

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 живильної електричної мережі напругою 110 кВ»

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

Карчков Марко Васильович

(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**

Карчкову Маркові Васильовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1.Тема кваліфікаційного проєкту: Проектування живильної електричної мережі напругою 110 кВ

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; середньгеометрична 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 проєктування.

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)

Карчков М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційного проекту

(підпис)

Грицюк Ю.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Карчков М.В. Проектування живильної електричної мережі напругою 110 кВ. Рукопис.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

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. Karchkov. Designing a 110 kV power supply 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, 2025.

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.

3MIST

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.....	28
2.6.4.5. Вибір заземлювачів.....	28
2.6.5. Вибір жорстких шин та ізоляторів.....	28
2.6.6. Вибір обладнання напругою 10 кВ.....	30
2.6.6.1. Вибір високовольтних вимикачів.....	31
2.6.6.2. Вибір трансформаторів струму.....	31
2.6.6.3. Вибір трансформаторів напруги.....	32
2.6.6.4. Вибір трансформаторів власних потреб.....	32

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування живильної електричної мережі напругою 110 кВ. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.		Карчков М.В.									6	73
Перевір.		Грицюк Ю.В.						ФАБЕ, гр.ЕЕ–43				
Н. контр.		Вашелюк Ю.І.										
Затверд.		Волинець В.І.										

РОЗДІЛ 3 МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ.....	33
РОЗДІЛ 4 САПР.....	37
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	40
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	41
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	43
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	46
ДОДАТОК 2 МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ.....	63
ДОДАТОК 3 БЛИСКАВКОЗАХИСТ.....	67
ДОДАТОК 4 РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ МЕТОДОМ РОЗМИКАННЯ СХЕМИ.....	68
ДОДАТОК 5 РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ МАТРИЧНИМ МЕТОДОМ.....	69

ВСТУП

Під електричною мережею будь-якої напруги розуміють сукупність пристроїв для передавання та розподілу електричної енергії. До складу електричних мереж входять трансформаторні підстанції, розподільні пункти та пристрої, лінії електропередавання (ЛЕП).

В даному кваліфікаційному проєкті виконуватиметься розрахунок електричної мережі з такими характеристиками: номінальна напруга 110 кВ; рід струму – змінний; мережа високої напруги; живильна; складнозамкнена; ЛЕП виконані повітряними лініями; за територією та характером обслуговування – районна; промислова.

Згідно з [1 – 4] живильні мережі напругою 110 кВ виконують з ефективно заземленою нейтраллю. Такий режим роботи нейтралі забезпечує швидке відключення пристроями релейного захисту струмів однофазних та багатофазних коротких замикань. Причому при однофазному замиканні на землю напруга у непошкоджених фазах зростає до 80% лінійної напруги.

Розподільні мережі, приєднані до трансформаторних підстанцій мережі, мають напругу 10 та 35 кВ. Ці мережі виконують з ізольованою нейтраллю. Такий режим дозволяє роботу мереж в режимі однофазного замикання на землю, тобто сприяє безперебійності живлення.

Для замкнених мереж характерною є невизначеність вихідної інформації на початковому етапі проєктування. Тому для розрахунку поточкорозподілу зазвичай використовують два методи [1 – 3]: для попереднього розрахунку та подальшого уточнення.

Крім того, при проєктуванні повітряних ЛЕП обов'язковим є їх механічний розрахунок [1 – 3, 5] з метою оцінювання стійкості проводів до створюваних під дією власної ваги, ваги ожеледі та тиску вітру механічних навантажень.

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

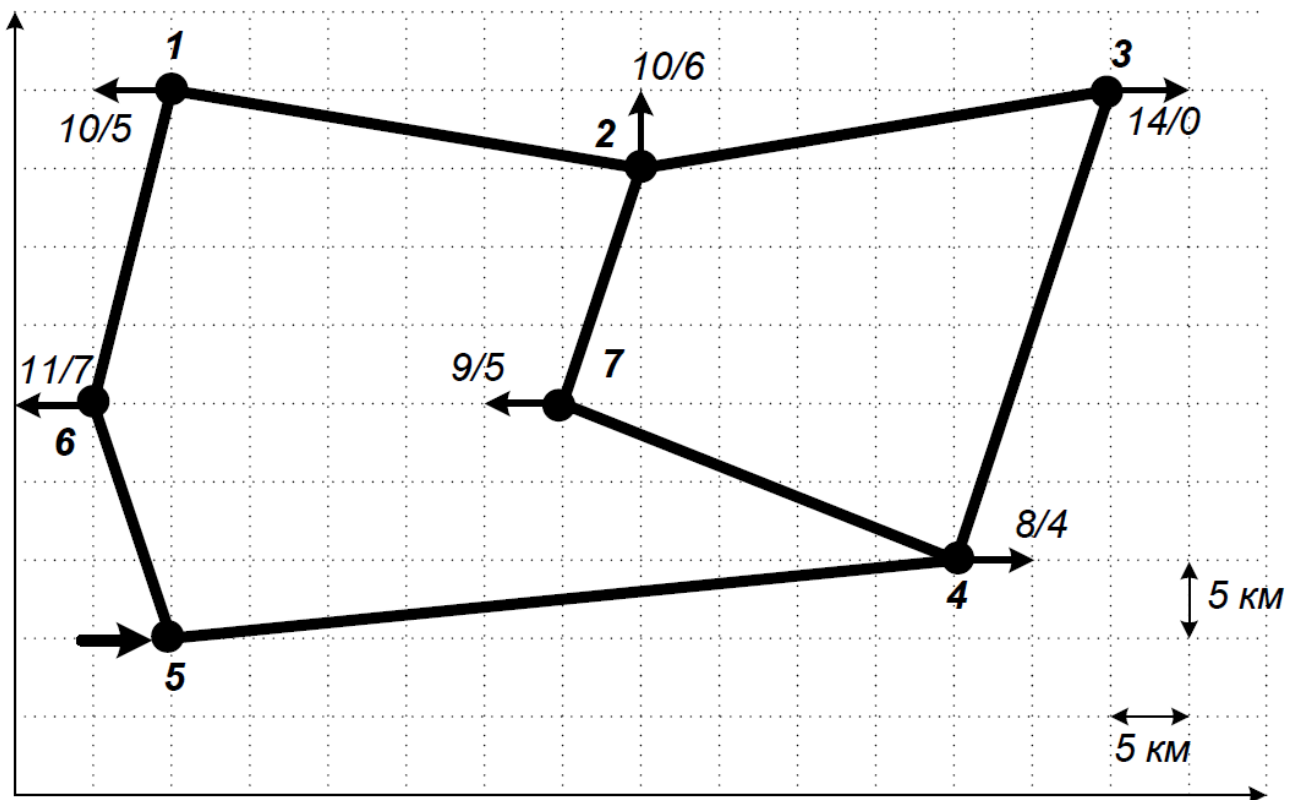


Рисунок 1.1 – Ситуаційний план мережі

До складу електричної мережі входять: два незалежних контури; вісім віток; п'ять незалежних вузлів 1 – 6, 7; вузол балансу 5.

В усіх вузлах, окрім 5, встановлено понижувальні трансформаторні підстанції. Оскільки 92% споживачів, що отримують живлення від мережі, належать до II категорії надійності електропостачання, підстанції проєктуватимемо двотрансформаторними, а повітряні ЛЕП – двооланковими (дві паралельні лінії на одних опорах).

У вузлі 3 приєднані споживачі напругою 10 кВ та застосовано двообмоткові трансформатори. У решті вузлів – споживачі напругою 35 кВ та 10 кВ – трансформатори триобмоткові.

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування живильної електричної мережі напругою 110 кВ. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.	Карчков М.В.									9	2
Перевір.	Грицюк Ю.В.										
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.										
Затверд.	Волинець В.І.										

