальному режимі живлення вузла 3 відбувається лінією 2-3 (рис.2.3).

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6.1. Розрахунок компенсації реактивної потужності

Визначаємо реактивну ємнісну потужність, яку здатні генерувати повітряні лінії, що живлять підстанцію, встановлену у вузлі 3: [1, 2, 5]

$$b_{0.2-3} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{2 \cdot 5607}{11,4}} = 2,53 \cdot 10^{-6} \frac{\text{См}}{\text{км}};$$

$$B_{2-3} = 2,53 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 7,6 \cdot 10^{-5} \text{ См};$$

$$Q_{B,2-3} = 7,6 \cdot 10^{-5} \cdot 110^2 = 0,92 \text{ МВАр};$$

тобто кожна лінія живлення генерує 0,92 МВАр зарядної потужності.

Реактивне навантаження вузла 3 та дозволена вхідна реактивна потужність відповідно рівні:

$$Q_M = 8,76 \text{ МВАр}; Q_e = 3,96 \text{ МВАр}.$$

Втрати в трансформаторах:

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 8,76 = 0,88 \text{ МВАр};$$

Необхідна потужність конденсаторних установок напругою 10 кВ

$$Q_K = 8,76 - 0,92 - 3,96 + 1,49 = 5,37 \text{ МВАр};$$

$$\Rightarrow 2 \times \text{УКРМ} - 6,3(10,5) - 2700 - (2250 + 3 \times 150) \text{ УЗ}.$$

2.6.2. Розрахунок струмів короткого замикання

Перевірці за термічною та електродинамічною стійкістю до струмів короткого замикання підлягають: електричні апарати, гнучкі та жорсткі шини, встановлені на боці високої та низької напруги підстанції вузла 3.

Через задовільні умови охолодження перерізи повітряних ліній за термічною стійкістю не перевіряють.

Розрахуємо ці струми абсолютним наближеним методом відповідно до розрахункової та заступної схем короткозамкненого кола (рис.2.4, 2.5).

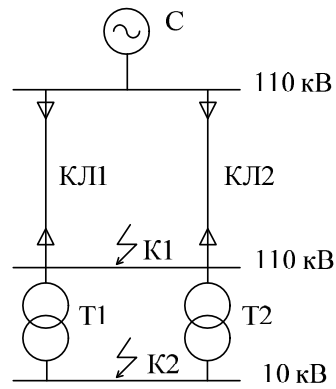


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема короткозамкненого кола

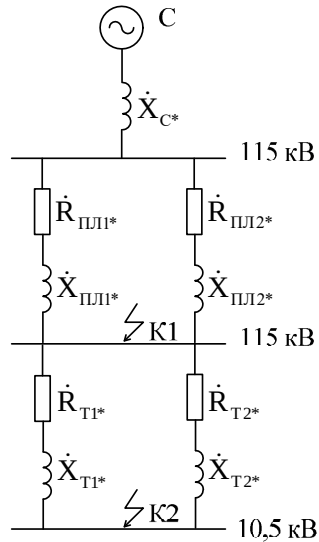


Рисунок 2.5 – Заступна схема короткозамкненого кола

Вихідні дані з табл.1.1, 2.8:

$$\text{ПЛ2} - 3: l = 30 \text{ км}; r_0 = 0,45 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; x_0 = 0,365 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$$

$$\text{ПЛ3} - 4: l = 18,03 \text{ км}; r_0 = 0,45 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; x_0 = 0,365 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Розрахунок струму короткого замикання в точці K1:

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

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

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

$$\dot{R}_{\text{ПЛ.2-3}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 30 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,051 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ.2-3}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,365 \cdot 30 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,041 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{ПЛ3-4}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 18,03 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,031 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ3-4}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,365 \cdot 18,03 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,025 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}'_{\text{ПЛ.2-3,3-4}^*} = \frac{0,051 \cdot 0,031}{0,051 + 0,031} = 0,019 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}'_{\text{ПЛ.2-3,3-4}^*} = \frac{0,041 \cdot 0,025}{0,041 + 0,025} = 0,016 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{рез К1}^*} = \dot{R}'_{\text{ПЛ.2-3,3-4}^*} = 0,019 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{рез К1}^*} = 0 + 0,016 = 0,016 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{\text{рез К1}^*} = \sqrt{0,019^2 + 0,016^2} = 0,025 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{н0.К1}} = \frac{0,503}{0,025} = 20,387 \text{ кА};$$

$$i_{\text{y.К1}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 20,387 = 40,364 \text{ кА};$$

$$B_{\text{К.К1}} = 20,387^2 \cdot 0,25 = 103,906 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Розрахунок струму короткого замикання в точці К2:

