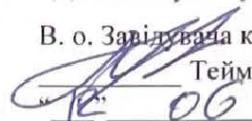


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Факультет електроенерготехніки та автоматики  
Кафедра електричних мереж та систем

«До захисту допущено»

В. о. Завідувача кафедри

Теймураз КАЦАДЗЕ

  
"12" 06 2024 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ**  
на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою «Електричні системи і мережі»  
зі спеціальності 141 «Мережа 110 кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно  
заземленою нейтраллю (20 Ом)».

Виконав:


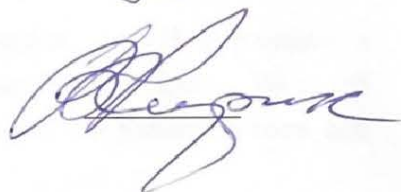
студент IV курсу, групи ЕС-02  
Погребінський Гліб Валентинович

Науковий керівник:

Професор, д-р техн. наук.  
Кирик Валерій Валентинович

Рецензент:

доцент, канд. техн. наук  
Бардик Євгеній Іванович

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з  
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет електроенерготехніки та автоматики**  
кафедра електричних мереж та систем Інститут/факультет: факультет  
електроенерготехніки та автоматики  
Кафедра: електричних мереж та систем  
Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)  
Спеціальність: 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Освітньо-професійна програма: «Електричні системи і мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. Завідувач кафедри

Теймураз КАЦАДЗЕ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

### **ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

**Погребінському Глібу Валентиновичу**

1. Тема дипломного проекту: «Мережа 110 кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно заземленою нейтраллю (20 Ом)», керівник проекту Кирик Валерій Валентинович, професор, д-р техн. наук, затверджено наказом по університету від «28» травня 2024 р. № 2127-с.
2. Термін подання студентом проєкту: 12 червня 2024 р.
3. Вихідні дані до проєкту: ситуаційний план, навантаження пунктів,
4. Зміст пояснювальної записки дипломного проєкту (роботи) (перелік завдань, які необхідно розробити):
  - 1) синтез мінімум чотирьох-п'яти варіантів схем;
  - 2) вибір кількості, типу і потужності трансформаторів на підстанціях
  - 3) розрахунок струморозподілу за довжинами ділянок двох обраних схем;
  - 4) техніко-економічне обґрунтування майбутньої конфігурації схеми;
  - 5) розрахунок режиму максимальних навантажень;
  - 6) розрахунок післяаварійного режиму роботи;
  - 7) вибір регулювальних відгалуджень РПН та ПБЗ на силових трансформаторах вузлових підстанцій

8) Аналіз розподільчих мереж середньої напруги Німеччини та дослідження мережі 110 кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно заземленою нейтраллю

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

- 1) Ситуаційний план. Варіанти конфігурації схеми мережі. Розрахунок поточкорозподілу в L-схемі
- 2) Принципова схема мережі. Опорні режими
- 3) Енерговузел 20 кВ

6. Консультанти розділів проекту (роботи):

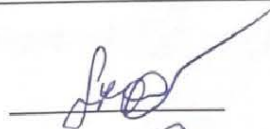
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
-	-	-	-

7. Дата видачі завдання: 4 березня 2024 року.

#### Календарний план

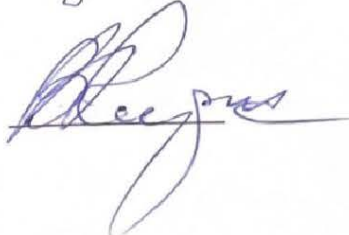
№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Синтез п'яти варіантів схем РЕМ	04.03.2024-10.03.2024	
2	Вибір кількості, типу і потужності трансформаторів на ПС	10.03.2024-30.03.2024	
3	Розрахунок струморозподілу за довжинами ділянок	02.04.2024-10.04.2024	
4	Техніко-економічне обґрунтування майбутньої конфігурації	10.04.2024-30.04.2024	
5	Розрахунок режиму максимальних навантажень	02.05.2024-12.05.2024	
6	Розрахунок післяаварійного режиму роботи	13.05.2024-15.05.2024	
8	Аналіз розподільчих мереж середньої напруги Німеччини та дослідження мережі 110 кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно заземленою нейтраллю	15.05.2024-01.06.2024	

Студент



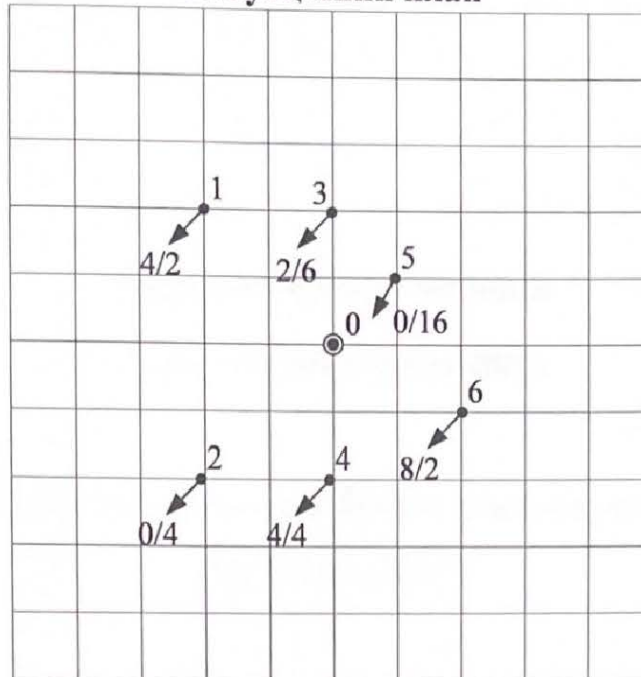
Гліб ПОГРЕБІНСЬКИЙ

Керівник проекту



Валерій КИРИК

### Ситуаційний план



#### Вихідні дані:

- номінальна напруга мережі  $U_H = 110$  кВ.
- балансуєчий пункт у точці 0.
- масштаб 1 см : 10 км.
- відстань між пунктами  $L$ (км) та активні потужності пунктів  $P$ (МВт) – за ситуаційним планом.
- коефіцієнти потужності сторін СН, НН та генератора:  $\cos(\varphi_{СН}) = 0,87$ ;  
 $\cos(\varphi_{НН}) = 0,85$ ;
- кількість годин використання максимуму навантаження:  $T_{\max} = 5500$  [год/рік].
- граничне значення моменту потужності  $M_{\text{гран}} = 4500$  [МВт·км].
- у всіх пунктах підключено споживачі I-ї та II-ї категорій.
- географічний район спорудження мережі: Україна.

#### Примітки:

1. На ситуаційному плані дроби означають активні навантаження:

- чисельник – навантаження на стороні СН;
- знаменник – навантаження на стороні НН.

2. Для техніко-економічного зіставлення варіантів виконати синтез чотирьох-п'яти різноманітних триконтурних схем.

« 04 » 03 2024 р.

Керівник Валерій КИРИК


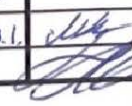

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проекту**

на тему: Мережа 110 кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно заземленою  
нейтраллю (20 Ом)

Київ 2024 рік

## ВІДОМОСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП0209.141.007 ПЗ	Пояснювальна записка	67	
3	A1	ДП0209.141.007.001 ТК	Ситуаційний план. Варіанти конфігурації схеми мережі. Розрахунок поточкорозподілу в L-схемі	1	
4	A1	ДП0209.141.007.002 ТК	Принципова схема мережі. Опорні режими	1	
5	A1	ДП0209.141.007.003 ТК	Енерговузол 20 кВ	1	

					ДП0209.141.007.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Погребінський Г.В.			Мережа 110 кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно заземленою нейтраллю (20 Ом)	Літ.	Лист	Листів
Перевірив		Кирик В. В.					6	68
Н. Контр.		Мусаховський В. І.				НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» Каф. ЕМС гр. ЕС-02		
Затвердив		Кацадзе Т.Л.						

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з двох частин. Перша частина – це пояснювальна записка, яка складається з 67 аркушів формату А4. В пояснювальній записці міститься 22 рисунки, 27 таблиць і ... використаних джерел. Графічна частина складається з 2 технічних креслень формату А1.

Темою дипломної роботи було проектування районної електричної мережі напругою 110 кВ та дослідження мережі 110 кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно заземленою нейтраллю (20 Ом)

В роботі було виконано вибір двох з п'яти конфігурацій електричної мережі за допомогою методу моментів. З цих двох схем потім було обрано одну за допомогою техніко-економічних показників. Були розраховані параметри заміщення для елементів електричної мережі. Виконаний ітераційний розрахунок режиму максимальних навантажень та післяаварійного режиму.

Після виконання проекту електричної мережі був виконан аналіз розподільчих мереж середньої напруги Німеччини та дослідження мережі 110 кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно заземленою нейтраллю (20 Ом)

ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, ТРАНСФОРМАТОР, ПІДСТАНЦІЯ, ІТЕРАЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК, ЛІНІЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ, РЕЖИМИ РОБОТИ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

									Лист
									7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

## ABSTRACT

The diploma project consists of two parts. The first part is the explanatory note, which consists of 67 A4 sheets. The explanatory note contains 22 figures, 27 tables and ... references. The graphic part consists of 2 technical drawings of A1 format.

The topic of the diploma work was the design of a 110 kV district power grid and the study of a 110 kV network with a 20 kV power unit in the mode with a resistively grounded neutral (20 Ohm)

In this work, two of the five power grid configurations were selected using the method of moments. Of these two schemes, one was then selected using technical and economic indicators. The replacement parameters for the grid elements were calculated. An iterative calculation of the maximum load and post-accident modes was performed.

After the design of the power grid was completed, the analysis of the German medium voltage distribution networks and the 110 kV network with a 20 kV power unit in the mode with a resistively grounded neutral (20 Ohm) was performed

POWER GRID, TRANSFORMER, SUBSTATION, ITERATIVE CALCULATION, POWER LINE, OPERATING MODES, TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS

									Лист
									8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				



## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень .....	11
Вступ.....	12
1 Проект електричної мережі.....	13
1.1 Вихідні параметри проектованої електричної мережі.....	13
1.2 Синтез варіантів конфігурації схем РЕМ.....	14
1.3 Вибір кількості, типу і потужності трансформаторів на ПС .....	18
1.4 Розрахунок L-схеми для конфігурацій РЕМ.....	21
1.5 Вибір кількості ланцюгів і перерізів проводів на ділянках замкненої мережі.....	25
1.6 Розрахунок параметрів Z-схеми заміщення електричної мережі.....	30
1.6.1 Параметри схеми заміщення ЛЕП.....	30
1.6.2 Параметри схеми заміщення трансформаторів.....	34
1.7 Розрахунок режиму максимальних навантажень.....	37
1.8 Розрахунок післяаварійного режиму роботи мережі.....	50
Висновки по розділу 1 .....	56
2 Аналіз структури розподільчих мереж середньої напруги в Німеччині та дослідження мережі 110 кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно заземленою нейтраллю (20 Ом).....	58
2.1 Стислі теоретичні відомості .....	58
2.2 Загальна інформація про структура розподільчих мереж середньої напруги в Німеччині .....	59
2.3 Дослідження структури мереж середньої напруги в Німеччині .....	60
2.4 Дослідження мережі 110кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно заземленою нейтраллю (20 Ом).....	61
Висновки по розділу 2 .....	62

									Лист
									9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ				

Загальні висновки.....	64
Список використаних джерел.....	66
Додаток А. Результат перевірки дипломного проєкту на плагіат.....	68

									Лист
									10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

РЕМ	–	районна електрична мережа;
КЗ	–	коротке замикання;
ПС	–	підстанція;
СН	–	середня напруга;
НН	–	низька напруга;
ПУЕ	–	правила улаштування електроустановок;
ПЛ	–	повітряна лінія
ЛЕП	–	лінія електропередавання
РПН	–	регулювання під навантаженням
ОЕС	–	Об'єднана енергетична система

									Лист
									11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

## ВСТУП

Розподільні (районні) електричні мережі (РЕМ) ліцензіатів з передачі та постачання електричної енергії місцевими (локальними) електричними мережами за регульованим тарифом є завершальною ланкою в системі забезпечення споживачів електроенергією. Вони безпосередньо взаємодіють як із конкретними споживачами, так і з магістральними та міждержавними електричними мережами. Результати роботи РЕМ значною мірою визначають надійність, якість та ефективність функціонування всієї Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України.

У даній роботі було виконано проектування районної електричної мережі напругою 110 кВ з обґрунтуванням потужності трансформаторного обладнання підстанції.

Обґрунтування вибору трансформаторного обладнання проводилося за техніко-економічними показниками та порівнянням навантажувальної здатності.

Під час проектування мережі враховувалися вимоги до надійності електропостачання та якості електроенергії.

Конфігурації схем створювалися з урахуванням економічності та безпеки технічної експлуатації.

Конструктивне виконання мережі здійснювалося відповідно до нових видань ПУЕ.