Таблиця 1.1 – Довжини віток схеми

Назва вітки	Довжина вітки, км
L_{5-6}	15,81
L_{1-6}	20,62
L_{1-2}	30,41
L_{2-3}	30,41
L_{5-4}	50,25
L_{4-7}	26,93
L_{2-7}	15,81
L_{3-4}	31,62

Крім того, в проєкті виконуватиметься механічний розрахунок для ділянки повітряної лінії 3-4, вихідні дані для якого зведено в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Номінальна напруга мережі $U_{ном}$	кВ	110
Середньогометрична відстань між проводами $D_{ср}$	м	$1,26 \cdot 4000 = 5040$
Коефіцієнти потужності:		
$tg \varphi_{сн}$	–	0,75
$tg \varphi_{нн}$	–	0,74
Річна тривалість роботи обладнання t	год	8760
Річна тривалість використання максимального навантаження T_{max}	год	5500
Вхідні реактивна потужність на шинах 10 кВ підстанції А	МВАр	4,3
Максимальна температура θ_{max}	$^{\circ}C$	+36
Мінімальна температура θ_{min}	$^{\circ}C$	-25
Експлуатаційна температура θ_e	$^{\circ}C$	+16
Температура появи ожеледі $\theta_{ож}$	$^{\circ}C$	-1
Товщина стінки ожеледі b	мм	1,5
Довжина прогону l	м	260
Категорія надійності приєднаних споживачів:		
II	%	95
III	%	8

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Вибір силових трансформаторів підстанцій

В таблиці 2.1 розраховуємо навантаження кожного незалежного вузла та необхідну потужність силових трансформаторів.

Резервування трансформаторів підстанцій відбуватиметься за допомогою секційних вимикачів, встановлених в секційних перемичках на рівні напруги 10 кВ, вручну.

Для нормальної роботи трансформатора в післяаварійному режимі його перевантаження не повинне перевищувати 40% від номінальної потужності [4, 5]. Перевірку за перевантажувальною здатністю виконано в таблиці 2.2.

Трансформатори обираємо з [5, 7].

Таблиця 2.1 – Визначення навантажень трансформаторів

Вузол	Q_{CH} , МВАр	Q_{HH} , МВАр	P , МВт	Q , МВАр	S , МВА	$ S $, МВА	S_T , МВА
1	7,40	3,65	15	11,05	18,63	13,31	7,40
2	7,40	4,38	16	11,78	19,87	14,19	7,40
3	10,36	0,00	14	10,36	17,42	12,44	10,36
4	5,92	2,92	12	8,84	14,90	10,65	5,92
6	8,14	5,11	18	13,25	22,35	15,96	8,14
7	6,66	3,65	14	10,31	17,39	12,42	6,66

Для кожної підстанції розглядатимемо два варіанти виконання з трансформаторами різної потужності та приймаємо варіант з меншими приведеними затратами, які враховують одноразові капіталовкладення та щорічні експлуатаційні витрати (таблиця 2.3).

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Карчков М.В.			Проектування живильної електричної мережі напругою 110 кВ. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Грицюк Ю.В.					11	22
						ФАБЕ, 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	$1,4 \cdot S_T$, МВА	P_X , кВт	P_K , кВт
1	ТДТН – 16000 / 110	17,14	22,4	32	105
	ТДТН – 25000 / 110		35	45	145
2	ТДТН – 16000 / 110	18,28	22,4	32	105
	ТДТН – 25000 / 110		35	45	145
3	ТДН – 16000 / 110	16,02	22,4	26	85
	ТРДН – 25000 / 110		35	36	120
4	ТДТН – 10000 / 110	13,71	14	23	80
	ТДТН – 16000 / 110		22,4	32	105
6	ТДТН – 16000 / 110	20,56	22,4	32	105
	ТДТН – 25000 / 110		35	45	145
7	ТДТН – 10000 / 110	11,43	14	23	80
	ТДТН – 16000 / 110		22,4	32	105

Таблиця 2.3 – Техніко-економічне порівняння трансформаторів

Вузол	W, кВт·год	C_e , тис.грн	K, тис.грн	З, тис.грн
1	634882,35	5079,06	8000	6079,1
	890925,15	7127,40	9200	8277,4
2	634882,35	5079,06	8000	6079,1
	890925,15	7127,40	9200	8277,4
3	515620,95	4124,97	6400	4925,0
	715568,40	5724,55	7600	6674,5
4	459525,60	3676,20	7800	4651,2
	634882,35	5079,06	8000	6079,1
6	634882,35	5079,06	8000	6079,1
	890925,15	7127,40	9200	8277,4
7	459525,60	3676,20	7800	4651,2
	634882,35	5079,06	8000	6079,1

За результатами порівняння (табл.2.3) обрали:

вузол 1, 2, 6 – 2 × ТДТН – 16000 / 110;

вузли 4, 7 – 2 × ТДТН – 10000 / 110;

вузол 3 – 2 × ТДН – 16000 / 110.

2.2. Визначення поточкорозподілу потужності методом розмикання схеми

Згідно з [5] проєктовану електричну мережу можна віднести до однорідних: мають однакове розміщення проводів повітряних ЛЕП на опорах та постійне співвідношення реактивного та активного опорів на кожній ділянці. Для однорідних мереж у [1 – 3, 5] рекомендовано застосування методу розщеплення схеми при визначенні поточкорозподілу потужності. Цей метод дає доволі точні результати та дозволяє вирішити питання невизначеності вихідної інформації щодо опорів ЛЕП на даному етапі проєктування.

Метод реалізовуємо в такій послідовності:

задаємо шляхи замкнених контурів (І контур – 5-6-1-2-7-4-5; II контур – 5-6-1-2-3-4-5;

перетворюємо схему мережі на розімкнену з одним джерелом живлення шляхом розімкнення віток 2-7, 3-4;

складаємо та розв'язуємо систему контурних рівнянь в середовищі MathCad 15 (додаток [Д.4]).

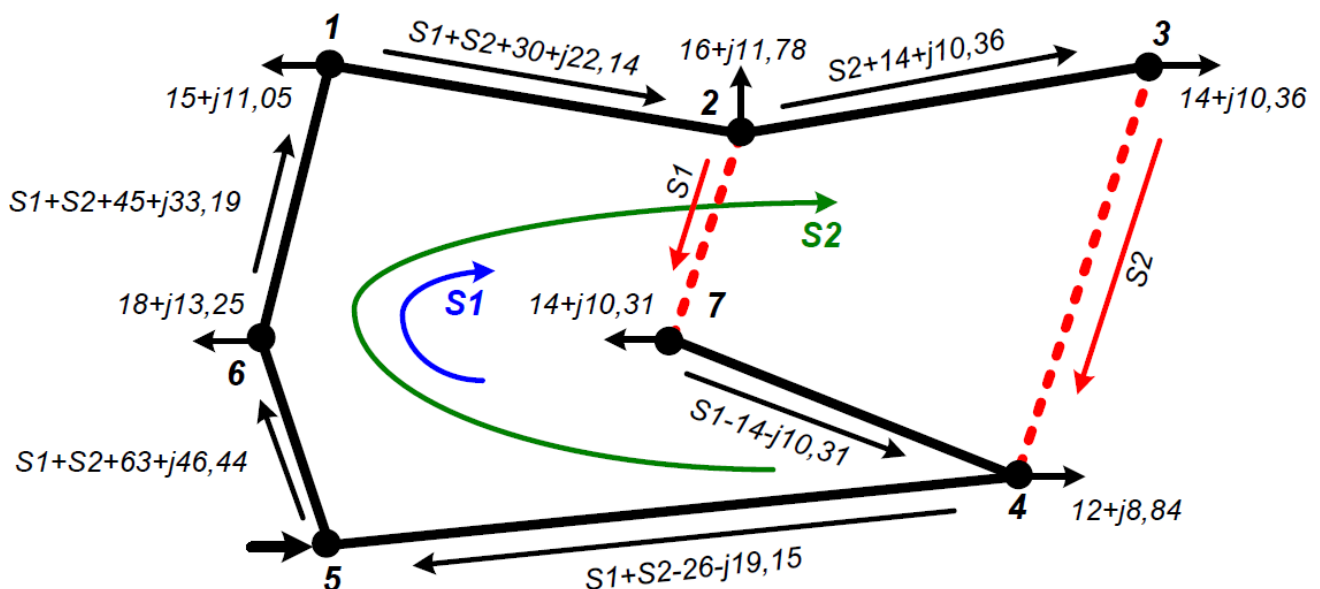


Рисунок 2.1 – Визначення поточкорозподілу методом розмикання схеми

$$\left\{ \begin{array}{l} (S_I + S_{II} + 63 + j46,44) \cdot 15,81 + (S_I + S_{II} + 45 + j39,19) \cdot 20,62 + \\ + (S_I + S_{II} + 30 + j22,14) \cdot 30,41 + S_I \cdot 15,81 + (S_I - 14 - j10,31) \cdot 26,93 + \\ + (S_I + S_{II} - 26 - j19,15) \cdot 50,25 = 0, \\ (S_I + S_{II} + 63 + j46,44) \cdot 15,81 + (S_I + S_{II} + 45 + j39,19) \cdot 20,62 + \\ + (S_I + S_{II} + 30 + j22,14) \cdot 30,41 + (S_{II} + 14 + j10,36) \cdot 30,41 + S_{II} \cdot 31,62 + \\ + (S_I + S_{II} - 26 - j19,15) \cdot 50,25 = 0. \end{array} \right.$$