$$S_{\text{К}} = \infty; X_{\text{С}} = 0;$$

$$S_{\text{Г}} = 100 \text{ МВА}; U_{\text{Г}} = 10,5 \text{ кВ};$$

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

$$\dot{R}_{\text{ПЛ.2-3}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 30 \cdot \frac{100}{115^2} \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = 0,051 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ.2-3}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,365 \cdot 30 \cdot \frac{100}{115^2} \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = 0,041 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{ПЛ3-4}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 18,03 \cdot \frac{100}{115^2} \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = 0,031 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ3-4}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,365 \cdot 18,03 \cdot \frac{100}{115^2} \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = 0,016 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}'_{\text{ПЛ.2-3,3-4}^*} = \frac{0,051 \cdot 0,031}{0,051 + 0,031} = 0,019 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}'_{\text{ПЛ.2-3,3-4}^*} = \frac{0,041 \cdot 0,025}{0,041 + 0,025} = 0,016 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{T1}^*} = \dot{R}_{\text{T2}^*} = \frac{0,06 \cdot 100}{10 \cdot 10} = 0,08 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{T1}^*} = \dot{X}_{\text{T2}^*} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 10} = 1,05 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}'_{\text{T1,2}^*} = \frac{0,08}{2} = 0,04 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}'_{\text{T1,2}^*} = \frac{1,05}{2} = 0,525 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{рез K2}^*} = 0,019 + 0,04 = 0,059 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{рез K2}^*} = 0 + 0,016 + 0,525 = 0,541 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{\text{рез K2}^*} = \sqrt{0,059^2 + 0,541^2} = 0,544 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{н0.K2}} = \frac{5,505}{0,544} = 10,124 \text{ кА};$$

$$i_{\text{y.K2}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 10,124 = 20,045 \text{ кА};$$

$$B_{\text{K.2}} = 10,124^2 \cdot 0,25 = 25,626 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.3. Вибір гнучких шин

На боці 110 кВ підстанції вузла 3 застосовано гнучкі шини у вигляді проводу АС [5]:

$$q_e = \frac{53,78}{1} = 53,78 \text{ мм}^2;$$

з [5] обираємо провід АС – 70: $I_{\text{доп}} = 265 \text{ А}; d = 11,4 \text{ мм};$

$$\text{з [7]} \Rightarrow C = 93 \frac{\text{А} \cdot \text{с}^{1/2}}{\text{мм}^2};$$

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{103,906 \cdot 10^6}}{95} = 107,3 \text{ мм}^2 > 70 \text{ мм}^2;$$

переріз 70 мм² є недостатнім, тому збільшуємо його до 120 мм²;
d = 15,5 мм;

$$D = 4,45 \text{ м};$$

$$f^{(3)} = \frac{1,5 \cdot (20,387 \cdot 10^3)^2}{4,45} \cdot 10^{-7} = 14,01 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

$$з [8] \text{ m} = 0,272 \text{ кг}; \text{ g} = 1,1 \cdot 9,8 \cdot 0,272 = 8,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}};$$

$$z = \frac{14,01}{8,8} = 1,593;$$

$$t_{p.3} = 0,1 \text{ с}; t_{\text{екв}} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ с};$$

$$з [7] \text{ h} = 1,5 \text{ м};$$

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

$$з [7] \Rightarrow b / h = 0,1; b = 0,1 \cdot 1,5 = 0,15 \text{ м}; a_{\text{доп}} = 0,4 \text{ м};$$

$$b_{\text{доп}} = \frac{4,45 - 0,00155 - 0,4}{2} = 2,017 \text{ м};$$

$$0,15 < 2,017 \text{ м}.$$

$$з [7] \text{ m}_{\text{ш}} = 0,82; \delta = 1,04;$$

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \sqrt{1 + \frac{0,299}{\sqrt{0,5 \cdot 0,00155 \cdot 1,04}}} = 28,7 \frac{\text{кВ}}{\text{см}};$$

$$E = \frac{0,354 \cdot 110}{0,78 \cdot \lg \frac{4,45}{0,5 \cdot 0,78}} = 17,57 \frac{\text{кВ}}{\text{см}};$$

$$1,07 \cdot 17,57 = 18,8 < 0,9 \cdot 28,7 = 25,83 \frac{\text{кВ}}{\text{см}} \Rightarrow \text{АС} - 120.$$

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6.4. Вибір обланання напругою 110 кВ

Однолінійну схему електропостачання підстанції, встановленої у вузлі 3, наведено на кресленні 3 графічної частини. Виконуємо вибір комутаційної, захисної та вимірювальної апаратури відповідно до цієї схеми.

2.6.4.1. Вибір роз'єднувачів

Роз'єднувачі на боці високої напруги підстанції обираємо з [9].