									Лист
									12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

# 1 ПРОЕКТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

## 1.1 Вихідні параметри спроектованої електричної мережі

- 1) Номінальна напруга електричної мережі  $U_{ном} = 110$  кВ;
- 2) Балансуючий пункт в точці 0;
- 3) Напруга балансуєчого пункту  $U_{БП}=115$  кВ;
- 4) Категорія електропостачання споживачів: I-II;
- 5) Коефіцієнти потужності сторін СН, НН та генератора:  $\cos(\phi_{сн})=0,87$ ;  
 $\cos(\phi_{нн})=0,85$ ;
- 6) Кількість годин використання максимуму навантаження  $T_{max} = 5500$   
(год/рік)
- 7) Граничне значення моменту потужності  $M_{гран}=4500$  [МВт·км];
- 8) У всіх пунктах підключено споживачі I-ї та II-ї категорій.
- 9) Географічний район спорудження мережі: Україна.
- 10) Ситуаційний план:

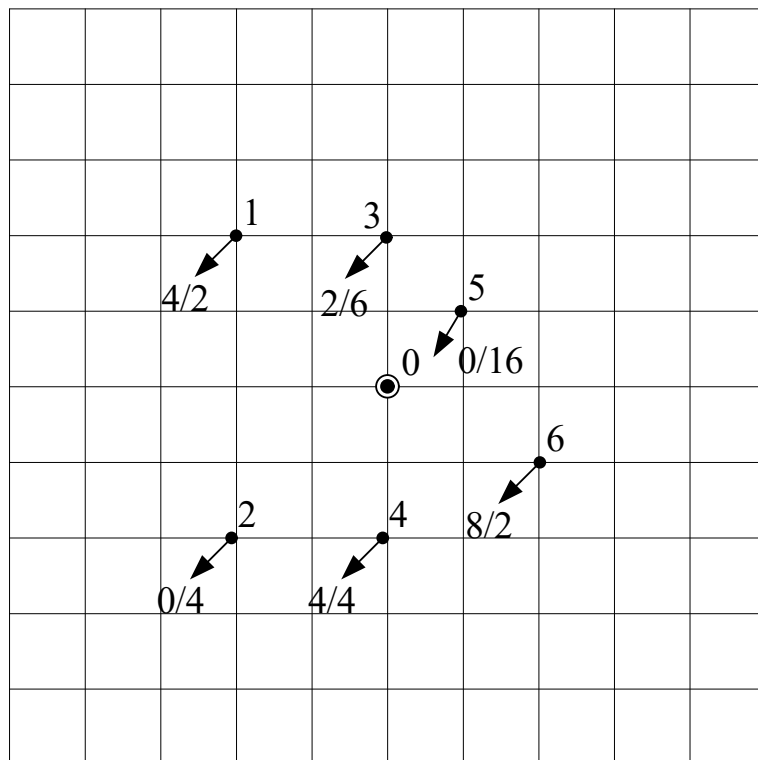


Рис 1.1.1 – План розміщення БП та ПС

## 1.2 Синтез варіантів конфігурації схем РЕМ

Синтез варіантів конфігурацій схем здійснюється в залежності від розташування БП і ПС, а також для забезпечення максимальної надійності електропостачання. Важливим фактором є розрахунок та оцінка техніко-економічних показників таких схем спорудження РЕМ.

Розглянемо синтез п'яти варіантів конфігурації РЕМ, кожна з яких відповідає технічним вимогам.

За завданням величина граничного моменту потужності дорівнює 4500 МВт·км.

Формуємо перший варіант схеми електромережі.

Почнемо з розрахунку моменту потужності першого контуру при обході за годинниковою стрілкою.

$$M_4 = P_4 \cdot l_{0-4} = 8 \cdot 20 = 160 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_2 = P_2 \cdot (l_{0-4} + l_{2-4}) + M_4 = 4 \cdot (20 + 20) + 160 = 320 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_1 = P_1 \cdot (l_{0-4} + l_{2-4} + l_{1-2}) + M_2 = 6 \cdot (20 + 20 + 40) + 320 = 800 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_3 = P_3 \cdot (l_{0-4} + l_{2-4} + l_{1-2} + l_{1-3}) + M_1 = 8 \cdot (20 + 20 + 40 + 20) + 800 = 1600 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

При обході проти годинникової стрілки момент потужності першого контуру складе:

$$M_3 = P_3 \cdot l_{0-3} = 8 \cdot 20 = 160 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_1 = P_1 \cdot (l_{0-3} + l_{1-3}) + M_3 = 6 \cdot (20 + 20) + 160 = 400 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_2 = P_2 \cdot (l_{0-3} + l_{1-3} + l_{1-2}) + M_1 = 4 \cdot (20 + 20 + 40) + 400 = 720 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_4 = P_4 \cdot (l_{0-3} + l_{1-3} + l_{1-2} + l_{2-4}) + M_1 = 4 \cdot (20 + 20 + 40 + 20) + 720 = 1520 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

Після розрахунку бачимо що граничний момент потужності в першому контурі не перевищено. Отже перший контур має конфігурацію 0-4-2-1-3-0.

Робимо розрахунок для другого контуру.

Обходимо контур за годинниковою стрілкою:

$$M_3 = P_3 \cdot l_{0-3} = 8 \cdot 20 = 160 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_5 = P_5 \cdot (l_{0-3} + l_{3-5}) + M_3 = 16 \cdot (20 + 14) + 160 = 704 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

									Лист
									14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ				

$$M_6 = P_6 \cdot (l_{0-3} + l_{3-5} + l_{5-6}) + M_5 = 10 \cdot (20 + 14 + 22) + 704 = 1264 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_4 = P_4 \cdot (l_{0-3} + l_{3-5} + l_{5-6} + l_{4-6}) + M_6 = 8 \cdot (20 + 14 + 22 + 22) + 1264 = 1888 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

Обходимо контур проти годинникової стрілки:

$$M_4 = P_4 \cdot l_{0-4} = 8 \cdot 20 = 160 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_6 = P_6 \cdot (l_{0-4} + l_{4-6}) + M_4 = 10 \cdot (20 + 22) + 160 = 580 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_5 = P_5 \cdot (l_{0-4} + l_{4-6} + l_{5-6}) + M_6 = 16 \cdot (20 + 22 + 22) + 580 = 1604 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

$$M_3 = P_3 \cdot (l_{0-4} + l_{4-6} + l_{5-6} + l_{3-5}) + M_5 = 16 \cdot (20 + 22 + 22 + 14) + 580 = 2228 \text{ МВт} \cdot \text{км};$$

Як бачимо граничний момент потужності в другому контурі не перевищено.

Отже другий контур має конфігурацію 0-3-5-6-4-0

Аналогічно будемо формувати решту контурів. Перший варіант схеми зображено на рис. 1.2.1.