$$S_I = 1,508 + j1,11,$$

$$S_{II} = -11,903 - j8,79.$$

Орієнтовний поточкорозподіл, визначений за методом розщеплення схеми:

$$S_{56} = 52.605 + 38.76i$$

$$S_{16} = 34.605 + 25.51i$$

$$S_{12} = 19.605 + 14.46i$$

$$S_{23} = 2.097 + 1.57i$$

$$S_{54} = -36.395 - 26.83i$$

$$S_{47} = -12.492 - 9.2i$$

$$S_{27} = 1.508 + 1.11i$$

$$S_{34} = -11.903 - 8.79i$$

Таблиця 2.4 – Повні потужності віток

Вітка	P, кВт	Q, кВАр	$ \dot{S} $, МВА
5 – 6	52,61	38,76	65,34
1 – 6	34,61	25,51	42,99
1 – 2	19,61	14,46	24,36
2 – 3	2,10	1,57	2,62
5 – 4	-36,40	-26,83	45,22
4 – 7	-12,49	-9,20	15,51
2 – 7	1,51	1,11	1,87
3 – 4	-11,903	-8,79	14,80

Вірність виконання розрахунків перевіряємо для вузлів 2, 4, в яких сполучається по три вітки:

$$S_{12} - S_{23} - S_{27} - s_2 = 19,605 + j14,46 - 2,097 - j1,57 - \\ -1,508 - j1,11 - 16 - j11,78 = (3,6 + j1,8) \cdot 10^{-15},$$

$$S_{34} - S_{54} + S_{47} - s_4 = -11,903 - j8,79 + 36,395 + j26,83 - \\ -12,492 - j9,2 - 12 - j8,84 = (-3,6 - j1,8) \cdot 10^{-15}.$$

2.3. Попередній вибір перерізів проводів

Згідно з даними таблиці 1.2 середньгеометрична відстань між проводами на опорах, розміщеними в ряд, становить 5040 мм. Для виконання повітряних ЛЕП обираємо сталевалюмінієві проводи марки АС [5], які характеризуються високою механічною стійкістю.

Вибір перерізів проводів здійснюємо за методом економічної густини струму нормального режиму роботи [5] дволанкової лінії.

Таблиця 2.5 – Попередній вибір проводів

Вітка	$I_{\text{норм}}, \text{A}$	n	$I_{\text{п.ав}}, \text{A}$	F, мм ²	Провід
5-6	171,68	2	343,36	172	2 × АС – 185
1-6	112,96	2	225,91	113	2 × АС – 120
1-2	64,01	2	128,01	64	2 × АС – 70
2-3	6,88	2	13,77	7	2 × АС – 70
5-4	118,80	2	237,60	119	2 × АС – 120
4-7	40,76	2	81,52	41	2 × АС – 70
2-7	4,92	2	9,84	5	2 × АС – 70
3-4	38,88	2	77,76	39	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
5-6	0,17	19,6	0,414	2,688	6,542
1-6	0,27	15,5	0,428	5,566	8,833
1-2	0,45	11,4	0,448	13,686	13,615
2-3	0,45	11,4	0,448	13,686	13,615
5-4	0,27	15,5	0,428	13,567	21,530
4-7	0,45	11,4	0,448	12,117	12,054
2-7	0,45	11,4	0,448	7,115	7,078
3-4	0,45	11,4	0,448	14,230	14,157

2.4. Визначення потокорозподілу потужності матричним методом

Наступним етапом визначення поткорозподілу потужності є його уточнення за допомогою матричного методу [2, 5].

Граф електричної мережі побудовано на рисунку 2.2.

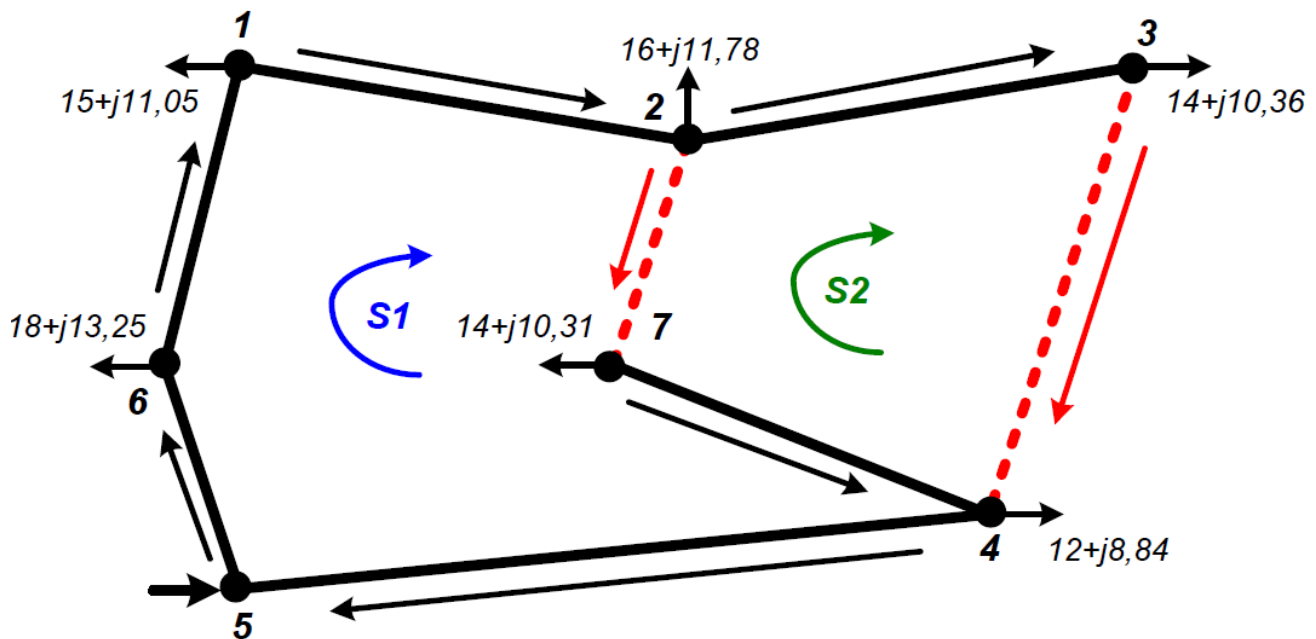


Рисунок 2.2 – Граф електричної мережі

На графі мережі чорним кольором позначено ребра дерева; червоним – хорди.

Сполучення віток у незалежних вузлах схеми аналітично характеризує перша матриця інциденцій:

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

При формуванні матриці спочатку включено вітки, що є ребрами дерева, потім – хорди.

Сполучення віток у незалежних контурах характеризує друга матриця інциденцій:

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

Матриці активних та реактивний навантажень у вузлах графа:

$$\dot{P} = \begin{vmatrix} 15 \\ 16 \\ 14 \\ 12 \\ 18 \\ 14 \end{vmatrix} \quad \dot{Q} = \begin{vmatrix} 11,05 \\ 11,78 \\ 10,36 \\ 8,84 \\ 13,25 \\ 10,31 \end{vmatrix}$$

Діагональні матриці довжин та активних опорів віток графа:

$$l_B = \begin{vmatrix} 15,81 & & & & & \\ & 20,62 & & & & \\ & & 30,41 & & & \\ & & & 30,41 & & \\ & & & & 50,25 & \\ & & & & & 26,93 \\ & & & & & & 15,18 \\ & & & & & & & 31,62 \end{vmatrix}$$

$$R_B = \begin{vmatrix} 2,688 & & & & & \\ & 5,566 & & & & \\ & & 13,686 & & & \\ & & & 13,686 & & \\ & & & & 13,567 & \\ & & & & & 12,117 \\ & & & & & & 7,115 \\ & & & & & & & 14,23 \end{vmatrix}$$

Із застосуванням середовища MathCad 15 розраховуємо уточнений потокорозподіл потужності [Д.5].