На вводі підстанції встановлюємо :

роз'єднувачі S2DA2T123 з двома заземлюючими ножами;

з обох боків вимикачів та у ремонтній перемичці :

роз'єднувачі S2DAT123 з одним заземлюючим ножем.

$$110 = 110 \text{ кВ};$$

$$53,78 < 1250 \text{ А};$$

$$107,55 < 1250 \text{ А};$$

$$40,364 < 80 \text{ кА};$$

$$103,906 < 63^2 \cdot 3 = 11907 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.4.2 Вибір високовольтних вимикачів

Елегазові вимикачі на боці високої напруги підстанції вибираємо з [9].

GL312F1 / 40 20VR :

$$110 = 110 \text{ кВ};$$

$$53,78 < 2000 \text{ А};$$

$$107,55 < 2000 \text{ А};$$

$$20,387 < 40 \text{ кА};$$

$$40,364 < 100 \text{ кА};$$

$$103,906 < 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6.4.3. Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму OSKF123 обрано з [9]:

$$110 = 110 \text{ кВ};$$

$$53,78 < 150 \text{ А};$$

$$107,55 < 150 \text{ А};$$

$$40,364 < 80 \text{ кА};$$

$$103,906 < 3969 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$0,835 < 30 \text{ Ом},$$

$$r_k = 0,05 \text{ Ом};$$

$$\text{з [10]} S_{\text{прил}} = 0,8 \cdot 3 + 8 \cdot 2 = 18,4 \text{ ВА};$$

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

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

$$z_2 \approx r_2 = 0,74 + 0,045 + 0,05 = 0,835 \text{ Ом}.$$

2.6.4.4. Вибір розрядників

Вибираємо з [11] розрядники:

РВС – 110 в схемі головних електричних з'єднань;

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

2.6.4.5. Вибір заземлювачів

Вибираємо з [12] заземлювачі

ЗОН – 110М – І УХЛІ:

$$110 = 110 \text{ кВ};$$

$$53,78 < 2500 \text{ А};$$

$$107,55 < 2500 \text{ А};$$

$$20,387 < 31,5 \text{ кА};$$

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$40,364 < 81 \text{ кА};$$

$$103,906 < 9408 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.5. Вибір жорстких шин та ізоляторів

На боці 10 кВ підстанції вузла 3 застосовано жорсткі алюмінієві шини, вибрані з [13].

Струми нормального та післяаварійного навантаження на рівні низької напруги підстанції:

$$I_{\text{норм.3}} = \frac{14,86 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 429,4 \text{ А};$$

$$I_{\text{п.ав.3}} = \frac{14,86 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 858,8 \text{ А};$$

$$\text{шини } 60 \times 6; I_{\text{тр.лоп}} = 870 \text{ А};$$

$$\vartheta_{\text{тр доп}} = 75^\circ \text{C}; \vartheta_o = 10^\circ \text{C}; \vartheta_{o \text{ ном}} = 25^\circ \text{C};$$

$$I'_{\text{доп}} = 870 \cdot \sqrt{\frac{75-15}{75-25}} = 991,95 \text{ А};$$

$$858,8 < 991,95 \text{ А};$$

$$C = 93 \frac{\text{А} \cdot \text{с}^{-1}}{\text{мм}^2};$$

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

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{25,626 \cdot 10^6}}{93} = 54,43 \text{ мм}^2;$$

$$360 > 54,43 \text{ мм}^2;$$

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

$$\sqrt{\frac{173,2}{f_0}} \sqrt{\frac{J}{q}} = \sqrt{\frac{173,2}{220}} \sqrt{\frac{10,8}{360}} = 1,17 \text{ м};$$

$$1,1 < 1,17 \text{ м};$$

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a = 0,3 \text{ м};$$

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

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

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot \frac{10,124^2}{0,3} = 59,18 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

$$M = \frac{59,18 \cdot 1,1^2}{10} = 7,161 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\sigma_{\text{розр}} = \frac{6 \cdot 7,161}{0,6 \cdot 6^2} = 1,99 \text{ МПа};$$

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

$$1,99 < 40 \text{ МПа}.$$

З [14] приймаємо опорні порцелянові ізолятори ІО – 10 – 3,75 II УЗ:

$$з [7]: k_h = 1;;$$

$$F = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot \frac{20,045^2}{0,3} = 255,18 \text{ Н};$$

$$з [8]: F_{\text{руйн}} = 3675 \text{ Н};$$

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot 3675 = 2205 \text{ Н};$$

$$255,18 < 2205 \text{ Н}.$$

2.6.6. Вибір обладнання напругою 10 кВ

Прийом та розподіл електричної енергії в мережах змінного струму частотою 50 Гц в мережі 10 кВ, що має ізольовану нейтраль, виконуватиметься за допомогою комплектних пристроїв КРУ – ЕС – 10, вибраних з [15].