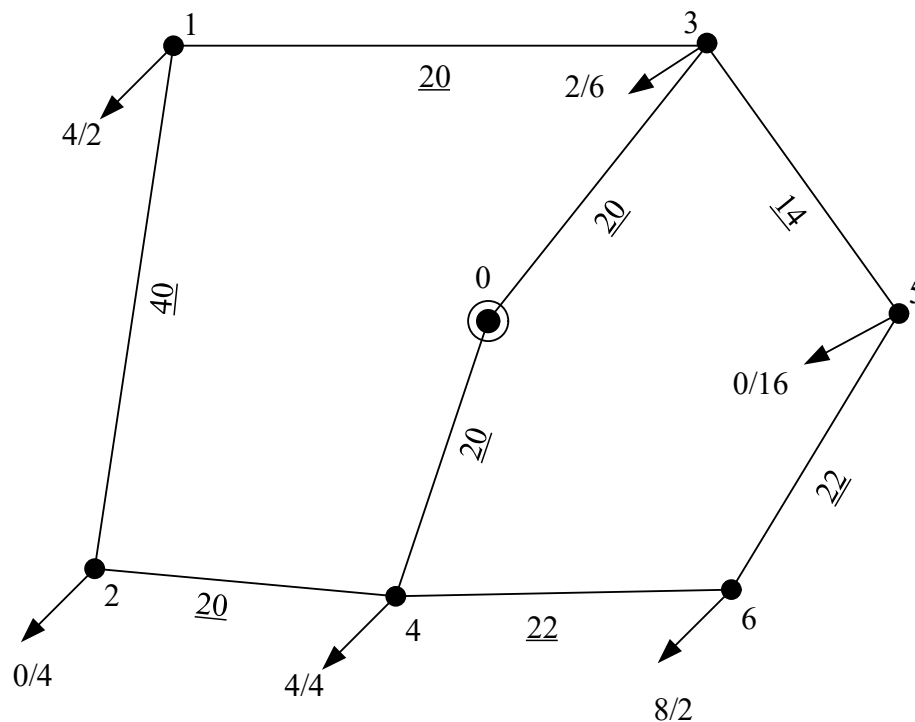


Рис 1.2.1 – Перший варіант схеми PEM

Інші чотири варіанти конфігурацій схем будуть зображенні на рисунках 1.3-1.6

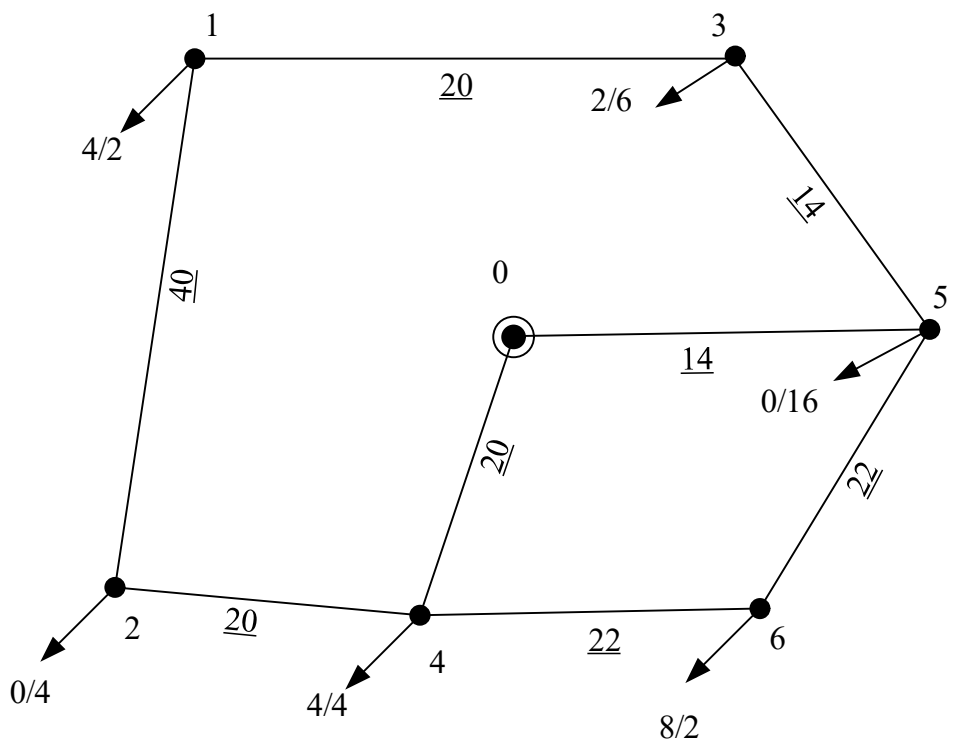


Рис 1.2.2 – Другий варіант конфігурації схеми РЕМ

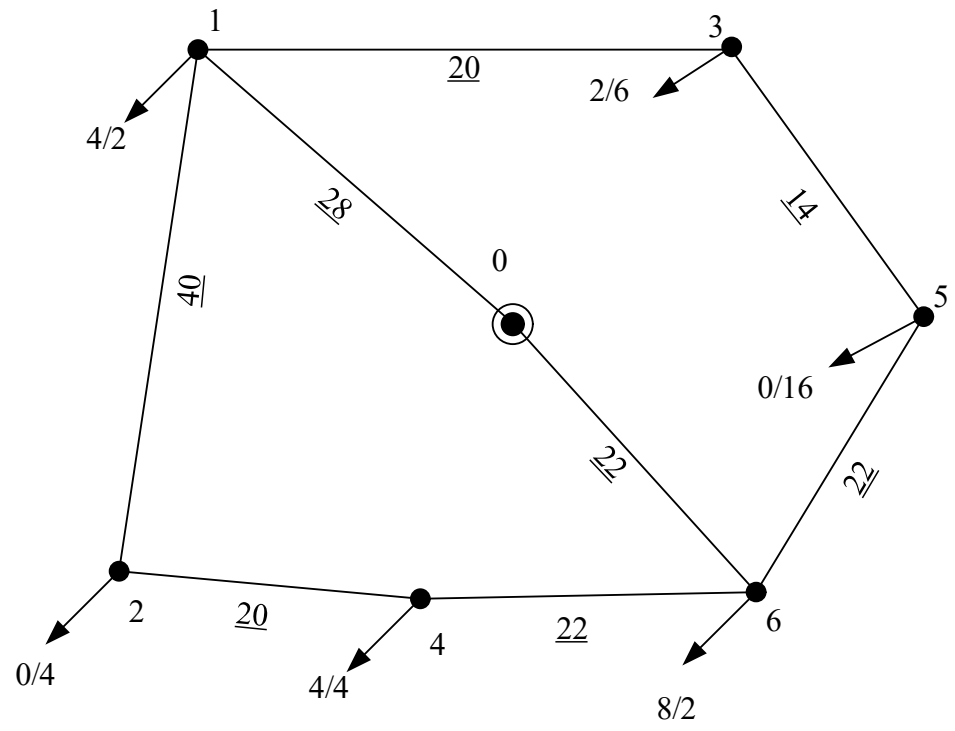


Рис 1.2.3 – Третій варіант конфігурації схеми РЕМ



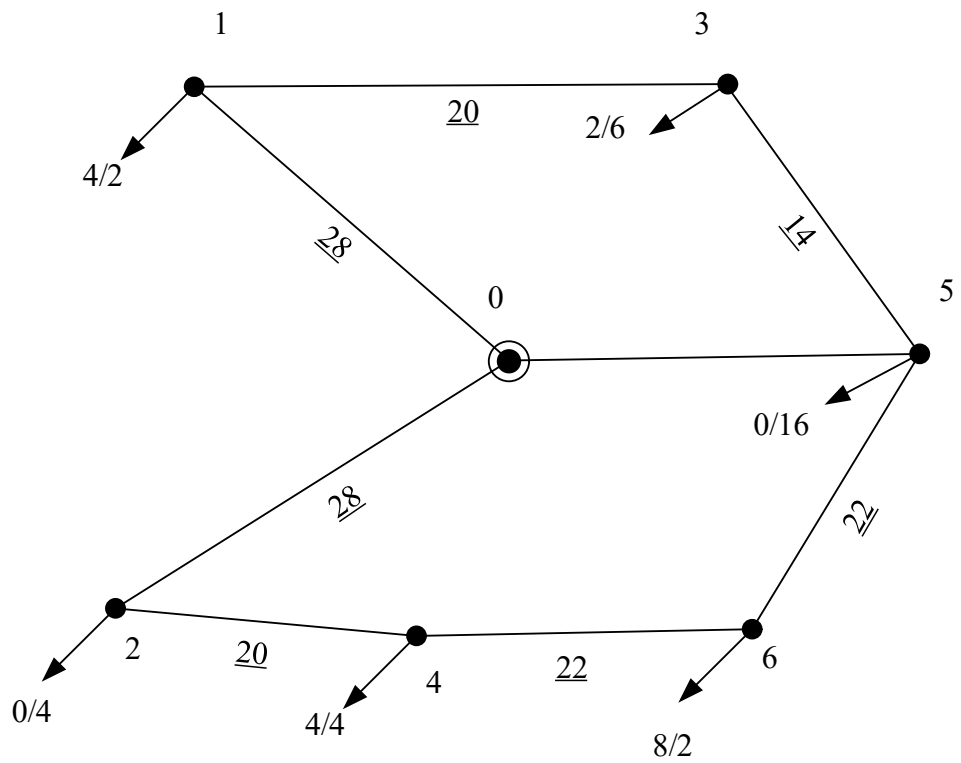


Рис 1.2.4 – Четвертий варіант конфігурації схеми РЕМ

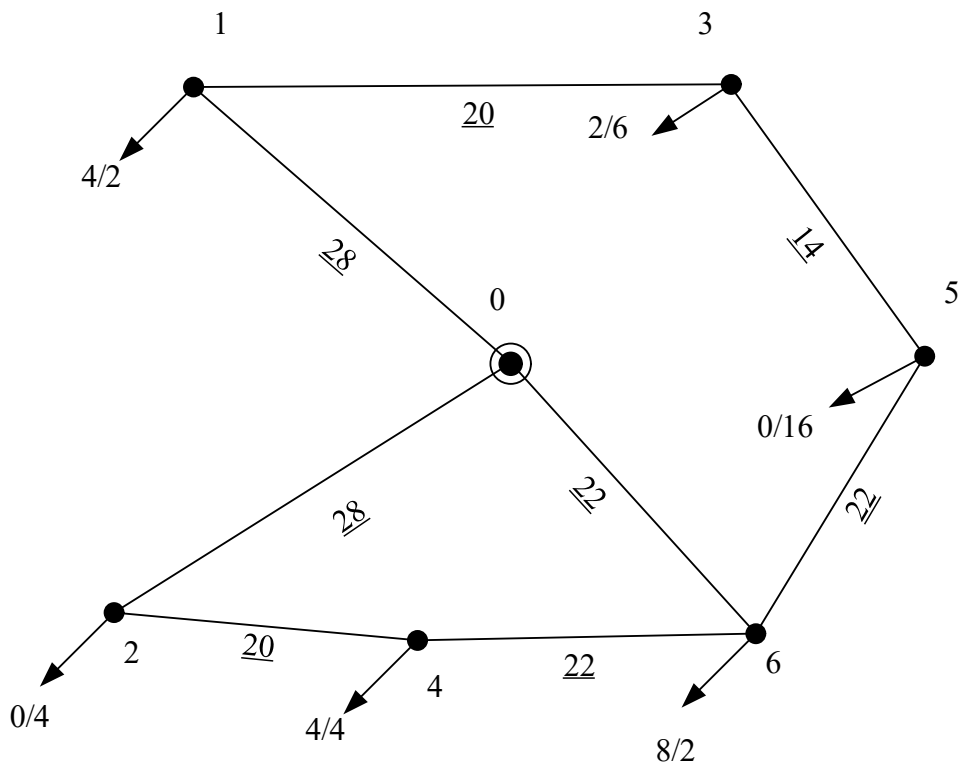


Рис 1.2.5 – П'ятий варіант конфігурації схеми РЕМ

Розрахунки моментів потужності для інших чотирьох конфігурацій схем були розраховані аналогічно до першої.

Таблиця 1.2.1 – Порівняння варіантів конфігурації схем РЕМ

Варіант схеми	Обхід контуру	Моменти потужності, МВт·км		Загальна довжина, км
		I контур	II контур	
I	Прямий	1600	1888	178
	Зворотній	1520	2228	
II	Прямий	3424	1048	172
	Зворотній	1952	1604	
III	Прямий	1462	2395	188,7
	Зворотній	2252	1870	
IV	Прямий	1553	1360	168,6
	Зворотній	736	2679	
V	Прямий	2395	660	176,9
	Зворотній	1870	1202	

Зробивши висновки з наведеної таблиці згідно критерію мінімуму сумарної довжини повітряних ліній, в подальшому проектуванні беремо конфігурації схем варіантів №2 та №4.

### 1.3 Вибір кількості, типу і потужності трансформаторів на ПС

Враховуючи категорії споживачів підключених до підстанцій районної електричної мережі, на кожній підстанції треба встановити по два силових трансформатори. Задані навантаження пунктів 1, 3, 4, 6 вказують на необхідність встановлення триобмоткових силових трансформаторів з напругою 110/35/10 кВ, а в пунктах 2, 5 двообмоткових силових трансформаторів.

Проведемо розрахунок повного навантаження в пунктах. Для цього необхідно визначити реактивні потужності згідно з виразами. Визначимо для цього  $\varphi_{CH}$ ,  $\varphi_{HH}$ :

$$\varphi_{CH} = \arccos(\cos \varphi_{CH}) = \arccos(0,87) = 29,541^\circ$$

$$\varphi_{HH} = \arccos(\cos \varphi_{HH}) = \arccos(0,85) = 31,778^\circ$$

Для понижуючої підстанції, розміщеної в пункті 1, визначимо реактивну потужність споживання на сторонах НН і СН. При цьому слід враховувати, що реактивна потужність споживання носить індуктивний характер і тому має від'ємне значення:

									Лист
									18
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

$$Q_{1HH} = -P_{1HH} \cdot \tan(\varphi_{HH}) = -2 \cdot \tan(31,778^\circ) = -1,239 \text{ MВАр}$$

$$Q_{1CH} = -P_{1CH} \cdot \tan(\varphi_{CH}) = -4 \cdot \tan(29,541^\circ) = -2,267 \text{ MВАр}$$

Рахуємо сумарне навантаження на понижуючій споживчої підстанції розташованої в пункті 1, у максимальному режимі робота електричної мережі складе:

$$\dot{S}_{\max 1} = P_{1CH} + P_{1HH} + j(Q_{1CH} + Q_{1HH}) = 4 + 2 + j(-2,267 - 1,239) = 6 - 3,506j \text{ MВА}$$

а модуль навантаження буде:

$$S_{\max 1} = \sqrt{6^2 + 3,506^2} = 6,949 \text{ MВА}$$

Для підстанції розташованої в пункті 1, розрахункова номінальна потужність понижуючого трансформатора складе:

$$S_{T1} = 0,7 \cdot S_{\max 1} = 0,7 \cdot 10,87 = 7,609 \text{ MВА}$$

За довідковими даними табл. Д.5 приймаємо до встановлення два двообмоткових трансформатори ТМТН6300/110. Аналогічно до розрахунку першої понижуючої підстанції вибираємо потужності силових трансформаторів решти підстанцій.

									Лист
									19
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

Таблиця 1.3.1 – Результати розрахунку повних величин навантаження на ПС.

№ Пункту	Активні потужності, МВт		Реактивні потужності, МВАр		Повна потужність $S_{max}$ , МВА	Модуль повної потужності $S_{max}$ , МВА
	СН	НН	СН	НН		
1	4	2	-2,267	-1,239	6-3,506j	6,949
2	0	4	0	-2,479	4-2,479	4,706
3	2	6	-1,133	-3,718	8-4,852j	9,356
4	4	4	-2,267	-2,479	8-4,746j	9,302
5	0	16	0	-9,916	16-9,916j	18,824
6	8	2	-4,534	-1,239	10-5,773j	11,547

Результати вибору потужності силових трансформаторів на підстанціях схеми районної електричної мережі зведені до табл. 1.3.2.

Таблиця 1.3.2 – Результати вибору потужності силових трансформаторів вузлових підстанцій.

№ Пункту	Модуль повної потужності $S_{max}$ , МВА	Розрахункова номінальна потужність $S_n$ , МВА	Кількість обмоток	Кількість і тип трансформаторів
1	6,949	4,865	2	ТМТН 6300/110
2	4,706	3,294	2	ТМН 6300/110
3	9,356	6,549	2	ТДТН 10000/110
4	9,302	6,511	3	ТДТН 10000/110
5	18,824	13,176	2	ТДН 16000/110/20 (не каталожний)
6	11,547	8,083	3	ТДТН 10000/110

Відповідно до завдання в пункті №5 було обрано трансформатор з напругою на стороні НН 20 кВ.

Каталожні дані обраних трансформаторів, взяті з Д.5 та Д.6 наведені в табл.

1.3.3.

Таблиця 1.3.3 – Каталожні дані трансформаторів на ПС №1, 2, 3, 4, 6

Тип трансформатору	Потужність St, МВА	Уном обмоток, кВ			Uкз, %			ΔPкз, кВт	ΔPxx, кВт	Ixx, %
		ВН	СН	НН	В-С	С-Н	В-Н			
ТДТН 10000/110	10	115	38,5	11	10,5	6	17	76	17	1,1
ТМН 6300/110	6,3	115	-	11	-	-	10,5	44	11,5	0,8
ТДН-16000/100/20	16	115		20	-	-	-	85	19	0,7
ТМТН 6300/110	6,3	115	38,5	11	10,5	6	17	58	14	1,2

#### 1.4 Розрахунок L-схеми для конфігурацій РЕМ

Припускається, що проектувана замкнута мережа є електрично однорідною, тобто складається з повітряних ліній одного конструктивного типу з однаковими перерізами проводів на ділянках і однаковим розташуванням проводів на опорах. Це припущення дозволяє орієнтовно розрахувати поточкорозподіл у замкненій мережі, використовуючи тільки довжини ділянок (розрахунок L-схеми мережі).

Розрахунок поточкорозподілу потужностей у L-схемі мережі проводять за заданими навантаженнями споживчих підстанцій. При цьому втрати потужності в елементах електричної мережі не враховуються.

Розрахунок L-схеми мережі проведемо, наприклад, з використанням методу контурних рівнянь. Згідно з останнім, здійснимо вибір контурів та перемичок у схемі мережі. Почнемо з варіанту конфігурації №2. До першого контуру входять ділянки 0-4, 2-4, 1-2, 1-3, 3-5, 0-5 з перемичкою 2-4, та до другого контуру входять ділянки 0-5, 5-6, 4-6, 0-4 з перемичкою 5-6. За позитивний напрямок обходу контурів будемо приймати обхід за годинниковою стрілкою (див. рис. 1.4.1).

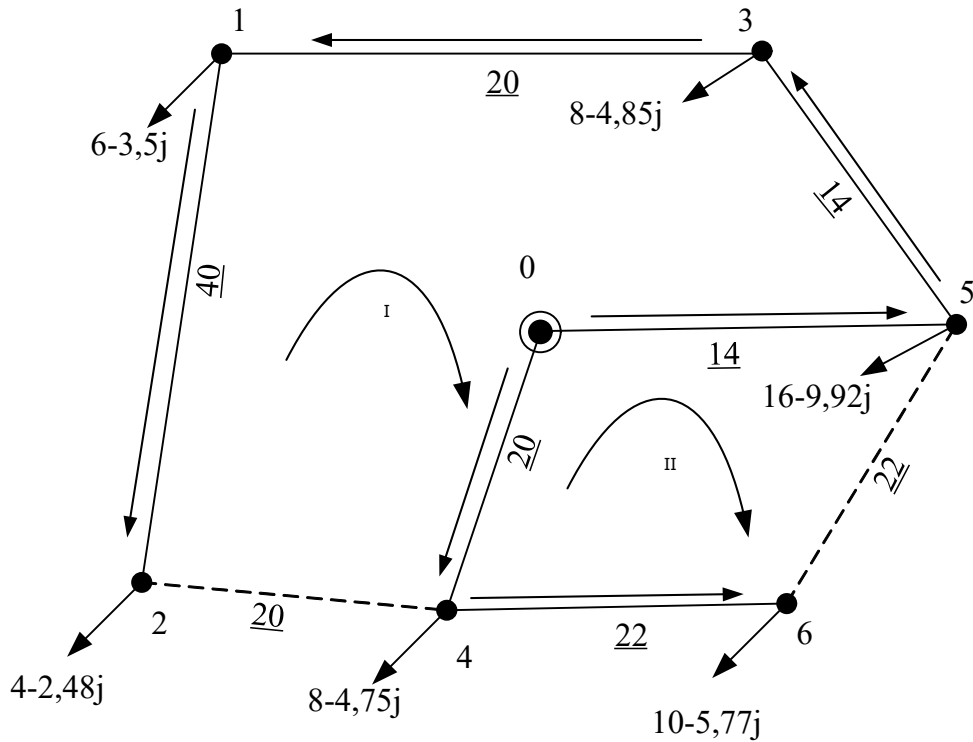


Рисунок 1.4.1 – Орієнтовний поточкорозподіл в умовно-розімкненій системі

Розрахуємо поточкорозподіл в умовно-розімкненій системі

$$\dot{S}_{p1-2} = \dot{S}_{\max 2} = 4 - j2,48 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{p1-3} = \dot{S}_{\max 1} + \dot{S}_{p1-2} = 6 - j3,5 + 4 - j2,48 = 10 - j5,99 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{p3-5} = \dot{S}_{\max 3} + \dot{S}_{p1-3} = 8 - j4,85 + 10 - j5,99 = 18 - j10,84 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{p0-5} = \dot{S}_{\max 5} + \dot{S}_{p3-5} = 16 - j9,92 + 18 - j10,84 = 34 - j20,75 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{p4-6} = \dot{S}_{\max 6} = 10 - j5,77 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{p0-4} = \dot{S}_{\max 4} + \dot{S}_{p4-6} = 8 - j4,75 + 10 - j5,77 = 18 - j10,52 \text{ МВА}$$

Також визначимо власні та взаємні довжини контурів:

$$L_I = L_{0-4} + L_{2-4} + L_{1-2} + L_{1-3} + L_{3-5} + L_{0-5} = 20 + 20 + 40 + 20 + 14 + 14 = 128 \text{ км}$$

$$L_{II} = L_{0-5} + L_{5-6} + L_{4-6} + L_{0-4} = 14 + 22 + 22 + 20 = 78 \text{ км}$$

$$L_{I-II} = L_{0-4} + L_{0-5} = 20 + 14 = 34 \text{ км}$$

Тепер для схеми РЕМ рис. 1.4.1 складемо систему контурних рівнянь для суміщеного поточкорозподілу в умовно розімкненій схемі мережі та зрівняльних потужностей.