Таблиця 2.6 – Уточнений поточкорозподіл потужності

Вітка	P, кВт	Q, кВАр	$ \dot{S} $, МВА
5 – 6	52,61	39,26	65,64
1 – 6	34,61	26,01	43,29
1 – 2	19,61	14,96	24,66
2 – 3	2,10	1,78	2,75
5 – 4	-36,40	-26,33	44,92
4 – 7	-12,49	-8,90	15,34
2 – 7	1,51	1,41	2,06
3 – 4	-11,90	-8,59	14,68

Вірність виконання розрахунків перевіряємо для вузлів 2, 4, в яких сполучається по три вітки:

$$\begin{aligned}
 S_{12} - S_{23} - S_{27} - s_2 &= 19,605 + j14,961 - 2,097 - j1,775 - \\
 &\quad - 1,508 - j1,407 - 16 - j11,78 = j1,8 \cdot 10^{-15}, \\
 S_{34} - S_{54} + S_{47} - s_4 &= -11,903 - j8,585 + 36,395 + j26,329 - \\
 &\quad - 12,492 - j8,903 - 12 - j8,84 = j3,6 \cdot 10^{-15}.
 \end{aligned}$$

Для усіх віток мережі, потужність яких від'ємна, змінюємо напрям (рис. 2.3).

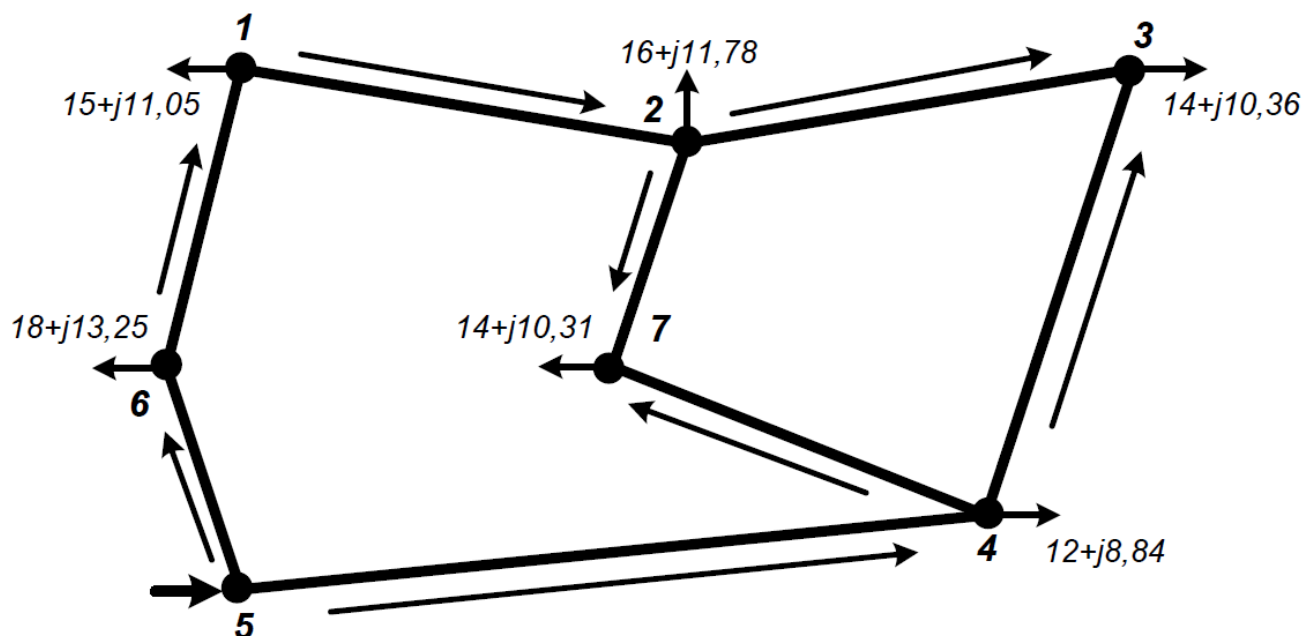


Рисунок 2.3 – Остаточний поточкорозподіл потужності в мережі

2.5. Уточнення перерізу проводів та перевірка за втратами напруги

За значеннями уточненого поточкорозподілу потужності обираємо перерізи проводів для кожної вітки. Також розраховуємо параметри схеми заміщення та втрати напруги.

Таблиця 2.7 – Остаточний вибір проводів віток схеми

Вітка	$I_{п.ав}, A$	$I_{норм}, A$	$F, мм^2$
5 – 6	344,93	172,47	172
1 – 6	227,49	113,74	114
1 – 2	129,59	64,80	65
2 – 3	14,44	7,22	7
5 – 4	236,05	118,02	118
4 – 7	80,61	40,30	40
2 – 7	10,84	5,42	5
3 – 4	77,12	38,56	39

Таблиця 2.8 – Перевірка проводів за втратами напруги

Вітка	Провід	$r_0, \frac{Ом}{КМ}$	$d, мм$	$x_0, \frac{Ом}{КМ}$	$R, Ом$	$X, Ом$	$Z, Ом$	$\Delta U, кВ$	$\Delta U, \%$
5 – 6	$2 \times AC - 185$	0,17	19,6	0,414	2,688	6,542	7,073	2,440	2,218
1 – 6	$2 \times AC - 120$	0,27	15,5	0,428	5,566	8,833	10,440	2,375	2,159
1 – 2	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,448	13,686	13,615	19,305	2,502	2,274
2 – 3	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,448	13,686	13,615	19,305	0,279	0,253
5 – 4	$2 \times AC - 120$	0,27	15,5	0,428	13,567	21,530	25,448	6,007	5,461
4 – 7	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,448	12,117	12,054	17,091	1,378	1,252
2 – 7	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,448	7,115	7,078	10,036	0,109	0,099
3 – 4	$2 \times AC - 70$	0,45	11,4	0,448	14,230	14,157	20,073	1,548	1,407

Вірність прийнятих проектних рішень перевіряємо шляхом визначення втрат напруги від вузла балансу 5 до найбільш віддалених споживачів (вузли 3, 7) відповідно до схеми (рис.2.3). Порівнюємо втрати в післяаварійному режимі роботи з допустимими значенням 5% від номінальної напруги:

$$U_5 = 115 В;$$

$$\Delta U_{5...3} \% = \frac{(\Delta U_{5-6} + \Delta U_{1-6} + \Delta U_{1-2} + \Delta U_{2-3}) \cdot 100}{110} =$$

$$= \frac{(2,218 + 2,159 + 2,274 + 0,253) \cdot 100}{110} = 6,905\%;$$

$$\Delta U_{5...3*} \% = \frac{(\Delta U_{5-4} + \Delta U_{3-4})100}{110} = \frac{(5,461 + 1,407) \cdot 100}{110} = 6,868\%;$$

$$\Delta U_{5..7} \% = \frac{(\Delta U_{5-6} + \Delta U_{1-6} + \Delta U_{1-2} + \Delta U_{2-7}) \cdot 100}{110} =$$

$$= \frac{(2,218 + 2,159 + 2,274 + 0,099) \cdot 100}{110} = 6,75\%;$$

$$\Delta U_{5...7*} \% = \frac{(\Delta U_{5-4} + \Delta U_{4-7})100}{110} = \frac{(5,461 + 1,252) \cdot 100}{110} = 6,713\%;$$

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

2.6. Проектування підстанції 110/10 кВ

Для електропостачання споживачів, приєднаних до вузла 3, та пониження напруги з високого 110 кВ до низького 10 кВ рівня застосовано двотрансформаторну підстанцію, укомплектовану двообмотковими силовими трансформаторами ТДН – 16000 / 110, вибраними в таблиці 2.2.

Також до складу підстанції входять:

відкритий розподільний пристрій ВРП-110 кВ укомплектований елегазовими вимикачами та роз'єднувачами зовнішнього встановлення (для резервування ліній живлення передбачено ремонтну перемичку);

закритий розподільний пристрій ЗРП-10 кВ укомплектований шафами КРУ ЕС-10 УЗ (для резервування трансформаторів передбачено секційну перемичку).

Лінії живлення напругою 110 кВ відповідають ділянкам мережі 2-3 (повітряна лінія; провід АС-70; довжина 30,41 км) та 3-4 (повітряна лінія; провід АС-70; довжина 31,62 км).