Технічні дані, основні параметри та характеристики наведено в таблиці 2.9.

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики шаф КРУ-ЕС

Параметри	Значення
Номинальна напруга, кВ	10
Найбільша робоча напруга, кВ	12
Номинальна частота, Гц	50
Номинальний струм головних кіл, А	1250
Номинальний струм збірних шин, А	1250
Струм електродинамічної стійкості, кА	41
Струм термічної стійкості, кА	16
Час протікання струму, с	3
Тип комутаційних апаратів	VD-4
Умови обслуговування	Одностороннє
Габаритні розміри, мм:	
ширина	800
глибина	1510
висота	2360
Вага, кг	570

2.6.6.1. Вибір високовольтних вимикачів

Вакуумні вимикачі VD – 4 – 10 – 1250 – 16 обрано з [16]:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$429,4 < 1250 \text{ А};$$

$$858,8 < 1250 \text{ А};$$

$$10,124 < 16 \text{ кА};$$

$$20,045 < 40 \text{ кА};$$

$$25,626 < 16^2 \cdot 3 = 768 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.6.2. Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму на напругу 10 кВ обрані з [17].

Навантаження вторинних обмоток:

лічильники NIK 2303 АПЗТ [18];

пристрої релейного захисту та амперметри.

ТПОЛ – 10

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$429,4 < 1000 \text{ А};$$

$$858,8 < 1000 \text{ А};$$

$$20,045 < 51 \text{ кА};$$

$$25,626 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 1,9 \text{ Ом},$$

$$r_k = 0,05 \text{ Ом};$$

$$S_{\text{прил}} = 10 \text{ ВА};$$

$$r_{\text{прил}} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

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

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

2.6.6.3. Вибір трансформаторів напруги

Трансформатори напруги, вибрані з [18].

Навантаження вторинних обмоток:

лічильники НІК 2303 АПЗТ;

пристрої релейного захисту та вольтметри.

НАМІ – 10 УЗ

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$60 < 300 \text{ ВА},$$

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

2.6.6.4. Вибір трансформаторів власних потреб

Розподільний пристрій 10 кВ містить такі приймачі власних потреб:

електроприводи вакуумних вимикачів;

опалення; освітлення;

пристрої підігріву комірок.

Для їх живлення застосовано трансформатори власних потреб вибрані [19]: ТСКС – 16/10/0,4.

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ

Методику виконання механічного розрахунку повітряних ліній наведено в додатку [Д.2].

Вітку схеми 2–3 виконано проводом АС – 70 / 11, технічні характеристики якого визначаємо з [5]:

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

Розрахунок питомих навантажень :

$$\gamma_1 = 9,81 \cdot \frac{0,274}{68} \cdot 10^6 = 0,04 \text{ МН / м}^3;$$

$$\gamma_2 = 28,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{2,5 \cdot (11,4 + 2,5)}{68} = 0,014 \text{ МН / м}^3;$$

$$\gamma_3 = 0,04 + 0,014 = 0,054 \text{ МН / м}^3;$$

$$\text{без ожеледі: } c_x = 1,2; v = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$Q_{\text{ож}} = \frac{25^2}{1,6} = 390,6 \text{ Н / м}^2; \alpha = 0,85;$$

$$\gamma_4 = \frac{0,85 \cdot 1,2 \cdot 390,6 \cdot 11,4}{1000 \cdot 68} \cdot 10^6 = 0,067 \text{ МН / м}^3;$$

$$\text{за наявності ожеледі: } c_x = 1,2;$$

$$Q_{\text{ож}} = \frac{(0,5 \cdot 25)^2}{1,6} = 97,7 \text{ Н / м}^2; \alpha = 1;$$

$$\gamma_5 = \frac{1 \cdot 1,2 \cdot 97,7 \cdot (11,4 + 2 \cdot 2,5)}{1000 \cdot 68} \cdot 10^6 = 0,028 \text{ МН / м}^3;$$

$$\gamma_6 = \sqrt{0,04^2 + 0,067^2} = 0,078 \text{ МН / м}^3;$$

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Іноземцев М.Ю.			Проектування двоконтурної районної електричної мережі. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.		Грицюк Ю.В.					32
							3
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕ–41	
Затверд.		Волинець В.І.					