										Лист
										22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ					

$$\begin{cases} \dot{S}_{p0-4} \cdot L_{0-4} - \dot{S}_{p0-5} \cdot L_{0-5} - \dot{S}_{p3-5} \cdot L_{3-5} - \dot{S}_{p1-3} \cdot L_{1-3} - \dot{S}_{p1-2} \cdot L_{1-2} = -\dot{S}_{KI} \cdot L_I + \dot{S}_{KII} \cdot L_{I-II} \\ \dot{S}_{p0-5} \cdot L_{0-5} - \dot{S}_{p4-6} \cdot L_{4-6} - \dot{S}_{p0-4} \cdot L_{0-4} = -\dot{S}_{KII} \cdot L_{II} + \dot{S}_{KI} \cdot L_{I-II} \end{cases}$$

Розв'язавши дану систему рівнянь, отримаємо такі значення контурних зрівняльних потужностей:

$$\dot{S}_{KI} = 6,833 - j4,163 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{KII} = 4,312 - j2,415 \text{ МВА}$$

Після розрахунку зрівняльних контурних потужностей, розраховуємо потокорозподіл по ділянкам:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{0-5} &= \dot{S}_{p0-5} - \dot{S}_{KI} + \dot{S}_{KII} = 34 - j20,75 - (6,833 - j4,163) + 4,312 - j2,415 = \\ &= 31,479 - j19,005 \text{ МВА} \end{aligned}$$

$$\dot{S}_{3-5} = \dot{S}_{p3-5} - \dot{S}_{KI} = 18 - j10,84 - (6,833 - j4,163) = 11,167 - j6,647 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{1-3} = \dot{S}_{p1-3} - \dot{S}_{KI} = 10 - j5,99 - (6,833 - j4,163) = 3,167 - j1,822 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{1-2} = \dot{S}_{p1-2} - \dot{S}_{KI} = 4 - j2,48 - (6,833 - j4,163) = -2,833 + j1,684 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{1-2} = \dot{S}_{p1-2} - \dot{S}_{KI} = 4 - j2,48 - (6,833 - j4,163) = -2,833 + j1,684 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{2-4} = \dot{S}_{KI} = 6,833 - j4,163 \text{ МВА}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{0-4} &= \dot{S}_{p0-4} + \dot{S}_{KI} - \dot{S}_{KII} = 18 - j10,52 + 6,833 - j4,163 - (4,312 - j2,415) = \\ &= 20,251 - j12,267 \text{ МВА} \end{aligned}$$

$$\dot{S}_{4-6} = \dot{S}_{p4-6} - \dot{S}_{KII} = 10 - j5,77 - (4,312 - j2,415) = 5,688 - j3,358 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{5-6} = -\dot{S}_{KII} = -4,312 + j2,415 \text{ МВА}$$

Здійснюємо перевірку виконання II-го закону Кірхгофа:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{0-4} \cdot L_{0-4} - \dot{S}_{0-5} \cdot L_{0-5} - \dot{S}_{3-5} \cdot L_{3-5} - \dot{S}_{1-3} \cdot L_{1-3} - \dot{S}_{1-2} \cdot L_{1-2} - \dot{S}_{2-4} \cdot L_{2-4} &= (20,251 - j12,267) \cdot 20 - \\ - (31,479 - j19,005) \cdot 14 - (11,167 - j6,647) \cdot 14 - (3,167 - j1,822) \cdot 20 - \\ - (-2,833 + j1,684) \cdot 40 - (6,833 - j4,163) \cdot 20 &= 0 \text{ МВт} \cdot \text{км} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{0-5} \cdot L_{0-5} - \dot{S}_{0-4} \cdot L_{0-4} - \dot{S}_{4-6} \cdot L_{4-6} + \dot{S}_{5-6} \cdot L_{5-6} &= (31,479 - j19,005) \cdot 14 - (20,251 - j12,267) \cdot 20 - \\ - (5,688 - j3,358) \cdot 22 - (4,312 + j2,415) \cdot 22 &= 0 \text{ МВт} \cdot \text{км} \end{aligned}$$

Після перевірки бачимо, що потокорозподіл потужностей у L-схемі електричної мережі знайдений вірно. Потокорозподіл потужностей у L-схемі мережі для нормального режиму її роботи представлений на рис. 1.4.2.

										Лист
										23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ					

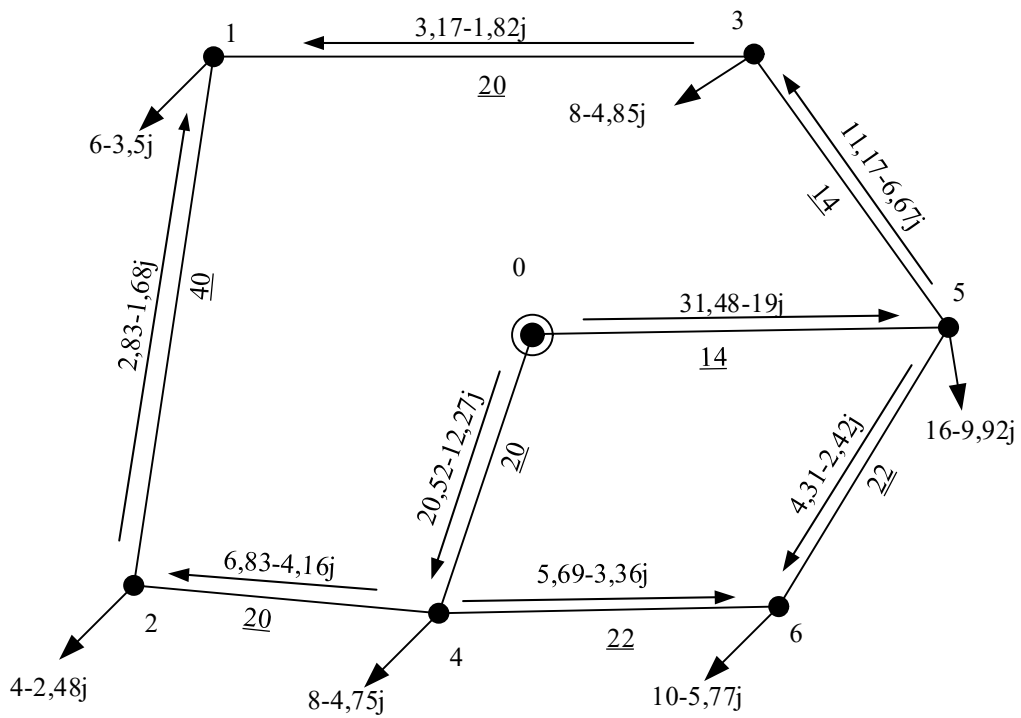


Рис. 1.4.2 – Потокорозподіл потужностей L-схеми для другого варіанту конфігурації схеми РЕМ

Для четвертого варіанту конфігурації розрахунок аналогічний до першого, результати потокорозподілу будуть наведені на рисунку 1.4.3.



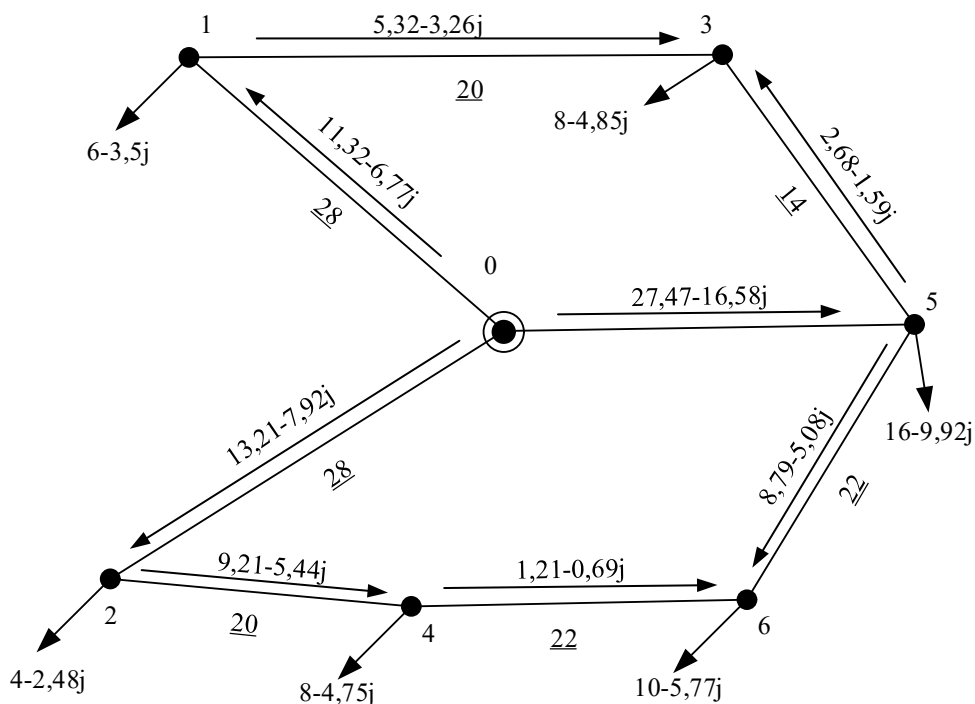


Рис. 1.4.3 – Потокорозподіл потужностей L-схеми для четвертого варіанту конфігурації схеми РЕМ

### 1.5 Вибір кількості ланцюгів і перерізів проводів на ділянках замкненої мережі

Розрахуємо значення часу максимальних втрат:

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_{\max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left( 0,124 + \frac{5500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3979,458 \frac{\text{год}}{\text{рік}}$$

Вибір перерізів будемо проводити за допомогою метода оптимального перерізу. Для цього методу треба провести попередній розрахунок струмових навантажень ділянок. Для цього і виконують попередній розрахунок потокорозподілу потужностей в електричній мережі за її L-схемою.

Варіант схеми РЕМ №2

Проведемо розрахунок струмових навантажень для ділянок електричної мережі. Для ділянки 0-5 струмове навантаження складе:

$$I_{0-5} = \frac{\sqrt{P_{0-5}^2 + Q_{0-5}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{31,479^2 + (-19,005)^2}}{\sqrt{3} \cdot 110} = 192,999 \text{ A}$$

									Лист
									25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					



Таблиця 1.5.1 – Результати розрахунків струмового навантаження і оптимальних перерізів проводів для другого варіанту схеми РЕМ

Ділянка	Повна потужність, МВА	Струмове навантаження, А	Оптимальний переріз проводу, мм <sup>2</sup>
0-5	31,479-19,005j	192,999	592,6
1-3	3,167-1,822j	19,179	58,89
2-4	6,833-4,163j	41,995	120,09
4-6	5,688-3,358j	34,67	100,648
3-5	11,167-6,674j	68,283	209,66
1-2	2,833-1,684j	17,297	53,11
0-4	20,521-12,267j	125,484	364,287
5-6	4,312-2,415j	25,94	70,9

Для таких ділянок як 1-3, 1-2, 5-6 величина оптимального перерізу нижча ніж гранично допустимий переріз для цього класу напруг за обмеженнями, що накладають за умовами корони, які недопускають для даного класу напруги переріз проводу менше ніж 70 мм<sup>2</sup>. Для ділянки 2-4  $F_{opt}$  явно вказує на величину перерізу, тому обираємо його.