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6.1. Розрахунок компенсації реактивної потужності

Згідно з [1, 2, 5] ЛЕП мереж напругою 110 кВ мають доволі суттєву ємнісну провідність, яка під дією прикладеної напруги, дозволяє розглядати лінію як споживача реактивної зарядної потужності. Ця потужність має ємнісний характер та може компенсувати частину реактивної індуктивної потужності, що передається від джерела до споживача. Розрахунки виконуємо для лінії 3-4, що має більшу довжину:

$$b_{0.3-4} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{2 \cdot 5040}{11,4}} = 2,57 \cdot 10^{-6} \frac{\text{См}}{\text{км}};$$

$$B_{3-4} = 2,57 \cdot 10^{-6} \cdot 31,62 = 8,13 \cdot 10^{-5} \text{ См};$$

$$Q_{B,3-4} = 8,13 \cdot 10^{-5} \cdot 110^2 = 0,98 \text{ МВАр};$$

$$Q_M = 10,36 \text{ МВАр}; Q_e = 4,3 \text{ МВАр}.$$

Для оцінювання потреби у додатковій компенсації за допомогою конденсаторних установок враховуємо втрати в трансформаторах, зарядну потужність лінії та вхідну реактивну потужність енергосистеми (табл.1.2):

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 17,42 = 1,74 \text{ МВАр};$$

$$Q_K = 10,36 - 4,3 - 0,98 + 1,74 = 6,82 \text{ МВАр};$$

$$\Rightarrow 2 \times \text{УКРМ} - 6,3(10,5) - 3600 - (270 + 2 \times 450) \text{ УЗ}.$$

2.6.2. Розрахунок струмів короткого замикання

Згідно із схемами (рис.2.4, 2.5) виконаємо розрахунок струмів короткого замикання: точка К1 відповідає рівню первинної напруги трансформаторної підстанції; точка К2 – рівню низької напруги.

Для зведення до базових умов застосовуємо наближений метод. Розрахунки виконуємо в абсолютних одиницях.

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За отриманими значеннями струмів КЗ виконуватимемо перевірку апаратури та шин напругою 110 та 10 кВ за електродинамічною та термічною стійкістю.

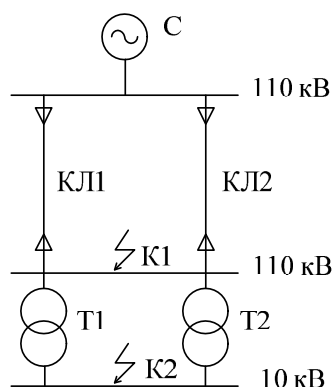


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема короткозамкненого кола

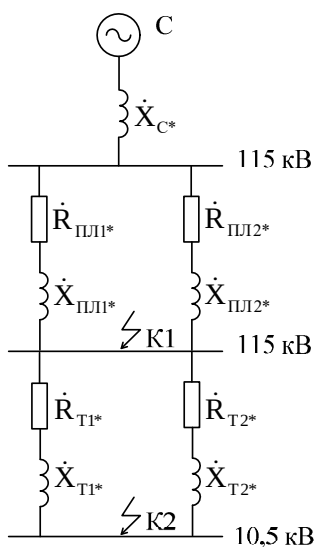


Рисунок 2.5 – Заступна схема короткозамкненого кола

Вихідні дані з табл.1.1, 2.8:

$$\text{ПЛ2} - 3: l = 30,41 \text{ км}; r_0 = 0,45 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; x_0 = 0,448 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$$

$$\text{ПЛ3} - 4: l = 31,62 \text{ км}; r_0 = 0,45 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; x_0 = 0,448 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Розрахунок струму короткого замикання в точці К1:

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

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

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

$$\dot{R}_{\text{ПЛ.2-3}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 30,41 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,052 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ.2-3}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,448 \cdot 31,62 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,051 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{ПЛ.3-4}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 30,41 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,054 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ.3-4}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,448 \cdot 31,62 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,054 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}'_{\text{ПЛ.2-3,3-4}^*} = \frac{0,052 \cdot 0,054}{0,052 + 0,054} = 0,026 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}'_{\text{ПЛ.2-3,3-4}^*} = \frac{0,051 \cdot 0,054}{0,051 + 0,054} = 0,026 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{рез К1}^*} = \dot{R}'_{\text{ПЛ.2-3,3-4}^*} = 0,026 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{рез К1}^*} = 0 + 0,026 = 0,026 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{\text{рез К1}^*} = \sqrt{0,026^2 + 0,026^2} = 0,037 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{н0.К1}} = \frac{0,503}{0,037} = 13,51 \text{ кА};$$

$$i_{\text{y.К1}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 13,51 = 26,748 \text{ кА};$$

$$B_{\text{К.К1}} = 13,51^2 \cdot 0,25 = 45,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Розрахунок струму короткого замикання в точці К2:

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

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

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

$$\dot{R}_{\text{ПЛ.2-3}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 30,41 \cdot \frac{100}{115^2} \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = 0,052 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ.2-3}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,448 \cdot 31,62 \cdot \frac{100}{115^2} \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = 0,051 \text{ Ом};$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$\dot{R}_{\text{ПЛ3-4}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 30,41 \cdot \frac{100}{115^2} \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = 0,054 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{ПЛ3-4}^*} = \frac{1}{2} \cdot 0,448 \cdot 31,62 \cdot \frac{100}{115^2} \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = 0,054 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}'_{\text{ПЛ.2-3,3-4}^*} = \frac{0,052 \cdot 0,054}{0,052 + 0,054} = 0,026 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}'_{\text{ПЛ.2-3,3-4}^*} = \frac{0,051 \cdot 0,054}{0,051 + 0,054} = 0,026 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{T1}^*} = \dot{R}_{\text{T2}^*} = \frac{0,085 \cdot 100}{16 \cdot 16} = 0,033 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{T1}^*} = \dot{X}_{\text{T2}^*} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 16} = 0,656 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}'_{\text{T1,2}^*} = \frac{0,033}{2} = 0,017 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}'_{\text{T1,2}^*} = \frac{0,656}{2} = 0,328 \text{ Ом};$$

$$\dot{R}_{\text{резK2}^*} = 0,026 + 0,017 = 0,043 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_{\text{резK2}^*} = 0 + 0,026 + 0,328 = 0,354 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{\text{резK2}^*} = \sqrt{0,043^2 + 0,354^2} = 0,357 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{н0.K2}} = \frac{5,505}{0,357} = 15,422 \text{ кА};$$

$$i_{\text{y.K2}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 15,422 = 30,534 \text{ кА};$$

$$B_{\text{K.2}} = 15,422^2 \cdot 0,25 = 59,46 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.3. Вибір гнучких шин

Ввід підстанції, розташованої у вузлі 3, виконано гнучким шинопроводом. Вибір перерізу сталелегуючих шин виконано відповідно до [3, 5] за струмом нормального режиму роботи ділянки мережі 3-4 та економічною густиною струму:

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_e = \frac{38,56}{1} = 38,56 \text{ мм}^2;$$

з [7] обираємо провід АС – 70: $I_{\text{доп}} = 265 \text{ А}; d = 11,4 \text{ мм};$

$$\text{з [8]} \Rightarrow C = 97 \frac{\text{А} \cdot \text{с}^{1/2}}{\text{мм}^2};$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{45,63 \cdot 10^6}}{97} = 69,6 \text{ мм}^2 < 70 \text{ мм}^2;$$

$$D = 4,0 \text{ м};$$

$$f^{(3)} = \frac{1,5 \cdot (13,5 \cdot 10^3)^2}{4,0} \cdot 10^{-7} = 6,84 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

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

$$z = \frac{6,84}{8,8} = 0,778;$$

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

$$\text{з [8]} \quad h = 1,5 \text{ м};$$

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

$$\text{з [8]} \Rightarrow b / h = 0,1; b = 0,1 \cdot 1,5 = 0,15 \text{ м}; a_{\text{доп}} = 0,4 \text{ м};$$

$$b_{\text{доп}} = \frac{4,0 - 0,0114 - 0,4}{2} = 1,794 \text{ м};$$

$$0,15 < 1,794 \text{ м}.$$

$$\text{з [8]} \quad m_{\text{ш}} = 0,82; \delta = 1,04;$$

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \sqrt{1 + \frac{0,299}{\sqrt{0,5 \cdot 0,0114 \cdot 1,04}}} = 29,29 \frac{\text{кВ}}{\text{см}};$$

$$E = \frac{0,354 \cdot 110}{0,84 \cdot \lg \frac{5,04}{0,5 \cdot 0,0114}} = 23,18 \frac{\text{кВ}}{\text{см}};$$

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$1,07 \cdot 23,18 = 24,81 < 0,9 \cdot 29,29 = 26,36 \frac{\text{кВ}}{\text{см}} \Rightarrow \text{АС} - 70.$$

2.6.4. Вибір обланання напругою 110 кВ

2.6.4.1. Вибір роз'єднувачів

Для відокремлення та забезпечення видимого розриву електричної мережі під напругою, але за відсутності струму обираємо з [10] роз'єднувачі S2DA (зовнішнього встановлення, горизонтально-поворотного типу, триполюсні, з електроприводом на напругу 110 кВ).