$$\gamma_7 = \sqrt{0,054^2 + 0,028^2} = 0,061 \text{ МН / м}^3.$$

$$\sigma_{\text{гр}} = 150 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 0,5 \cdot 150 = 75 \text{ МПа.}$$

$$l_{\text{кр}} = 75 \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 23 \cdot 10^{-6} \cdot (-1,5 - (-23))}{(6,1 \cdot 10^{-2})^2 - (4,0 \cdot 10^{-2})^2}} = 176,2 \text{ м.}$$

$$l = 300 \text{ м} > l_{\text{кр}} = 176,2 \text{ м} \Rightarrow \theta_{\text{ож}}; \gamma_7;$$

$$E = 63 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

Рівняння стану проводу:

$$\sigma_{\theta_{\text{max}}} - \frac{(4,0 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{\theta_{\text{max}}}^2} = 75 - \frac{(6,1 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 75^2} -$$

$$-23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (38 - (-1,5));$$

$$\sigma_{\theta_{\text{max}}} = 44,9 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\theta_{\text{min}}} - \frac{(4,0 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{\theta_{\text{min}}}^2} = 75 - \frac{(6,1 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 75^2} -$$

$$-23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (-23 - (-1,5));$$

$$\sigma_{\theta_{\text{min}}} = 58,4 \text{ МПа};$$

$$\sigma_3 - \frac{(5,4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_3^2} = 75 - \frac{(6,1 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 75^2} -$$

$$-23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (-1,5 - (-1,5));$$

$$\sigma_3 = 68,0 \text{ МПа};$$

$$\sigma_6 - \frac{(7,8 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_6^2} = 75 - \frac{(6,1 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 75^2} -$$

$$-23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (-23 - (-1,5));$$

$$\sigma_6 = 98,1 \text{ МПа};$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971009.000 ПЗ

Арк.

33

$$\sigma_7 - \frac{(6,1 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_7^2} = 75 - \frac{(6,1 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 75^2} -$$

$$-23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (-1,5 - (-1,5));$$

$$\sigma_7 = 75 \text{ МПа.}$$

Для розв'язання рівнянь стану застосовуємо середовище MathCad15. Хід розрахунку наведено в розділі 4.

Розрахунок стріли провисання проводу :

$$f_{+40} = \frac{4,0 \cdot 10^{-2} \cdot 300^2}{8 \cdot 44,9} = 9,904 \text{ м;}$$

$$f_{-40} = \frac{4,0 \cdot 10^{-2} \cdot 300^2}{8 \cdot 58,4} = 7,614 \text{ м;}$$

$$f_3 = \frac{5,4 \cdot 10^{-2} \cdot 300^2}{8 \cdot 68,0} = 8,933 \text{ м;}$$

$$f_{+40} = \max;$$

$$L = 300 + \frac{8}{3} \cdot \frac{9,904}{300} = 300,088 \text{ м;}$$

$$\Delta = \left(\frac{300,088 - 300}{300} \right) \cdot 100 = 0,029\% < 0,1\%.$$

Експлуатаційне напруження :

$$\sigma_e - \frac{(4,0 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_e^2} = 75 - \frac{(6,1 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 300^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 75^2} -$$

$$-23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (14 - (-1,5));$$

$$\sigma_e = 49,18 \text{ МПа;}$$

$$\frac{\sigma_e}{\sigma_{гр}} = \frac{49,18}{150} = 32,8\% < 40\%.$$

РОЗДІЛ 4

САПР

Кубічні рівняння стану проводу (розд.3) розв'язано у середовищі MathCad 15:

Напруження при найвищій температурі та найбільшому додатковому навантаженні:

$$\sigma_{\max} - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{\max}^2} - \sigma_{\text{доп}} + \frac{\gamma_m^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{\text{доп}}^2} + \alpha_{\text{розш}} \cdot E \cdot (38 - v_m) \rightarrow \sigma_{\max} - \frac{369141.7205991565743879}{\sigma_{\max}^2} + 138.214312307893598615208$$

Given

$$\sigma_{\max} - \frac{369141.7205991565743879}{\sigma_{\max}^2} + 138.214312307893598615208 = 0$$

A1 := Find($\sigma_{\max}$) → (44.898994325065149577 – 1.3126645462877636442e-27i – 104.2459185102115992 – 6.2099130458998049i)

$\sigma_{\max} := A1^T$

$$\sigma_{\max} = \begin{pmatrix} 44.899 \\ -104.246 \\ -78.867 \end{pmatrix} \quad \sigma_{\max5} := \sigma_{\max0,0}$$

$\sigma_{\max5} = 44.899 \text{ МПа}$

Напруження при найнижчій температурі та навантаженні від власної ваги проводу:

$$\sigma_{\min} - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{\min}^2} - \sigma_{\text{доп}} + \frac{\gamma_m^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{\text{доп}}^2} + \alpha_{\text{розш}} \cdot E \cdot (-23 - v_m) \rightarrow \sigma_{\min} - \frac{369141.7205991565743879}{\sigma_{\min}^2} + 49.8253123078935986152079$$