Виконаємо техніко-економічне порівняння перерізу ПЛ для ділянки 0-4:

Капіталовкладення у будівництво ПЛ:

$$K_{nl1\_240} = K_{1\_240} \cdot L_{04} = 2800 \cdot 20 = 56000 \text{ тис.грн}$$

$$K_{nl2\_240} = K_{2\_240} \cdot L_{04} = 4000 \cdot 20 = 80000 \text{ тис.грн}$$

Видатки на експлуатаційне обслуговування та ремонти ПЛ:

$$B_{nl1\_240} = K_{nl1\_240} \cdot \frac{H_{nl}}{100} = 56000 \cdot \frac{1.2}{100} = 672 \text{ тис.грн}$$

$$B_{nl2\_240} = K_{nl2\_240} \cdot \frac{H_{nl}}{100} = 80000 \cdot \frac{1.2}{100} = 960 \text{ тис.грн}$$

Видатки на покриття втрат активної енергії:

Визначимо еквівалентний активний опір ЛЕП:

$$r_{1\_240} = \frac{r_{0.240} \cdot L_{04}}{k \cdot n} = \frac{0,118 \cdot 27}{1 \cdot 1} = 2,364 \text{ ом}$$

$$r_{2\_240} = \frac{r_{0.120} \cdot L_{04}}{k \cdot n} = \frac{0,118 \cdot 27}{2 \cdot 1} = 1,182 \text{ ом}$$

Розрахуємо втрати активної потужності в ПЛ:

						Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$\Delta W_{1\_240} = 3 \cdot I_{0-4}^2 \cdot r_{1\_240} \cdot 10^{-3} \cdot \tau + \Delta P_{k1\_240} \cdot T_{вкл} = 3 \cdot 125,484^2 \cdot 2,364 \cdot 10^{-3} \cdot 3979,458 + 0,04 \cdot 20 \cdot 8760 = 451405,545 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_{2\_240} = 3 \cdot I_{0-4}^2 \cdot r_{2\_240} \cdot 10^{-3} \cdot \tau + \Delta P_{k2\_240} \cdot T_{вкл} = 3 \cdot 125,484^2 \cdot 1,182 \cdot 10^{-3} \cdot 3979,458 + 0,07 \cdot 20 \cdot 8760 = 234462,772 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Потім розраховуємо видатки на компенсацію втрат активної енергії:

$$B_{вмп1\_240} = \Delta W_{1\_240} \cdot C_{вх} \cdot 10^{-3} = 451405,545 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} = 1941,044 \text{ тис.грн}$$

$$B_{вмп2\_240} = \Delta W_{2\_240} \cdot C_{вх} \cdot 10^{-3} = 234462,772 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} = 1008,19 \text{ тис.грн}$$

Розрахуємо капіталовкладення у ПС:

$$K_{нс1\_240} = (n_{1в\_III} + n_{1с\_III}) \cdot C_{с110} = (2 + 0) \cdot 19917,8 = 39835,6 \text{ тис.грн}$$

$$K_{нс2\_240} = (n_{2в\_III} + n_{2с\_III}) \cdot C_{с110} = (4 + 0) \cdot 19917,8 = 79671,2 \text{ тис.грн}$$

Рахуємо видатки на експлуатацію підстанції:

$$B_{нс1\_240} = K_{нс1\_240} \cdot \frac{H_{нл}}{100} = 39835,6 \cdot \frac{1,2}{100} = 956,1 \text{ тис.грн}$$

$$B_{нс2\_240} = K_{нс2\_240} \cdot \frac{H_{нл}}{100} = 79671,2 \cdot \frac{1,2}{100} = 1912,1 \text{ тис.грн}$$

Значення функції сумарних дисконтованих витрат:

$$Z_{0\_3(a)} = K_{нл1\_240} + K_{нс1\_240} + \frac{B_{вмп1\_240} + B_{нл1\_240} + B_{нс1\_240}}{10} = \\ = 56000 + 39835,6 + \frac{1941,044 + 672 + 956,1}{10} = 96192,51 \text{ тис.грн}$$

$$Z_{0\_3(б)} = K_{нл2\_240} + K_{нс2\_240} + \frac{B_{вмп2\_240} + B_{нл2\_240} + B_{нс2\_240}}{10} = \\ = 80000 + 79671,2 + \frac{1008,19 + 960 + 1912,1}{10} = 120223,63 \text{ тис.грн}$$

Порівнюючи ці два варіанта, перший більш економічний, тому обираємо одноланцюгову з перерізом 240 мм<sup>2</sup>.

Результати вибору перерізів ПЛ для всіх ділянок пешого варіанту схеми електричної мережі представлені в табл 1.5.2. У даній таблиці курсивом виділені варіанти спорудження ПЛ, економічна ефективність яких за результатами проведеного техніко-економічного порівняння виявилася вищою.

										Лист
										28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ					

Таблиця 1.5.2 – Результати вибору перерізів ПЛ

Ділянка	Виконання	К <sub>пл</sub> , тис.грн	В <sub>пл</sub> , тис.грн/рік	В <sub>втр</sub> , тис.грн/рік	К <sub>пс</sub> , тис.грн	В <sub>пс</sub> , тис.грн/рік	З <sub>дс</sub> , тис.грн
0-5	1x240	39200	470,4	3185,3	3984	956	79497
	2x240	56000	672,7	1619	7967	1912	136092
0-4	1x240	56000	672,7	1941,1	3984	956	96192,5
	2x240	80000	960,8	1008,2	7967	1912	120224
3-5	1x120	33000	396,1	854,5	3984	956	73096,2
	1x240	39000	470,3	417,2	3984	956	79220,3
4-6	1x120	52000	623,6	389,2	3984	956	91952,7
	1x70	48000	581,3	605,7	3984	956	88450,1
1-3	70	Вибір здійснений через явну вказівку Гопт на величину перерізу					
1-2	70	Вибір здійснений через явну вказівку Гопт на величину перерізу					
1-2	120	Вибір здійснений через явну вказівку Гопт на величину перерізу					
5-6	70	Вибір здійснений через явну вказівку Гопт на величину перерізу					

Загальні функції сумарних дисконтованих витрат в другій схемі будуть 724877 тис.грн.

Проведемо аналогічний розрахунок та вибір перерізу проводів для третього варіанта схеми РЕМ.

Таблиця 1.5.3 – Результати розрахунків струмового навантаження і оптимальних перерізів проводів для четвертого варіанту схеми РЕМ.

Ділянка	Повна потужність, МВА	Струмове навантаження, А	Оптимальний переріз проводу, мм <sup>2</sup>
0-1	11,317-6,773j	62,226	212,56
1-3	5,317-3,267j	32,76	95,08
3-5	2,683-1,585j	16,35	47,47
0-5	27,471-16,582j	168,42	488,92
5-6	8,788-5,082j	53,282	154,68
4-6	1,212-0,692j	7,323	21,26
2-4	9,212-5,438j	56,144	162,99
0-2	13,212-7,917j	80,84	234,68

Результати вибору перерізів ПЛ для всіх ділянок четвертого варіанту схеми електричної мережі представлені в табл 1.5.4.

Таблиця 1.5.4 – Результати вибору перерізів ПЛ

										Лист
										29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ					

Ділянка	Виконання	К <sub>пл</sub> , тис.грн	В <sub>пл</sub> , тис.грн/рік	В <sub>втр</sub> , тис.грн/рік	К <sub>пс</sub> , тис.грн	В <sub>пс</sub> , тис.грн/рік	З <sub>дс</sub> , тис.грн
0-1	1x120	66751	801,1	1772,3	3984	956	106939
	1x240	79196	950,4	874,3	3984	956	119309
1-3.	1x70	44000	528	547,5	3984	956	84038,7
	1x120	47200	566,4	321,5	3984	956	87219,9
0-5.	1x240	39598	475,2	2455,3	3984	956	79822
	2x240	56569	678,8	1254,3	7967	1912	136624
5-6.	1x120	52771	633,3	854,1	3984	956	92851
	1x240	62610	751,3	426,6	3984	956	102658
2-4.	1x120	47200	566,4	842,4	3984	956	87272,8
	1x240	56000	672	419,5	3984	956	96040,3
0-2.	1x240	79196	950,3	1164,2	3984	956	119339
	2x240	113137	1358,2	635,4	7967	1912	193199
3-5.	70	Вибір здійснений через явну вказівку Гопт на величину перерізу					
4-6.	70	Вибір здійснений через явну вказівку Гопт на величину перерізу					

Порівнявши загальні функції сумарних дисконтованих витрат в обох схемах 724877 тис.грн. та 742913 тис.грн, виявилось, що другий варіант економічній за четвертий, тому продовжуємо працювати з першим варіантом конфігурації схеми РЕМ.

## 1.6 Розрахунок параметрів Z-схеми заміщення електричної мережі

### 1.6.1 Параметри схеми заміщення ЛЕП

Після техніко-економічного порівняння були обрані такі перерізи проводів: АС 240/32, АС 120/19 та АС 70/11. Також, як опору для ПЛ обираємо ПМ110-3Ф. Креслення опори наведено на рисунку 1.6.1.

									Лист
									30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

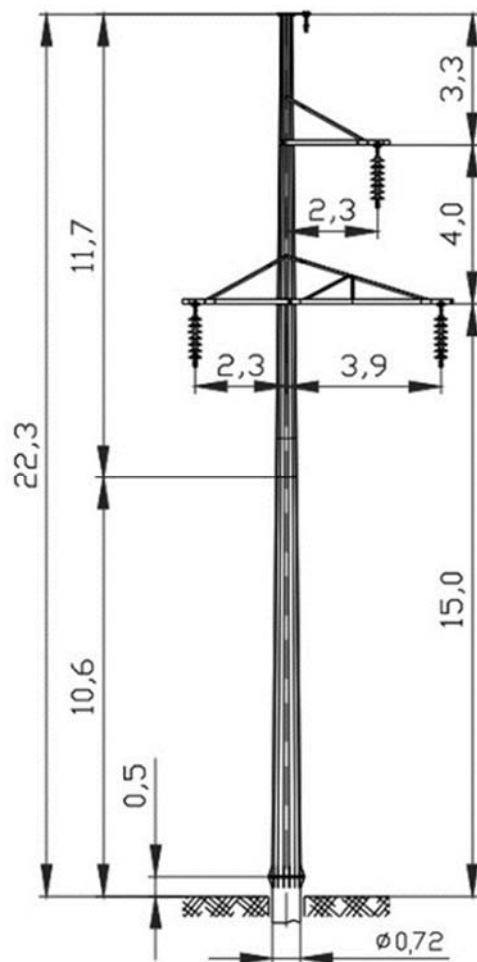


Рис. 1.6.1 – Креслення опори ПМ110-3Ф

Визначимо середньгеометричну відстань між фазами на опорі.

$$D_{AB} = \sqrt{(2300 + 2300)^2 + (4000)^2} = 6095,9 \text{ мм}$$

$$D_{BC} = \sqrt{(3900 - 2300)^2 + (4000)^2} = 4308,132 \text{ мм}$$

$$D_{AC} = 2300 + 3900 = 6200 \text{ мм}$$

$$D_C = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{AC}} = \sqrt[3]{6095,9 \cdot 4308,132 \cdot 6200} = 5460,589 \text{ мм}$$

Почнемо розрахунок погонних параметрів заміщення з розрахунку активного опору проводу.

Оскільки у нас проводи АС-120/19, АС-240/32, АС-70/11, беремо з Д.12 опір постійному струму для цих марок проводів.

										Лист
										31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ					

$$r_{070} = 0,422 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$r_{0120} = 0,247 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$r_{0240} = 0,118 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

Тепер визначимо реактивний опір проводів:

$$\begin{aligned} x_{070} &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left( \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot D_C}{d_{120}} \right) + \frac{\mu_r}{4} \right) \right) = \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot \left( \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 3,14} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot 5460,589}{11,4} \right) + \frac{1,000022}{4} \right) \right) = 0,443 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{0120} &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left( \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot D_C}{d_{120}} \right) + \frac{\mu_r}{4} \right) \right) = \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot \left( \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 3,14} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot 5460,589}{15,2} \right) + \frac{1,000022}{4} \right) \right) = 0,425 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{0240} &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left( \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot D_C}{d_{240}} \right) + \frac{\mu_r}{4} \right) \right) = \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot \left( \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 3,14} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot 5460,589}{21,6} \right) + \frac{1,000022}{4} \right) \right) = 0,403 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \end{aligned}$$

Визначаємо активну провідність проводів:

$$g_{070} = \frac{\Delta P_{k70} \cdot 10^{-3}}{U_n^2} = \frac{0,09 \cdot 10^{-3}}{110^2} = 7,438 \cdot 10^{-9} \frac{\text{См}}{\text{км}}$$

$$g_{0120} = \frac{\Delta P_{k120} \cdot 10^{-3}}{U_n^2} = \frac{0,07 \cdot 10^{-3}}{110^2} = 5,785 \cdot 10^{-9} \frac{\text{См}}{\text{км}}$$

$$g_{0240} = \frac{\Delta P_{k240} \cdot 10^{-3}}{U_n^2} = \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{110^2} = 4,132 \cdot 10^{-9} \frac{\text{См}}{\text{км}}$$

Визначимо реактивну провідність проводів:

							Лист
							32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ		



$$b_{070} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\ln\left(\frac{2 \cdot D_C}{d_{120}}\right)} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,854 \cdot 10^{-9} \cdot 1,00059}{\ln\left(\frac{2 \cdot 5460,589}{11,4}\right)} = 2,58 \cdot 10^{-6} \frac{Cm}{Km}$$

$$b_{0120} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\ln\left(\frac{2 \cdot D_C}{d_{120}}\right)} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,854 \cdot 10^{-9} \cdot 1,00059}{\ln\left(\frac{2 \cdot 5460,589}{15,2}\right)} = 2,659 \cdot 10^{-6} \frac{Cm}{Km}$$

$$b_{0240} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\ln\left(\frac{2 \cdot D_C}{d_{240}}\right)} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,854 \cdot 10^{-9} \cdot 1,00059}{\ln\left(\frac{2 \cdot 5460,589}{21,6}\right)} = 2,809 \cdot 10^{-6} \frac{Cm}{Km}$$

Розрахуємо параметри заміщення ділянок схеми РЕМ:

Розглянемо ділянку 0-5:

Визначимо активний, реактивний та повний опір:

$$r_{r0-5} = \frac{r_{0240} \cdot L_{05}}{k \cdot n} = \frac{0,118 \cdot 14}{1 \cdot 1} = 1,708 \text{ Ом}$$

$$x_{r0-5} = \frac{x_{0240} \cdot L_{05}}{k \cdot n} = \frac{0,407 \cdot 14}{1 \cdot 1} = 5,6 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{r0-5} = r_{r0-5} + j \cdot x_{r0-5} = (1,708 + j \cdot 5,6) \text{ Ом}$$

Визначимо активну, реактивну та повну провідності:

$$\underline{Y}_{r0-5} = g_{0240} \cdot L_{05} + j \cdot b_{0240} \cdot L_{05} = (4,132 \cdot 10^{-9} \cdot 14 + j \cdot 2,809 \cdot 10^{-6} \cdot 14) = (5,785 \cdot 10^{-8} + j \cdot 3,976 \cdot 10^{-5}) \text{ См}$$

Для інших ділянок розрахунок аналогічний. Результати наведені в табл. 1.6.1.