На вводі підстанції встановлюємо роз'єднувачі S2DA2T123 з двома заземлюючими ножами; з обох боків вимикачів перед трансформаторами та у ремонтній перемичці S2DAT123 – з одним заземлюючим ножем.

Стаціонарні заземлюючі ножі призначені для заземлення відокремлених ділянок мережі.

$$110 = 110 \text{ кВ};$$

$$33,56 < 1250 \text{ А};$$

$$77,12 < 1250 \text{ А};$$

$$26,748 < 80 \text{ кА};$$

$$45,63 < 63^2 \cdot 3 = 11907 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.4.2 Вибір високовольтних вимикачів

Для комутації в нормальному та аварійних режимах мереж напругою 110 кВ з ефективно заземленою нейтраллю вибираємо з [10] елегазові колонкові вимикачі зовнішнього встановлення GL312 F1/40 20 VR (трифазні, з полімерними ізоляторами, один електропривод FK3-1 на три полюси). В якості дугогасного та ізоляційного середовища використовується елегаз (SF₆).

В розподільній зладі 110 кВ елегазові вимикачі виконують функцію керування силовими трансформаторами та їх захисту, а також ввімкнення

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ремонтної перемички за умови виведення в ремонт повітряної лінії живлення.

$$110 = 110 \text{ кВ};$$

$$33,56 < 2000 \text{ А};$$

$$77,12 < 2000 \text{ А};$$

$$13,51 < 40 \text{ кА};$$

$$26,748 < 100 \text{ кА};$$

$$45,63 < 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.4.3. Вибір трансформаторів струму

Для передавання сигналів вимірювальної інформації до засобів вимірювання, пристроїв захисту, автоматики, сигналізації та керування обираємо з [10] трансформатори струму OSKF 123 з паперово-масляною внутрішньою ізоляцією. Кількість вторинних обмоток трансформаторів струму: перед силовими трансформаторами – 4 шт.; в ремонтній перемичці – 2 шт.

$$110 = 110 \text{ кВ};$$

$$33,56 < 100 \text{ А};$$

$$77,12 < 100 \text{ А};$$

$$26,748 < 80 \text{ кА};$$

$$45,63 < 3969 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$0,835 < 30 \text{ Ом},$$

$$r_k = 0,05 \text{ Ом};$$

$$\text{з [11]} S_{\text{прил}} = 0,8 \cdot 3 + 8 \cdot 2 = 18,4 \text{ ВА};$$

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

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

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

2.6.4.4. Вибір розрядників

Вибираємо з [12] 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 [13] заземлювачі

ЗОН – 110М – І УХЛ1:

$$110 = 110 \text{ кВ;}$$

$$33,56 < 2500 \text{ А;}$$

$$77,12 < 2500 \text{ А;}$$

$$13,51 < 31,5 \text{ кА;}$$

$$26,748 < 81 \text{ кА;}$$

$$45,63 < 9408 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

2.6.5. Вибір жорстких шин та ізоляторів

Шинопровід закритої розподільної злагоди 10 кВ підстанції 110/10 кВ (вузол 3) виконаний жорсткими алюмінієвими шинами прямокутної форми, вибраними з [14].

Вибір перерізу шин виконуємо за струмами навантаження (нормального та післяаварійного) на рівні 10 кВ підстанції:

$$I_{\text{норм.3}} = \frac{17,42 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 503,36 \text{ А; } I_{\text{п.ав.3}} = \frac{17,42 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1006,73 \text{ А;}$$

$$\text{шини } 60 \times 8; I_{\text{тр.лоп}} = 1025 \text{ А;}$$

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

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I'_{\text{доп}} = 1025 \cdot \sqrt{\frac{75-15}{75-25}} = 1168,68 \text{ A};$$

$$1006,73 < 1168,68 \text{ A};$$

$$C = 173,2 \frac{\text{A} \cdot \text{с}^{-1}}{\text{мм}^2};$$

$$q = 60 \cdot 8 = 480 \text{ мм}^2;$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{59,46 \cdot 10^6}}{173,2} = 44,52 \text{ мм}^2;$$

$$480 > 44,52 \text{ мм}^2;$$

$$J = \frac{0,8 \cdot 6^3}{12} = 14,4 \text{ см}^4;$$

$$\sqrt{\frac{173,2}{f_0}} \sqrt{\frac{J}{q}} = \sqrt{\frac{173,2}{200}} \sqrt{\frac{14,4}{480}} = 1,22 \text{ м};$$

$$1,2 < 1,22 \text{ м};$$

$$a = 0,3 \text{ м};$$

$$2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (0,008 + 0,06) = 0,126 \text{ м};$$

$$0,3 > 0,126 \text{ м} \Rightarrow k_{\phi} = 1;$$

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot \frac{30,354^2}{0,3} = 538,29 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

$$M = \frac{538,29 \cdot 1,2^2}{10} = 77,513 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\sigma_{\text{розр}} = \frac{6 \cdot 77,513}{0,8 \cdot 6^2} = 16,15 \text{ МПа};$$

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

$$16,15 < 40 \text{ МПа}.$$

З [15] приймаємо опорні порцелянові ізолятори ІО – 10 – 3,75 II УЗ:

$$з [8]: k_h = 1;;$$

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$F = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot \frac{30,534^2}{0,3} = 645,94 \text{ Н};$$

$$з [8]: F_{руйн} = 3675 \text{ Н}; F_{доп} = 0,6 \cdot 3675 = 2205 \text{ Н};$$

$$645,94 < 2205 \text{ Н}.$$

2.6.6. Вибір обладнання напругою 10 кВ

Для комплектування закритої розподільної злагоди 10 кВ підстанції 110/10, розташованої у вузлі 3, обираємо з [16] комплектні розподільні пристрої КРУ-ЕС.

КРУ являє собою комплект шаф з встановленими в них комутаційними апаратами, вимірювальними приладами, пристроями управління та сигналізації, пристроями захисту відсіків шаф КРУ від руйнування відкритою електричною дугою.

Технічні характеристики шаф КРУ-ЕС наведено в таблиці 2.9.

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

Для контролю та захисту кабельних ліній 10 кВ, збірних шин 10 кВ та конденсаторних батарей обираємо з [17] автоматичні вакуумні вимикачі VD-4-10-1250-16, обладнані пружинним приводом EL1:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$503,36 < 1250 \text{ А};$$

$$1006,73 < 1250 \text{ А};$$

$$15,422 < 16 \text{ кА};$$

$$30,534 < 40 \text{ кА};$$

$$59,46 < 16^2 \cdot 3 = 768 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.6.6.2. Вибір трансформаторів струму

Вибираємо з [18] одновиткові прохідні трансформатори струму з литою ізоляцією. Трансформатори однофазні, з трьома вторинними обмотками у ввідних комірках та на лініях живлення конденсаторних батарей (підключені лічильники NIK 2303 АПЗТ [19]); з двома вторинними обмотками в лінійних та секційній комірках КРУ-ЕС (підключені пристрої релейного захисту та амперметри):

ТПОЛ – 10

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$503,36 < 1500 \text{ А};$$

$$1006,73 < 1500 \text{ А};$$

$$30,534 < 51 \text{ кА};$$

$$59,46 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 1,9 \text{ Ом},$$

$$r_k = 0,05 \text{ Ом};$$

$$S_{\text{прил}} = 10 \text{ ВА};$$

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

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

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

2.6.6.3. Вибір трансформаторів напруги

В комірках КРУ-ЕС встановлено трансформатори напруги, вибрані з [20], для підключенні лічильників, вольтметрів та пристроїв релейного захисту. Трансформатори є антирезонансними, з природною циркуляцією повітря та олії, призначені також для контролю ізоляції:

НАМІ – 10 УЗ

10 = 10 кВ;

60 < 300 ВА,

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

2.6.6.4. Вибір трансформаторів власних потреб

До власних потреб закритої розподільної злагоди 10 кВ належать:

електроприводи вакуумних вимикачів;

опалення;

освітлення;

пристрої підігріву комірок.

Усі ці електроприймачі є низьковольтними (напруга 400/230 В) та заживлені від трансформаторів власних потреб, вибраних з [20]:

ТСКС – 16 / 10 / 0,4.

РОЗДІЛ 3

МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ

Для оцінювання механічної міцності обраних проводів, якими виконано повітряну лінію на ділянці 3-4 (рис.1.1), здійснимо такі розрахунки [Д.3]:

визначення механічних навантажень на провід від його власної ваги, ваги ожеледі та тиску вітру;

розв'язання рівнянь стану проводу та визначення напружень в його матеріалі за умови максимальної температури, мінімальної температури, наявності ожеледі та вітру;

перевірка проводів за експлуатаційним напруженням;

розрахунок максимальної стріли провисання та оцінювання відмінності фактичної довжини проводу в прогоні та довжини прогону.