Given

$$\sigma_{\min} - \frac{369141.7205991565743879}{\sigma_{\min}^2} + 49.8253123078935986152079 = 0$$

A2 := Find($\sigma_{\min}$) → (58.402043358659532501 – 54.113677833276565558 + 58.244386764626983044i – 54.113677833276565558i)

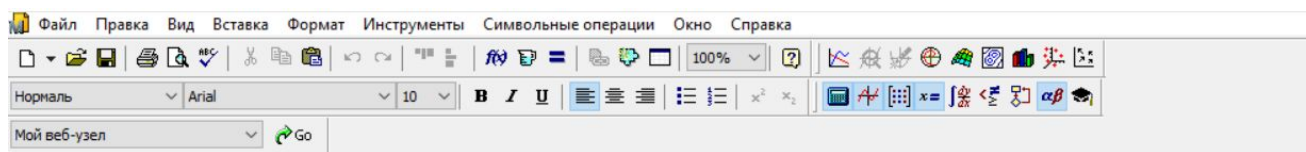
$\sigma_{\min} := A2^T$

$$\sigma_{\min} = \begin{pmatrix} 58.402 \\ -54.114 + 58.244i \\ -54.114 - 58.244i \end{pmatrix} \quad \sigma_{\min4} := \sigma_{\min0,0}$$

$\sigma_{\min4} = 58.402 \text{ МПа}$

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

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Іноземцев М.Ю.			Проектування двоконтурної районної електричної мережі. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.		Грицюк Ю.В.					35
							3
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕ–41	
Затверд.		Волинець В.І.					



Напруження при температурі ожелєді:

$$\sigma_4 - \frac{\gamma_3^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_4^2} - \sigma_{доп} + \frac{\gamma_m^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{доп}^2} + \alpha_{розш} \cdot E \cdot [(-1.5) - v_m] \rightarrow \sigma_4 - \frac{688666.7555280939121987}{\sigma_4^2} + 80.978812307893598615207$$

]

Given

$$\sigma_4 - \frac{688666.7555280939121987}{\sigma_4^2} + 80.978812307893598615207 = 0$$

$$A3 := \text{Find}(\sigma_4) \rightarrow (67.991509257707205337 \quad -74.485160782800401976 + 67.68070493878989888i \quad -74.485160782800401976$$

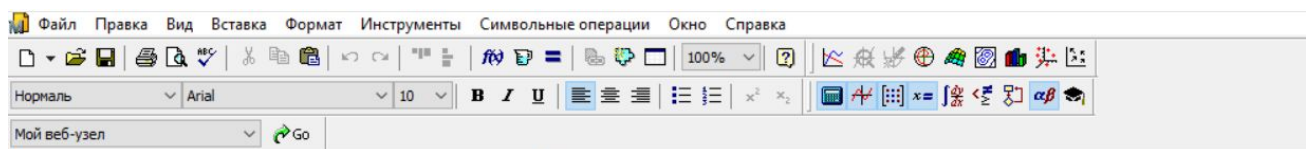
$$\sigma_4 := A3^T$$

$$\sigma_4 = \begin{pmatrix} 67.992 \\ -74.485 + 67.681i \\ -74.485 - 67.681i \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{ож3} := \sigma_{4,0}$$

]

$$\sigma_{ож3} = 67.992 \text{ МПа}$$



Напруження при температурі ожелєді та навантаженні у6:

$$\sigma_3 - \frac{\gamma_6^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_3^2} - \sigma_{доп} + \frac{\gamma_m^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{доп}^2} + \alpha_{розш} \cdot E \cdot [(-23) - v_m] \rightarrow \sigma_3 - \frac{1.423247288531285480638e6}{\sigma_3^2} + 49.825312307893598615207$$

]

Given

$$\sigma_3 - \frac{1.423247288531285480638e6}{\sigma_3^2} + 49.825312307893598615207 = 0$$

$$A4 := \text{Find}(\sigma_3) \rightarrow (98.091506330572678301 \quad -73.958409319233138458 + 95.076481018399363103i \quad -73.958409319233138458$$

$$\sigma_3 := A4^T$$

$$\sigma_3 = \begin{pmatrix} 98.092 \\ -73.958 + 95.076i \\ -73.958 - 95.076i \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{ож2} := \sigma_{3,0}$$