Таблиця 1.6.1 – Розрахунок параметрів заміщення ЛЕП

Ділянка	Переріз, мм <sup>2</sup>	Довжина, км	Опір ЛЕП, Ом		Провідність ЛЕП, См	
			R <sub>л</sub>	X <sub>л</sub>	g <sub>л</sub> , 10 <sup>-8</sup>	b <sub>л</sub> , 10 <sup>-6</sup>
0-5	240	14	1,708	5,6	5,79	39,76
3-5	120	14	3,416	5,95	8,099	37,77
1-3	70	20	8,44	8,86	14,88	51,6
1-2	70	40	16,88	17,72	29,75	103,2
2-4	120	20	4,88	8,5	11,57	53,8
0-4	240	20	2,44	8	8,264	56,8
4-6	70	22	9,284	9,746	16,36	56,7
5-6	70	22	9,284	9,746	16,36	56,7

## 1.6.2 Параметри схеми заміщення трансформаторів

Силові трансформатори.

Розглянемо ПС 8, яка обладнана двома силовими трансформаторами типу ТМТН-6300/110. Активний опір даних трансформаторів складе:

$$r_B = r_C = r_H = \frac{\Delta P_{K3} \cdot U_{OB}^2 \cdot 10^3}{2 \cdot n \cdot S_H^2} = \frac{58 \cdot 115^2 \cdot 10^3}{2 \cdot 2 \cdot 6300^2} = 4,83 \text{ Ом.}$$

Фіктивні величини напруг КЗ обмоток становлять:

$$u_{KB} = 0,5 \cdot (u_{K(B-C)} + u_{K(B-H)} - u_{K(C-H)}) = 0,5 \cdot (10,5 + 17 - 6) = 10,75\%;$$

$$u_{KC} = 0,5 \cdot (u_{K(B-C)} + u_{K(C-H)} - u_{K(B-H)}) = 0,5 \cdot (10,5 + 6 - 17) = -0,25\% = 0;$$

$$u_{KH} = 0,5 \cdot (u_{K(B-H)} + u_{K(C-H)} - u_{K(B-C)}) = 0,5 \cdot (17 + 6 - 10,5) = 6,25\%.$$

Блок із двох трансформаторів типу ТМТН-6300/110 матиме наступний реактивний опір:

$$x_{TB} = \frac{10 \cdot u_{K3} \cdot U_{OB}^2}{n \cdot S_H} = \frac{10 \cdot 10,75 \cdot 115^2}{2 \cdot 6300} = 112,83 \text{ Ом};$$

$$x_{TC} = \frac{10 \cdot u_{K3} \cdot U_{OB}^2}{n \cdot S_H} = \frac{10 \cdot 0 \cdot 115^2}{2 \cdot 6300} = 0;$$

$$x_{TH} = \frac{10 \cdot u_{K3} \cdot U_{OB}^2}{n \cdot S_H} = \frac{10 \cdot 6,25 \cdot 115^2}{2 \cdot 6300} = 65,6 \text{ Ом.}$$

Блок із двох трансформаторів типу ТМТН-6300/110 матиме наступну активну провідність:

$$g_T = \frac{n \cdot \Delta P_{XX} \cdot 10^{-3}}{U_{OB}^2} = \frac{2 \cdot 14 \cdot 10^{-3}}{115^2} = 2,12 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

Блок із двох трансформаторів типу ТМТН-6300/110 матиме наступну реактивну провідність:

$$b_T = -\frac{n \cdot I_{XX} \cdot S_H \cdot 10^{-5}}{U_{TB}^2} = -\frac{2 \cdot 1,2 \cdot 6300 \cdot 10^{-5}}{115^2} = -1,14 \cdot 10^{-5} \text{ См.}$$

Для інших дво- та триобмоткових трансформаторів розрахунок параметрів аналогічний. Параметри наведені в табл 1.6.2.

									Лист
									34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 1.6.2 – Результати розрахунку параметрів схеми заміщення блоків трансформаторів електричної мережі.

Тип трансформатора	ПС	$r$ , Ом	$x_T$ , Ом	$x_{ТВ}$ , Ом	$x_{ТС}$ , Ом	$x_{ТН}$ , Ом	$g$ , $10^{-6}$ См	$b$ , $10^{-6}$ См
2×ТМТН-6300/110	1	4,83	-	112,83	0	65,6	2,12	-11,43
2×ТМН-6300/110	2	3,665	110,21	-	-	-	1,739	-7,62
2×ТДТН-10000/110	3, 4, 6	2,51	-	71,08	0	41,33	2,57	-16,64
2×ТДН-16000/110/20	5	1,1	43,4	-	-	-	2,8	-16,9

### 1.6.3 Підготовка вихідних даних для ітераційного розрахунку режиму роботи електричної мережі

Підготуємо вихідні дані для ітераційного розрахунку режиму роботи нашої мережі. Виконаємо розрахунок приведених навантажень усіх пунктів електричної мережі.

Для блоку триобмоткових силових трансформаторів, встановлених на підстанції пункту 4:

$$\beta_{вн1} = \frac{\sqrt{P_{\max1}^2 + Q_{\max1}^2}}{2 \cdot S_H} = \frac{\sqrt{6^2 + (-3,506)^2}}{2 \cdot 6,3} = 0,552$$

$$\beta_{сн1} = \frac{\sqrt{P_{1сн}^2 + Q_{1сн}^2}}{2 \cdot S_H} = \frac{\sqrt{4^2 + (-2,267)^2}}{2 \cdot 6,3} = 0,221$$

$$\beta_{нн1} = \frac{\sqrt{P_{1нн}^2 + Q_{1нн}^2}}{2 \cdot S_H} = \frac{\sqrt{2^2 + (-1,239)^2}}{2 \cdot 6,3} = 0,408$$

Втрати в елементах схеми заміщення трансформатора становлять:

$$\begin{aligned} \Delta P_{mZ1} &= \frac{2 \cdot \Delta P_{кз6300}}{2} \cdot (\beta_{вн1}^2 + \beta_{сн1}^2 + \beta_{нн1}^2) = \\ &= \frac{2 \cdot 58}{2} \cdot (0,552^2 + 0,365^2 + 0,187^2) = 27,389 \text{ кВт} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{mZ1} &= \frac{-2 \cdot S_{H6300} \cdot (\beta_{вн1}^2 \cdot u_{кв6300} \% + \beta_{сн1}^2 \cdot u_{кс6300} \% + \beta_{нн1}^2 \cdot u_{кн6300} \%)}{100} = \\ &= \frac{-2 \cdot 6300 \cdot (0,552^2 \cdot 10,75 + 0,365^2 \cdot 0 + 0,187^2 \cdot 6,25)}{100} = -439,5 \text{ кВАр} \end{aligned}$$

									Лист
									35
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ				

На основі отриманих значень обчислимо приведені значення навантаження в цьому пункті:

$$\begin{aligned}\dot{S}_{np1} &= \dot{S}_{max1} + (\Delta P_{mZ1} + j\Delta Q_{mZ1}) \cdot 10^{-3} = \\ &= 6 - j3,506 + (27,389 - j439,5) \cdot 10^{-3} = 6,027 - j3,946 \text{ МВА}\end{aligned}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки для інших пунктів мережі. Отримані результати занесемо до табл. 1.6.3.

Таблиця 1.6.3 – Результати розрахунку приведених навантажень пунктів схеми

ПС	Задана потужність, $S_{max}$ , МВА	Втрати потужності в опорах блоку силових трансформаторів		Приведена потужність пункту, $S_{пр}$ МВА
		$\Delta P_{TZ}$ , кВт	$\Delta Q_{TZ}$ , кВАр	
1	6-j3,506	27,389	-439,501	6,027-j3,946
2	4-j2,479	12,275	-298,786	4,012-j2,778
3	8-j4,852	27,104	-626,243	8,027-j5,478
4	8-j4,746	24,663	-534,267	8,025-j5,28
5	16-j9,916	58,824	-1882,2	16,059-j11,798
6	10-j5,773	42,45	-733,955	10,042-j6,507

Значення еквівалентних провідностей вузлів електричної мережі:

$$\begin{aligned}Y_1 &= 0,5 \cdot (Y_{n1-3} + Y_{n1-3}) + Y_{om6300} = 0,5 \cdot ((2,975 + 1,488) \cdot 10^{-7} + (j10,32 + j5,16) \cdot 10^{-5}) + \\ &+ (2,117 \cdot 10^{-6} - j1,143 \cdot 10^{-5}) = 2,34 \cdot 10^{-6} + j6,59 \cdot 10^{-5} \text{ См}\end{aligned}$$

Значення еквівалентних провідностей інших вузлів рахується таким самим чином як і перший. Провідності інших ПС будуть наведені в табл. 1.6.4.

Таблиця 1.6.4 – Еквівалентні провідності ПС РЕМ

ПС	Значення еквівал. провідностей, $10^{-6}$ , См
1	2,34+j65,9
2	1,945+j70,878
3	2,685+j27,994
4	2,75+j67,044
5	3,024+j50,152
6	2,735+j40,124
БП	0,07+j48,28

На рис. 1.6.1 зображено розрахункова схема мережі 110 кВ для режиму максимальних навантажень.

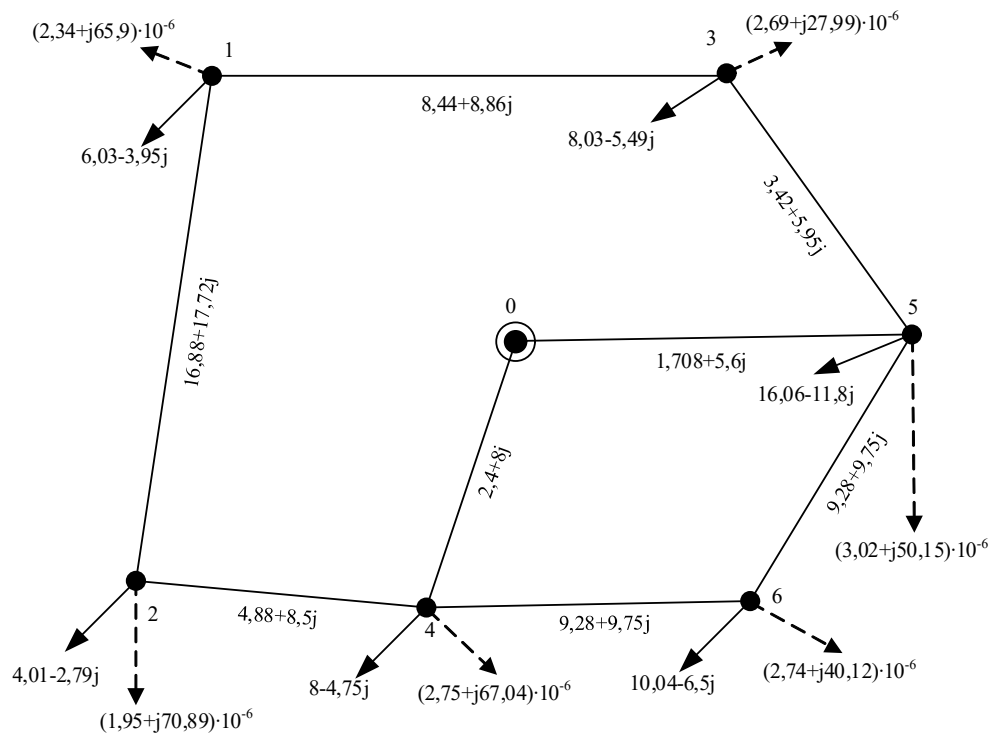


Рисунок 1.6.1 Розрахункова схема мережі для режиму максимальних навантажень

### 1.7 Розрахунок режиму максимальних навантажень

Розрахунок мережі проведемо за допомогою методу контурних рівнянь.

I ітерація

Задаємо рівень напруги у всіх пунктах рівним номінальному, тобто 110 кВ

Розрахуємо лінійні струми навантажень в пунктах РЕМ:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1^{(1)} &= \frac{\dot{S}_{np1}}{\hat{U}_1^{(0)}} + Y_1 \cdot \dot{U}_1^{(0)} = \frac{6,03 - j3,95}{110} + (2,34 \cdot 10^{-6} + j6,59 \cdot 10^{-5}) \cdot 110 = \\ &= 0,055 - j0,029 \text{ кА} \end{aligned}$$

Для решти пунктів розрахунок аналогічний, результати наведені в табл 1.7.1.

Таблиця 1.7.1 – Розраховані струмові лінійні навантаження

№ ПС	Розрахунковий струм, кА
1	0,055-j0,029
2	0,037-j0,017
3	0,073-j0,047
4	0,073-j0,041
5	0,146-j0,102
6	0,092-j0,055

До першого контуру вибираємо ділянки 0-5, 3-5, 1-3, 1-2, 2-4 з перемичкою 2-4, до другого контуру — 0-5, 5-6, 4-6, 0-4 з перемичкою 5-6. За позитивний напрямок обходу контуру обираємо обхід за годинниковою стрілкою.