Повітряну лінію виконао проводами АС-70/11, характеристики яких наведено в табл.2.8. Для розрахунку використовуємо довідникові дані з [4, 5]:

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

Розрахунок питомих навантажень :

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

$$\gamma_2 = 28,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{1,5 \cdot (11,4 + 1,5)}{68} = 0,008 \text{ МН / м}^3;$$

$$\gamma_3 = 0,04 + 0,008 = 0,048 \text{ МН / м}^3;$$

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

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

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Карчков М.В.			Проектування живильної електричної мережі напругою 110 кВ. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.		Грицюк Ю.В.					Аркушів
						33	4
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕ-43	
Затверд.		Волинець В.І.					

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

за наявності ожеледі: $c_x = 1,2$;

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

$$\gamma_5 = \frac{1 \cdot 1,2 \cdot 97,7 \cdot (11,4 + 2 \cdot 1,5)}{1000 \cdot 68} \cdot 10^6 = 0,025 \text{ МН / м}^3;$$

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

$$\gamma_7 = \sqrt{0,048^2 + 0,025^2} = 0,054 \text{ МН / м}^3.$$

$$\sigma_{\text{гр}} = 155 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 0,5 \cdot 155 = 77,5 \text{ МПа.}$$

$$l_{\text{кр}} = 77,5 \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 23 \cdot 10^{-6} \cdot (-1 - (-25))}{(5,4 \cdot 10^{-2})^2 - (4,0 \cdot 10^{-2})^2}} = 245,8 \text{ м.}$$

$$l = 260 \text{ м} > l_{\text{кр}} = 245,8 \text{ м} \Rightarrow \theta_{\text{ож}}; \gamma_7;$$

$$E = 63 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

Рівняння стану проводу:

$$\sigma_{\theta_{\text{max}}} - \frac{(4,0 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{\theta_{\text{max}}}^2} = 77,5 - \frac{(5,4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 245^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77,5^2} -$$

$$-23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (36 - (-1));$$

$$\sigma_{\theta_{\text{max}}} = 48,485 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\theta_{\text{min}}} - \frac{(4,0 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{\theta_{\text{min}}}^2} = 77,5 - \frac{(5,4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77,5^2} -$$

$$-23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (-25 - (-1));$$

$$\sigma_{\theta_{\text{min}}} = 72,166 \text{ МПа};$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971069.000 ПЗ

Арк.

34

$$\sigma_3 - \frac{(4,8 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_3^2} = 77,5 - \frac{(5,4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77,5^2} -$$

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

$$\sigma_3 = 68,865 \text{ МПа};$$

$$\sigma_6 - \frac{(6,7 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_6^2} = 77,5 - \frac{(5,4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77,5^2} -$$

$$-23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (-25 - (-1));$$

$$\sigma_6 = 112,165 \text{ МПа};$$

$$\sigma_7 - \frac{(5,4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_7^2} = 77,5 - \frac{(5,4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77,5^2} -$$

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

$$\sigma_7 = 77,5 \text{ МПа}.$$

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

Розрахунок стріли провисання проводу:

$$f_{+40} = \frac{4,0 \cdot 10^{-2} \cdot 260^2}{8 \cdot 48,485} = 6,889 \text{ м};$$

$$f_{-40} = \frac{4,0 \cdot 10^{-2} \cdot 260^2}{8 \cdot 72,166} = 4,628 \text{ м};$$

$$f_3 = \frac{4,8 \cdot 10^{-2} \cdot 260^2}{8 \cdot 68,865} = 5,838 \text{ м};$$

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

$$L = 260 + \frac{8}{3} \cdot \frac{6,889}{260} = 260,071 \text{ м};$$

$$\Delta = \left(\frac{260,071 - 260}{260} \right) \cdot 100 = 0,027\% < 0,1\%.$$

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експлуатаційне напруження :

$$\sigma_e - \frac{(4,0 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_e^2} = 77,5 - \frac{(5,4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 260^2 \cdot 63 \cdot 10^3}{24 \cdot 77,5^2} -$$
$$-23 \cdot 10^{-6} \cdot 63 \cdot 10^3 \cdot (16 - (-4));$$

$$\sigma_e = 56,048 \text{ МПа};$$

$$\frac{\sigma_e}{\sigma_{гр}} = \frac{56,048}{155} = 36,16\% < 40\%.$$

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

САПР

Рівняння стану, складені в розділі 3, для розрахунку напружень в матеріалі проводу мають третій порядок. Тому для їх розв'язання застосовуємо середовище MathCad 15:

Напруження при найвищій температурі та найбільшому додатковому навантаженні:

$$\sigma_{\max} - \frac{\gamma_1^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{\max}^2} - \sigma_{доп} + \frac{\gamma_m^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{доп}^2} + \alpha_{розш} \cdot E \cdot (36 - v_m) \rightarrow \sigma_{\max} - \frac{277266.4479166998269847}{\sigma_{\max}^2} + 61.195816192658535837794$$

Given

$$\sigma_{\max} - \frac{277266.4479166998269847}{\sigma_{\max}^2} + 69.46254040127205882235664 = 0$$

A1 := Find($\sigma_{\max}$) → (48.484705045823472617 -58.97362272354776572 + 47.336552782500152481i -58.97362272354776572 -

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

$$\sigma_{\max} = \begin{pmatrix} 48.485 \\ -58.974 + 47.337i \\ -58.974 - 47.337i \end{pmatrix} \quad \sigma_{\max5} := \sigma_{\max0,0}$$

$\sigma_{\max5} = 48.485 \text{ МПа}$

Напруження при найнижчій температурі та навантаженні від власної ваги проводу:

$$\sigma_{\min} - \frac{\gamma_1^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{\min}^2} - \sigma_{доп} + \frac{\gamma_m^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{доп}^2} + \alpha_{розш} \cdot E \cdot (-25 - v_m) \rightarrow \sigma_{\min} - \frac{277266.4479166998269847}{\sigma_{\min}^2} - 27.19318380734146416220i$$

Given

$$\sigma_{\min} - \frac{277266.4479166998269847}{\sigma_{\min}^2} - 18.92645959872794117764336 = 0$$

A2 := Find($\sigma_{\min}$) → (72.165888725004622666 -26.619714563138340744 + 55.977330364056248147i -26.61971456313834074 -

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

$$\sigma_{\min} = \begin{pmatrix} 72.166 \\ -26.62 + 55.977i \\ -26.62 - 55.977i \end{pmatrix} \quad \sigma_{\min4} := \sigma_{\min0,0}$$

$\sigma_{\min4} = 72.166 \text{ МПа}$

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

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування живильної електричної мережі напругою 110 кВ. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.		Карчков М.В.								37	3	
Перевір.		Грицюк Ю.В.						ФАБЕ, гр.ЕЕ–43				
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.										
Затверд.		Волинець В.І.										

Напруження при температурі ожелєді:

$$\sigma_4 - \frac{\gamma_3^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_4^2} - \sigma_{доп} + \frac{\gamma_m^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{доп}^2} + \alpha_{розш} \cdot E \cdot [(-1) - \nu_m] \rightarrow \sigma_4 - \frac{401747.39279294685336814}{\sigma_4^2} + 7.58281619265853583779497$$

Given

$$\sigma_4 - \frac{401747.39279294685336814}{\sigma_4^2} + 15.84954040127205882235664 = 0$$

A3 := Find(σ_4) → (68.864887502654652114 -42.357213951963355468 + 63.558760007439273156i -42.357213951963355468)

$\sigma_4 := A3^T$

$$\sigma_4 = \begin{pmatrix} 68.865 \\ -42.357 + 63.559i \\ -42.357 - 63.559i \end{pmatrix} \quad \sigma_{ок3} := \sigma_{4,0}$$

$\sigma_{ок3} = 68.865 \text{ МПа}$

Напруження при температурі ожелєді та навантаженні у6:

$$\sigma_3 - \frac{\gamma_6^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_3^2} - \sigma_{доп} + \frac{\gamma_m^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{доп}^2} + \alpha_{розш} \cdot E \cdot [(-25) - \nu_m] \rightarrow \sigma_3 - \frac{1.069016852274609983235e6}{\sigma_3^2} - 27.19318380734146416220$$