]

$$\sigma_{ож2} = 98.092 \text{ МПа}$$

Рисунок 4.2 – Визначення напружень σ_3 , σ_6 в матеріалі проводу

Напруження при температурі ожедіді та найбільшому додатковому навантаженні:

$$\sigma_7 - \frac{\gamma_7^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_7^2} - \sigma_{доп} + \frac{\gamma_m^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{доп}^2} + \alpha_{розш} \cdot E \cdot [(-1.5) - v_m] \rightarrow \sigma_7 - \frac{877380.819231901492210545}{\sigma_7^2} + 80.9788123078935986152079$$

Given

$$\sigma_7 - \frac{877380.819231901492210545}{\sigma_7^2} + 80.9788123078935986152079 = 0$$

A5 := Find(σ_7) → (75.0 -77.989406153946799308 + 74.940399324041135011i -77.989406153946799308 - 74.940399324041135011i)

$\sigma_7 := A5^T$

$$\sigma_7 = \begin{pmatrix} 75 \\ -77.989 + 74.94i \\ -77.989 - 74.94i \end{pmatrix} \quad \sigma_{ож1} := \sigma_{7,0}$$

$\sigma_{ож1} = 75 \text{ МПа}$

Рисунок 4.3 – Визначення напруження σ_7 в матеріалі проводу

Експлуатаційне напруження:

$$\sigma_e - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_e^2} - \sigma_{доп} + \frac{\gamma_m^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{доп}^2} + \alpha_{розш} \cdot E \cdot [(14) - v_m] \rightarrow \sigma_e - \frac{369141.7205991565743879}{\sigma_e^2} + 103.438312307893598615208$$

Given

$$\sigma_e - \frac{369141.7205991565743879}{\sigma_e^2} + 103.438312307893598615208 = 0$$

A5 := Find(σ_e) → (49.180460168438172978 -76.309386238165885797 + 41.021202233510681913i -76.309386238165885797 - 41.021202233510681913i)

$\sigma_e := A5^T$

$$\sigma_e = \begin{pmatrix} 49.18 \\ -76.309 + 41.021i \\ -76.309 - 41.021i \end{pmatrix} \quad \sigma_{e1} := \sigma_{e,0}$$

$\sigma_{e1} = 49.18 \text{ МПа}$

Рисунок 4.4 – Визначення експлуатаційного напруження σ_7 в матеріалі проводу

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

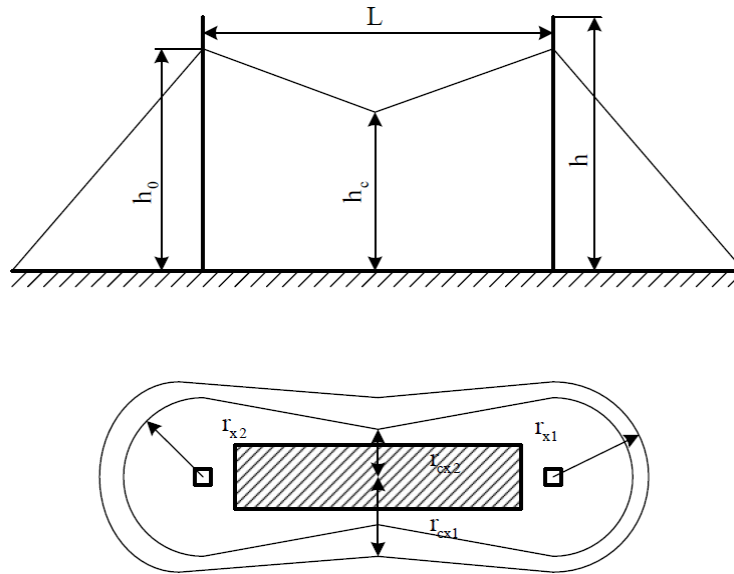


Рисунок 5.1 – Схема блискавкозахисту підстанції

Для захисту обладнання напругою 110 кВ підстанції від прямих ударів блискавки застосовано системи блискавкозахисту, розрахованого відповідно до методики [Д.4]:

$$h = 25 \text{ м}; h_{x1} = 7,5 \text{ м}; h_{x2} = 9 \text{ м}; h_0 = 0,85 \cdot 25 = 21,25 \text{ м};$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot 25) \cdot 25 = 26,25 \text{ м};$$

$$r_{x1} = (1,1 - 0,002 \cdot 25) \cdot \left(25 - \frac{7,5}{0,85} \right) = 16,99 \text{ м};$$

$$r_{x2} = (1,1 - 0,002 \cdot 25) \cdot \left(25 - \frac{9}{0,85} \right) = 15,132 \text{ м};$$

$$L = 28 \text{ м}; h_c = 21,25 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 25) \cdot (28 - 25) = 20,72 \text{ м};$$

$$r_{cx1} = 26,25 \cdot \frac{20,27 - 9}{20,27} = 16,75 \text{ м}; r_{cx2} = 26,25 \cdot \frac{20,27 - 7,5}{20,27} = 14,8 \text{ м}.$$

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Іноземцев М.Ю.			Проектування двоконтурної районної електричної мережі. Пояснювальна записка.			Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевір.		Грицюк Ю.В.								38		1	
Н. контр.		Вашелюк Ю.І.											
Затверд.		Волинець В.І.											
					ФАБЕ, гр.ЕЕ–41								

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Живильна електрична мережа, розроблена в даному проєкті, відповідає усім вимогам діючих нормативних документів в галузі електроенергетики, наведеним в [1 – 5].