Визначаємо розподіл струмів в умовно-розімкненій схемі РЕМ:

$$\dot{I}_{роз1-2}^{(1)} = \dot{I}_2^{(1)} = 0,037 - j0,017 \text{кА};$$

$$\dot{I}_{роз1-3}^{(1)} = \dot{I}_1^{(1)} + \dot{I}_{роз1-2}^{(1)} = 0,055 - j0,029 + 0,037 - j0,017 = 0,092 - j0,046 \text{кА};$$

$$\dot{I}_{роз3-5}^{(1)} = \dot{I}_3^{(1)} + \dot{I}_{роз1-3}^{(1)} = 0,073 - j0,047 + 0,092 - j0,04 = 0,165 - j0,093 \text{кА};$$

$$\dot{I}_{роз0-5}^{(1)} = \dot{I}_5^{(1)} + \dot{I}_{роз3-5}^{(1)} = 0,146 - j0,102 + 0,165 - j0,093 = 0,311 - j0,195 \text{кА};$$

$$\dot{I}_{роз4-6}^{(1)} = \dot{I}_6^{(1)} = 0,092 - j0,055 \text{кА};$$

$$\dot{I}_{роз0-4}^{(1)} = \dot{I}_4^{(1)} + \dot{I}_{роз4-6}^{(1)} = 0,073 - j0,041 + 0,092 - j0,055 = 0,165 - j0,095 \text{кА};$$

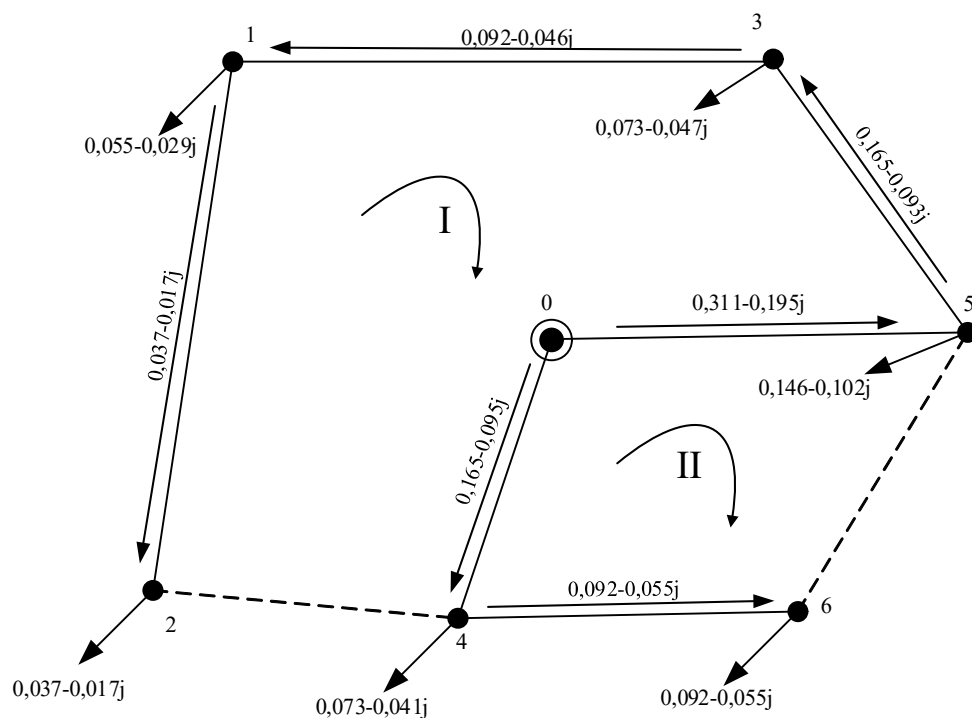


Рис 1.7.1 – Розподіл струмів в умовно-розімкненій схемі РЕМ

Розрахуємо власні та взаємні контурні опори та створимо матрицю опорів:

$$\underline{Z}_I = \underline{Z}_{0-5} + \underline{Z}_{3-5} + \underline{Z}_{1-3} + \underline{Z}_{1-2} + \underline{Z}_{2-4} + \underline{Z}_{0-4} = (1,708 + j5,6) + (3,42 + j5,95) + (8,44 + j8,86) + (16,88 + j17,72) + (4,88 + j8,5) + (2,4 + j8) = 37,764 + j54,63 \text{ Ом}$$

									Лист
									38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

$$\underline{Z}_{II} = \underline{Z}_{0-5} + \underline{Z}_{5-6} + \underline{Z}_{4-6} + \underline{Z}_{0-4} = (1,708+j5,6) + (9,28+j9,75) + (9,28+j9,75) + (2,4+j8) = 22,716 + j33,092 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{II-II} = \underline{Z}_{0-5} + \underline{Z}_{0-4} = (1,708+j5,6) + (2,4+j8) = 4,148 + j13,6 \text{ Ом}$$

Сформуємо матрицю опорів:

$$\underline{Z}_k = \begin{pmatrix} -\underline{Z}_I & \underline{Z}_{I-II} \\ \underline{Z}_{I-II} & -\underline{Z}_{II} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -37,764 + j54,64 & 4,181 + j13,6 \\ 4,181 + j13,6 & 22,716 + j33,092 \end{pmatrix}$$

Для схеми зображеної на рис. 1.7.1 розрахуємо контурні ЕРС:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{kl}^{(1)} &= \dot{I}_{роз0-4}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{0-4} - \dot{I}_{роз0-5}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{0-5} - \dot{I}_{роз3-5}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{3-5} - \dot{I}_{роз1-3}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{1-3} - \dot{I}_{роз1-2}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{1-2} = \\ &= (0,165 - j0,095) \cdot (2,4+j8) - (0,311 - j0,195) \cdot (1,708+j5,6) - \\ &- (0,165 - j0,093) \cdot (3,42+j5,95) - (0,092 - j0,046) \cdot (8,44+j8,86) - \\ &- (0,037 - j0,017) \cdot (16,88+j17,72) = -3,684 - j1,769 \text{ кВ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{kII}^{(1)} &= \dot{I}_{роз0-5}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{0-5} - \dot{I}_{роз0-4}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{0-4} - \dot{I}_{роз4-6}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{4-6} = (0,311 - j0,195) \cdot (1,708+j5,6) - \\ &- (0,165 - j0,095) \cdot (2,4+j8) - (0,092 - j0,055) \cdot (9,28+j9,75) = -0,928 - j0,059 \text{ кВ} \end{aligned}$$

Складемо систему контурних рівнянь у матричній формі:

$$\begin{pmatrix} -\underline{Z}_I & \underline{Z}_{I-II} \\ \underline{Z}_{I-II} & -\underline{Z}_{II} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{I}_{kl}^{(1)} \\ \dot{I}_{kII}^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{E}_{kl}^{(1)} \\ \dot{E}_{kII}^{(1)} \end{pmatrix}$$

Розв'язавши цю систему рівнянь, отримаємо такі значення контурних зрівняльних струмів:

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_{kl}^{(1)} \\ \dot{I}_{kII}^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,063 - j0,033 \text{ кА} \\ 0,039 - j0,023 \text{ кА} \end{pmatrix}$$

Визначаємо результуючий струморозподіл в замкненій мережі:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{0-5}^{(1)} &= \dot{I}_{роз0-5}^{(1)} - \dot{I}_{kl}^{(1)} + \dot{I}_{kII}^{(1)} = 0,311 - j0,195 - (0,063 - j0,033) + 0,039 - j0,023 = \\ &= 0,287 - j0,185 \text{ кА} \end{aligned}$$

$$\dot{I}_{3-5}^{(1)} = \dot{I}_{роз3-5}^{(1)} - \dot{I}_{kl}^{(1)} = 0,165 - j0,093 - (0,063 - j0,033) = 0,102 - j0,06 \text{ кА}$$

$$\dot{I}_{1-3}^{(1)} = \dot{I}_{роз1-3}^{(1)} - \dot{I}_{kl}^{(1)} = 0,092 - j0,046 - (0,063 - j0,033) = 0,029 - j0,014 \text{ кА}$$

									Лист
									39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ				

$$\begin{aligned} \dot{I}_{1-2}^{(1)} &= \dot{I}_{\text{роз1-2}}^{(1)} - \dot{I}_{kl}^{(1)} = 0,037 - j0,017 - (0,063 - j0,033) = -0,026 + j0,015 \text{кА} \\ \dot{I}_{0-4}^{(1)} &= \dot{I}_{\text{роз0-4}}^{(1)} + \dot{I}_{kl}^{(1)} - \dot{I}_{kl}^{(1)} = 0,165 - j0,095 + (0,063 - j0,033) - (0,039 - j0,023) = \\ &= 0,189 - j0,105 \text{кА} \\ \dot{I}_{4-6}^{(1)} &= \dot{I}_{\text{роз4-6}}^{(1)} - \dot{I}_{kl}^{(1)} = 0,092 - j0,055 - (0,039 - j0,023) = 0,053 - j0,032 \text{кА} \\ \dot{I}_{2-4}^{(1)} &= \dot{I}_{kl}^{(1)} = 0,063 - j0,033 \text{кА} \\ \dot{I}_{5-6}^{(1)} &= \dot{I}_{kl}^{(1)} = 0,039 - j0,023 \text{кА} \end{aligned}$$

Виконаємо перевірку II-го закону Кірхгофа для мережі:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{0-4}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{0-4} - \dot{I}_{0-5}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{0-5} - \dot{I}_{3-5}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{3-5} - \dot{I}_{1-3}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{1-3} - \dot{I}_{1-2}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{1-2} - \dot{I}_{2-4}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{2-4} = \\ = (0,189 - j0,105) \cdot (2,4 + j8) - (0,287 - j0,185) \cdot (1,708 + j5,6) - \\ - (0,102 - j0,06) \cdot (3,42 + j5,95) - (0,029 - j0,014) \cdot (8,44 + j8,86) - \\ - (-0,026 + j0,015) \cdot (16,88 + j17,72) + (0,063 - j0,033) \cdot (4,88 + j8,5) = 0 \\ \dot{I}_{0-5}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{0-5} - \dot{I}_{0-4}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{0-4} - \dot{I}_{4-6}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{4-6} - \dot{I}_{5-6}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{5-6} = (0,287 - j0,185) \cdot (1,708 + j5,6) - \\ - (0,189 - j0,105) \cdot (2,4 + j8) - (0,053 - j0,032) \cdot (9,28 + j9,75) - \\ - (0,039 - j0,023) \cdot (9,28 + j0,75) = 0 \end{aligned}$$

Бачимо що струморозподіл в мережі знайдений вірно.

Тепер визначаємо напруги в пунктах мережі на основі знайденого струморозподілу:

$$\begin{aligned} \dot{U}_5^{(1)} &= U_{\text{он}} - \dot{I}_{0-5}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{0-5} = 115 - (0,287 - j0,185) \cdot (1,708 + j5,6) = \\ &= 114,341 e^{-j0,654^\circ} \text{кВ} \\ \dot{U}_4^{(1)} &= U_{\text{он}} - \dot{I}_{0-4}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{0-4} = 115 - (0,189 - j0,105) \cdot (2,4 + j8) = \\ &= 113,703 e^{-j0,631^\circ} \text{кВ} \\ \dot{U}_3^{(1)} &= U_4 - \dot{I}_{3-5}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{3-5} = 113,697 - j1,253 - (0,102 - j0,06) \cdot (3,42 + j5,95) = \\ &= 112,781 e^{-j0,862^\circ} \text{кВ} \\ \dot{U}_1^{(1)} &= U_3 - \dot{I}_{1-3}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{1-3} = 112,768 - j1,697 - (0,029 - j0,015) \cdot (8,44 + j8,86) = \\ &= 112,419 e^{-j0,937^\circ} \text{кВ} \end{aligned}$$

										Лист
										40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ					



$$\dot{U}_2^{(1)} = U_1 - \dot{I}_{1-2}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{1-2} = 112,404 - j1,838 - (0,026 - j0,015) \cdot (16,88 + j17,72) = 113,125 e^{-j0,825^\circ} \text{ кВ}$$

$$\dot{U}_6^{(1)} = U_4 - \dot{I}_{4-6}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{4-6} = 113,697 - j1,253 - (0,053 - j0,032) \cdot (9,28 + j9,75) = 112,904 e^{-j0,744^\circ} \text{ кВ}$$

Розрахуємо втрати потужності на першій ітерації:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}_\Sigma^{(1)} &= \hat{U}_{\hat{0n}} \cdot (\dot{I}_{0-4}^{(1)} + \dot{I}_{0-5}^{(1)}) + \underline{Y}_{\hat{0n}} \cdot U_{\hat{0n}}^2 - (\dot{S}_1 + \dot{S}_2 + \dot{S}_3 + \dot{S}_4 + \dot{S}_5 + \dot{S}_6) = \\ &= 115 \cdot (0,189 - j0,105 + 0,287 - j0,185) + \\ &+ (7,025 \cdot 10^{-8} + j4,828 \cdot 10^{-5}) \cdot 115^2 - (52 - j31,272) = 2,762 - j1,328 \text{ МВА} \end{aligned}$$

Результуюча схема РЕМ при режимі максимальних навантажень на першій ітерації наведена на рис. 1.7.2.