Given

$$\sigma_3 - \frac{1.069016852274609983235e6}{\sigma_3^2} - 27.19318380734146416220502 = 0$$

A4 := Find(σ_3) → (112.16460554021675883 -42.485710866437647333 + 87.896247775617936192i -42.485710866437647333)

$\sigma_3 := A4^T$

$$\sigma_3 = \begin{pmatrix} 112.165 \\ -42.486 + 87.896i \\ -42.486 - 87.896i \end{pmatrix} \quad \sigma_{ок2} := \sigma_{3,0}$$

$\sigma_{ок2} = 112.165 \text{ МПа}$

Рисунок 4.2 – Визначення напружень σ_3, σ_6 в матеріалі проводу

Напруження при температурі ожелєді та найбільшому додатковому навантаженні:

$$\sigma_7 - \frac{\gamma_7^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_7^2} - \sigma_{доп} + \frac{\gamma_m^2 \cdot I_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{доп}^2} + \alpha_{розш} \cdot E \cdot [(-1) - \nu_m] \rightarrow \sigma_7 - \frac{511028.6647571553308757561}{\sigma_7^2} + 7.582816192658535837794976$$

Given

$$\sigma_7 - \frac{511028.6647571553308757561}{\sigma_7^2} + 7.582816192658535837794976 = 0$$

A5 := Find(σ_7) → (77.5 -42.541408096329267919 + 69.167527439634613126i -42.541408096329267919 - 69.167527439634613126i)

$\sigma_7 := A5^T$

$$\sigma_7 = \begin{pmatrix} 77.5 \\ -42.541 + 69.168i \\ -42.541 - 69.168i \end{pmatrix} \quad \sigma_{ок1} := \sigma_{7,0}$$

$\sigma_{ок1} = 77.5 \text{ МПа}$

Рисунок 4.3 – Визначення напруження σ_7 в матеріалі проводу

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Схему влаштування блискавкозахисту підстанції 110/10 кВ, розташованої у вузлі 3, наведено на рисунку 5.1.

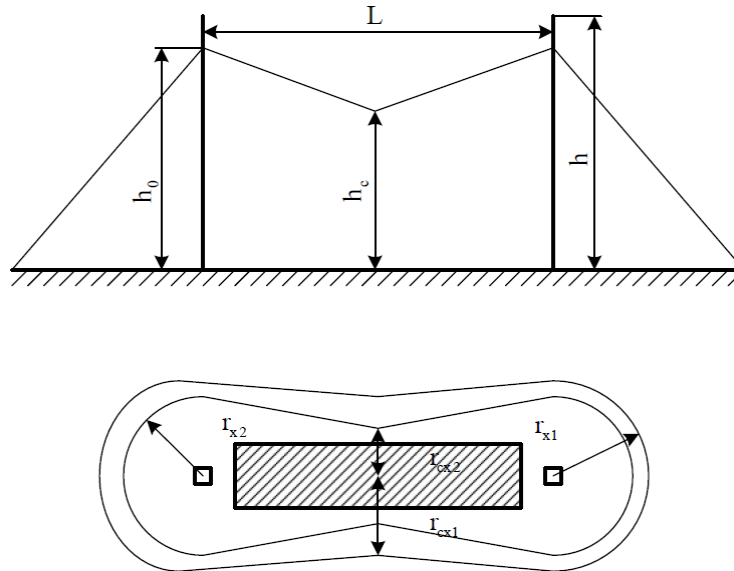


Рисунок 5.1 – Схема блискавкозахисту підстанції

Розрахуємо розміри та місце встановлення блискавковідводів відповідно до наведених позначень:

$$h = 25 \text{ м}; h_{x1} = 8 \text{ м}; h_{x2} = 10 \text{ м}; h_0 = 0,85 \cdot 25 = 21,25 \text{ м};$$

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

$$r_{x1} = (1,1 - 0,002 \cdot 25) \cdot \left(25 - \frac{8}{0,85} \right) = 16,37 \text{ м};$$

$$r_{x2} = (1,1 - 0,002 \cdot 25) \cdot \left(25 - \frac{10}{0,85} \right) = 13,897 \text{ м};$$

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

$$r_{cx1} = 26,25 \cdot \frac{20,27 - 8}{20,27} = 16,11 \text{ м}; r_{cx2} = 26,25 \cdot \frac{20,27 - 10}{20,27} = 13,6 \text{ м}.$$

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Карчков М.В.			Проектування живильної електричної мережі напругою 110 кВ. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.		Грицюк Ю.В.					Аркушів
Н. контр.		Вашелюк Ю.І.				40	1
Затверд.		Волинець В.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕ-43	

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Живильна мережа номінальною напругою 110 кВ, розроблена в даному проєкті, відповідає вимогам діючих нормативних документів [4].

В розділі 2 проєкту виконано розрахунок поточкорозподілу потужності в мережі, вибір силових трансформаторів підстанцій; пункт 2.6 присвячений проєктуванню підстанції, встановленої у вузлі 3:

невизначеність вихідної інформації щодо характеристик повітряних ЛЕП вдалось подолати шляхом застосування двох ітерацій при визначенні поточкорозподілу потужності (перша ітерація – розраховано наближений поточкорозподіл методом розмикання схеми; друга ітерація – уточнено отриманий поточкорозподіл матричним методом);

надійність електропротачання споживачів, приєднаних до трансформаторних підстанцій, встановлених у вузлах схеми, забезпечено вибором двотрансформаторних підстанцій та дволанкових ліній для кожної ділянки мережі;

для облаштування підстанції 110/10 кВ вибрано сучасне електричне обладнання високої та середньої напруги;

застосовано компенсацію реактивної потужності за допомогою конденсаторних батарей, підключених до секцій шин 10 кВ підстанції вузла 3, що забезпечило розвантаження електричної мережі, зменшення втрат напруги, тобто підвищення якості електричної енергії; при цьому попередньо враховано зарядну потужність повітряних ліній живлення, яка забезпечує часткову самокомпенсацію;

для дотримання показників якості електроенергії передбачено засоби регулювання напруги у вигляді пристроїв регулювання під навантаженням силових трансформаторів;

передбачено систему вимірювання параметрів режиму електричної системи та обліку електричної енергії.

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

В розділі 3 виконано механічний розрахунок проводів ділянки 3-4 повітряної ЛЕП. Доведено, що:

обрані проводи витримуватимуть без руйнування та пошкодження вплив будь-яких сполучень кліматичних умов;

експлуатаційне напруження в матеріалі проводів не перевищує допустимого значення;

відхилення між фактичною довжиною проводу в прогоні та довжиною прогону за умови найбільшої стріли провисання знаходиться в допустимих межах.

Автоматизація розрахунків, виконаних в проєкті, забезпечила їх високу точність (розд.3).

Для захисту обладнання підстанції, встановленої у вузлі 3, від прямих ударів блискавки та грозових перенапруг передбачено систему блискавкозахисту та наявність розрядників (розд.4).

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	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.

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						43
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. Трансформатори силові типу ТМ. URL : http://cabex.com.ua/ru/produkcija/transformatori/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. General Energy Company : Високовольтне обладнання 110 – 750 кВ : технічний каталог. Харків. 56 с.
11. Реле струму. URL : https://rza.org.ua/rele/read/Rele-toka--RT-40-i-RT-140---rele-maksimalnogo-toka_10.html
12. Вольтен : розрядники : каталог. URL : <https://volten.com.ua/ua/p15095902-razryadnik-rvs-110.html>
13. Вольтен : заземлювачі : каталог. URL : <https://volten.com.ua/ua/p15101085-zazemliteli-zon-110m.html>
14. Смуга (шина) алюмінієва АД0, АД31Т : каталог. URL : <https://cableshop.od.ua/ua/p232066201-polosa-shina-alyuminievaya.html>
15. Вольтен : опорні порцелянові ізолятори : каталог. URL : <https://volten.com.ua/ua/p15050305-375.html>
16. Пристрій комплектний розподільчий типу КРУ-ЕС : керівництво з експлуатації. Виробниче підприємство «Електросервіс».
17. General Energy Company : устаткування середньої напруги : вакуумний вимикач VD-4 6 – 40,5 кВ : каталог. URL : <https://general-energy.com.ua/vd4>

18. Беонтоп. Трансформатори струму. URL :

<https://beontop.com.ua/products/tolu-10-3>

19. Електролічильник NIK 2303 АП3Т 1000МЕ 5х120А (2303АП3Т).

URL :

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

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

21. ТОВ «Кварц». Запобіжники високовольтні серії ПКТ (ПТ). URL :

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

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

					ЛНТУ.971069.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		