Мережа є замкненою, що дає можливість резервування у разі виходу з ладу ділянок, що межують з вузлом балансу. У разі виходу з ладу одного з трансформаторів підстанцій, встановлених у незалежних вузлах, він може бути резервований іншим трансформатором. Резервування вмикається секційними вимикачами. У разі виведення в ремонт однієї з паралельних ліній будь-якої вітки живлення перемикається на іншу лінію за допомогою ремонтних перемичок.

Усі елементи схеми перевірено за післяаварійним перевантаженням.

Для покращення якості електричної енергії застосовано засоби компенсації реактивної потужності (конденсаторні батареї напругою 10 кВ). Останні дозволяють також, за потреби, регулювати напругу в мережі з дискретністю ступенів їх регульованих частин.

Функцію захисту силових трансформаторів від струмів короткого замикання виконують елегазові автоматичні вимикачі; конденсаторних батарей, шин та кабелів напругою 10 кВ – вакуумні вимикачі.

Схема спроектованої підстанції вузла 3 передбачає облік електричної енергії та прилади для вимірювання параметрів режиму.

Мережу напругою 110 кВ виконано з ефективно заземленою нейтраллю, що забезпечило захист обладнання підстанції, тобто вимкнення будь-яких пошкоджень, в тому числі й однофазних замикань на землю.

Мережа напругою 10 кВ має ізольовану нейтраль для забезпечення безперебійності живлення приєднаних споживачів.

Механічний розрахунок довів витривалість проводів повітряних ліній до механічних навантажень, яким вони підлягають в процесі експлуатації.

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

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.

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Давиденко Л.В., Коменда Н.В, Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об'єктів : практикум : навчальний посібник. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.
7. Грицюк Ю.В. Електрична частина станцій і підстанцій. Методичні вказівки до практичних занять. Луцьк: ЛНТУ, 2015. 96 с.
8. Електрична частина станцій і підстанцій : методичні вказівки до виконання курсового проекту ; уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2014. 84с.
9. General Energy Company : Високовольтне обладнання 110 – 750 кВ : технічний каталог. Харків. 56 с.
10. Реле струму. URL : https://rza.org.ua/rele/read/Rele-toka--RT-40-i-RT-140---rele-maksimalnogo-toka_10.html
11. Вольтен : розрядники : каталог. URL : <https://volten.com.ua/ua/p15095902-razryadnik-rvs-110.html>
12. Вольтен : заземлювачі : каталог. URL : <https://volten.com.ua/ua/p15101085-zazemliteli-zon-110m.html>
13. Смуга (шина) алюмінієва АД0, АД31Т : каталог. URL : <https://cableshop.od.ua/ua/p232066201-polosa-shina-alyuminievaya.html>
14. Вольтен : опорні порцелянові ізолятори : каталог. URL : <https://volten.com.ua/ua/p15050305-375.html>
15. Пристрій комплектний розподільчий типу КРУ-ЕС : керівництво з експлуатації. Виробниче підприємство «Електросервіс».
16. General Energy Company : устаткування середньої напруги : вакуумний вимикач VD-4 6 – 40,5 кВ : каталог. URL : <https://general-energy.com.ua/vd4>
17. Беонтоп. Трансформатори струму. URL : <https://beontop.com.ua/products/tolu-10-3>
18. Електролічильник NIK 2303 АПЗТ 1000МЕ 5х120А (2303АПЗТ). URL :

https://panelectro.ua/ua/catalog/elektroschetchik_nik_2303_ap3t_1000me_5kh120a_2303ap3t.html

19. ПрАТ «ЗТР». URL : <http://www.ztr.ua/ua/products>

20. ТОВ «Кварц». Запобіжники високовольтні серії ПКТ (ПТ). URL : <https://quartz.all.biz/uk/zapobizhnyky-vysokovoltni-plavki-seriyi-pkt-pt-g13730>

21. Грозозахист підстанцій: http://ni.biz.ua/13/13_16/13_161523_grozozashchita-podstantsiy.html.

					ЛНТУ.971009.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42