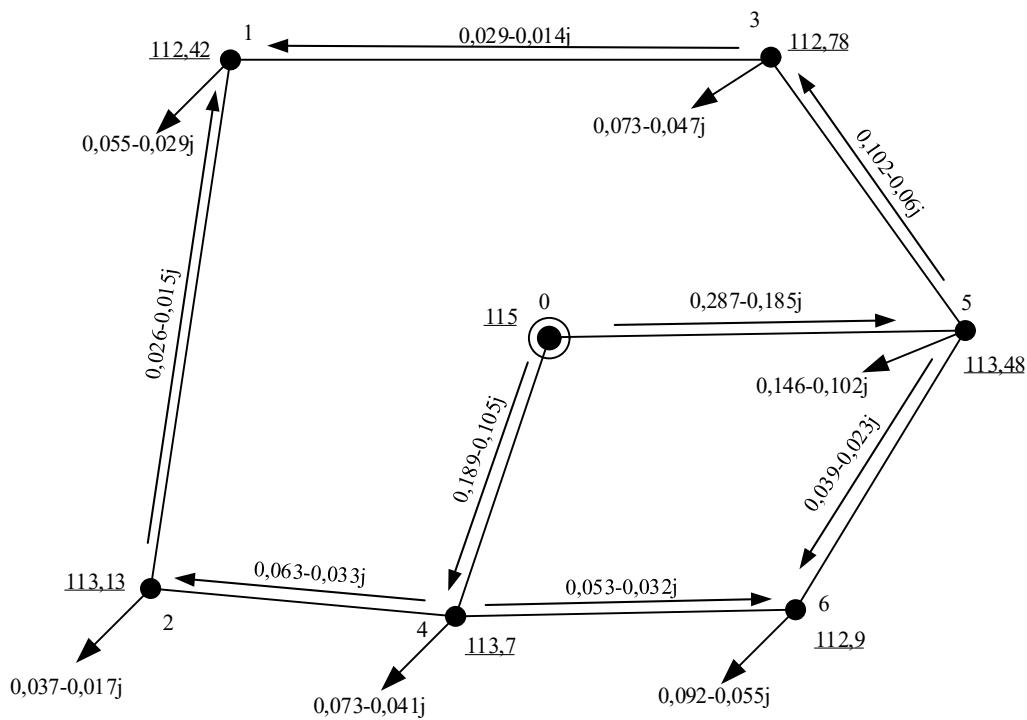


Рис 1.7.2 – Результуюча схема на першій ітерації розрахунку при режимі максимальних навантажень

II ітерація

Маючи пораховані рівні напруг з минулої ітерації, розраховуємо нові значення лінійних струмових навантажень:

					ДПО209.141.007.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$\dot{I}_1^{(1)} = \frac{\dot{S}_{np1}}{\hat{U}_1^{(0)}} + Y_1 \cdot \dot{U}_1^{(0)} = \frac{6,03 - j3,95}{112,404 + j1,838} + (2,34 \cdot 10^{-6} + j6,59 \cdot 10^{-5}) \cdot (112,404 - j1,838) = 0,053 - j0,029 \text{ кА}$$

Для решти пунктів розрахунок аналогічний, результати наведені в табл 1.7.1.

Таблиця 1.7.1 – Розраховані струмові лінійні навантаження

№ ПС	Розрахунковий струм, кА
1	0,053-j0,029
2	0,035-j0,017
3	0,071-j0,046
4	0,07-j0,04
5	0,141-j0,1
6	0,089-j0,054

Визначаємо розподіл струмів в умовно-розімкненій схемі РЕМ:

$$\dot{I}_{роз1-2}^{(2)} = \dot{I}_2^{(2)} = 0,035 - j0,017 \text{ кА};$$

$$\dot{I}_{роз1-3}^{(2)} = \dot{I}_1^{(2)} + \dot{I}_{роз1-2}^{(2)} = 0,055 - j0,029 + 0,035 - j0,017 = 0,089 - j0,046 \text{ кА};$$

$$\dot{I}_{роз3-5}^{(2)} = \dot{I}_3^{(2)} + \dot{I}_{роз1-3}^{(2)} = 0,073 - j0,047 + 0,089 - j0,046 = 0,16 - j0,092 \text{ кА};$$

$$\dot{I}_{роз0-5}^{(2)} = \dot{I}_5^{(2)} + \dot{I}_{роз3-5}^{(2)} = 0,146 - j0,102 + 0,16 - j0,092 = 0,3 - j0,192 \text{ кА};$$

$$\dot{I}_{роз4-6}^{(2)} = \dot{I}_6^{(2)} = 0,089 - j0,054 \text{ кА};$$

$$\dot{I}_{роз0-4}^{(2)} = \dot{I}_4^{(2)} + \dot{I}_{роз4-6}^{(2)} = 0,073 - j0,041 + 0,089 - j0,054 = 0,159 - j0,094 \text{ кА};$$

Схема умовного струморозподілу на другій ітерації зображена на рис. 1.7.3.

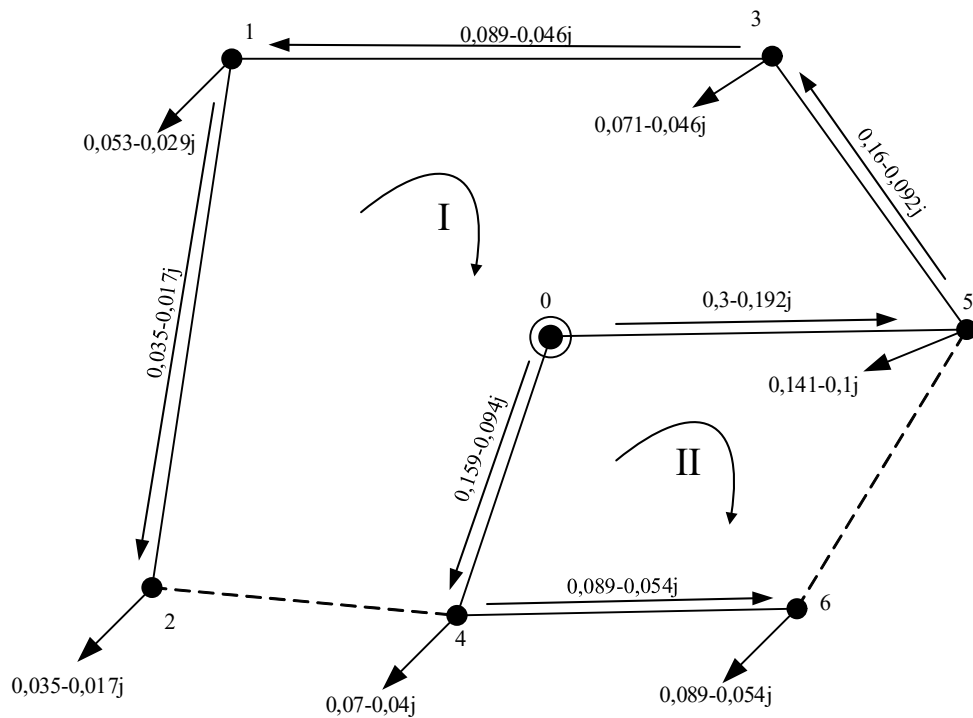


Рис 1.7.3 – Розподіл струмів в умовно-розімкненій схемі РЕМ

Для схеми зображеної на рис. 1.7.3 розрахуємо контурні ЕРС:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{kI}^{(2)} &= \dot{I}_{роз0-4}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{0-4} - \dot{I}_{роз0-5}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{0-5} - \dot{I}_{роз3-5}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{3-5} - \dot{I}_{роз1-3}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{1-3} - \dot{I}_{роз1-2}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{1-2} = \\ &= (0,159 - j0,094) \cdot (2,4 + j8) - (0,3 - j0,192) \cdot (1,708 + j5,6) - \\ &- (0,16 - j0,092) \cdot (3,42 + j5,95) - (0,089 - j0,046) \cdot (8,44 + j8,86) - \\ &- (0,035 - j0,017) \cdot (16,88 + j17,72) = -3,597 - j1,689 \text{кВ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{kII}^{(2)} &= \dot{I}_{роз0-5}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{0-5} - \dot{I}_{роз0-4}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{0-4} - \dot{I}_{роз4-6}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{4-6} = (0,3 - j0,192) \cdot (1,708 + j5,6) - \\ &- (0,159 - j0,094) \cdot (2,4 + j8) - (0,089 - j0,054) \cdot (9,28 + j9,75) = -0,902 - j0,048 \text{кВ} \end{aligned}$$

Складемо систему контурних рівнянь у матричній формі:

$$\begin{pmatrix} -\underline{Z}_I & \underline{Z}_{I-II} \\ \underline{Z}_{I-II} & -\underline{Z}_{II} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{I}_{kI}^{(2)} \\ \dot{I}_{kII}^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{E}_{kI}^{(2)} \\ \dot{E}_{kII}^{(2)} \end{pmatrix}$$

Розв'язавши цю систему рівнянь, отримаємо такі значення контурних зрівняльних струмів:

										Лист
										43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_{kI}^{(2)} \\ \dot{I}_{kII}^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,061 - j0,032 \text{кА} \\ 0,038 - j0,022 \text{кА} \end{pmatrix}$$

Визначаємо результуючий струморозподіл в замкненій мережі:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{0-5}^{(2)} &= \dot{I}_{\text{роз}0-5}^{(2)} - \dot{I}_{kI}^{(2)} + \dot{I}_{kII}^{(2)} = 0,3 - j0,192 - (0,061 - j0,032) + 0,038 - j0,022 = \\ &= 0,277 - j0,182 \text{кА} \end{aligned}$$

$$\dot{I}_{3-5}^{(2)} = \dot{I}_{\text{роз}3-5}^{(2)} - \dot{I}_{kI}^{(2)} = 0,165 - j0,093 - (0,061 - j0,032) = 0,099 - j0,06 \text{кА}$$

$$\dot{I}_{1-3}^{(2)} = \dot{I}_{\text{роз}1-3}^{(2)} - \dot{I}_{kI}^{(2)} = 0,092 - j0,046 - (0,061 - j0,032) = 0,028 - j0,013 \text{кА}$$

$$\dot{I}_{1-2}^{(2)} = \dot{I}_{\text{роз}1-2}^{(2)} - \dot{I}_{kI}^{(2)} = 0,037 - j0,017 - (0,061 - j0,032) = -0,025 + j0,015 \text{кА}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{0-4}^{(2)} &= \dot{I}_{\text{роз}0-4}^{(2)} + \dot{I}_{kI}^{(2)} - \dot{I}_{kII}^{(2)} = 0,165 - j0,095 + (0,061 - j0,032) - (0,038 - j0,022) = \\ &= 0,182 - j0,104 \text{кА} \end{aligned}$$

$$\dot{I}_{4-6}^{(2)} = \dot{I}_{\text{роз}4-6}^{(2)} - \dot{I}_{kII}^{(2)} = 0,092 - j0,055 - (0,038 - j0,022) = 0,051 - j0,032 \text{кА}$$

$$\dot{I}_{2-4}^{(2)} = \dot{I}_{kI}^{(2)} = 0,061 - j0,032 \text{кА}$$

$$\dot{I}_{5-6}^{(2)} = \dot{I}_{kII}^{(2)} = 0,038 - j0,022 \text{кА}$$

Виконаємо перевірку II-го закону Кірхгофа для мережі:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{0-4}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{0-4} - \dot{I}_{0-5}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{0-5} - \dot{I}_{3-5}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{3-5} - \dot{I}_{1-3}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{1-3} - \dot{I}_{1-2}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{1-2} - \dot{I}_{2-4}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{2-4} = \\ = (0,182 - j0,104) \cdot (2,4 + j8) - (0,277 - j0,182) \cdot (1,708 + j5,6) - \\ - (0,102 - j0,06) \cdot (3,42 + j5,95) - (0,029 - j0,014) \cdot (8,44 + j8,86) - \\ - (-0,026 + j0,015) \cdot (16,88 + j17,72) + (0,063 - j0,033) \cdot (4,88 + j8,5) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{0-5}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{0-5} - \dot{I}_{0-4}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{0-4} - \dot{I}_{4-6}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{4-6} - \dot{I}_{5-6}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{5-6} = (0,277 - j0,182) \cdot (1,708 + j5,6) - \\ - (0,182 - j0,104) \cdot (2,4 + j8) - (0,053 - j0,032) \cdot (9,28 + j9,75) - \\ - (0,039 - j0,023) \cdot (9,28 + j0,75) = 0 \end{aligned}$$

Бачимо що струморозподіл в мережі знайдений вірно.

Тепер визначаємо напруги в пунктах мережі на основі знайденого струморозподілу:

										Лист
										44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ					

$$\begin{aligned}\dot{U}_5^{(2)} &= U_{\hat{\sigma}n} - \dot{I}_{0-5}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{0-5} = 115 - (0,277 - j0,182) \cdot (1,708 + j5,6) = \\ &= 113,514 e^{-j0,627^\circ} \text{кВ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_4^{(2)} &= U_{\hat{\sigma}n} - \dot{I}_{0-4}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{0-4} = 115 - (0,182 - j0,104) \cdot (2,4 + j8) = \\ &= 113,731 e^{-j0,607^\circ} \text{кВ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_3^{(2)} &= U_4 - \dot{I}_{3-5}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{3-5} = 113,725 - j1,204 - (0,102 - j0,06) \cdot (3,42 + j5,95) = \\ &= 112,825 e^{-j0,825^\circ} \text{кВ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_1^{(2)} &= U_3 - \dot{I}_{1-3}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{1-3} = 112,813 - j1,625 - (0,029 - j0,015) \cdot (8,44 + j8,86) = \\ &= 112,471 e^{-j0,896^\circ} \text{кВ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_2^{(2)} &= U_1 - \dot{I}_{1-2}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{1-2} = 112,458 - j1,759 - (0,026 - j0,015) \cdot \\ &\cdot (16,88 + j17,72) = 113,165 e^{-j0,792^\circ} \text{кВ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_6^{(2)} &= U_4 - \dot{I}_{4-6}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{4-6} = 113,725 - j1,204 - (0,053 - j0,032) \cdot \\ &\cdot (9,28 + j9,75) = 112,949 e^{-j0,711^\circ} \text{кВ}\end{aligned}$$

Розрахуємо втрати потужності на другій ітерації:

$$\begin{aligned}\Delta \dot{S}_\Sigma^{(2)} &= \hat{U}_{\hat{\sigma}n} \cdot (\dot{I}_{0-4}^{(2)} + \dot{I}_{0-5}^{(2)}) + \underline{Y}_{\hat{\sigma}n} \cdot U_{\hat{\sigma}n}^2 - (\dot{S}_1 + \dot{S}_2 + \dot{S}_3 + \dot{S}_4 + \dot{S}_5 + \dot{S}_8) = \\ &115 \cdot (0,182 - j0,104 + 0,277 - j0,182) + \\ &+ (7,025 \cdot 10^{-8} + j4,828 \cdot 10^{-5}) \cdot 115^2 - (52 - j31,272) = 0,83 - j0,96 \text{МВА}\end{aligned}$$

Проведемо перевірку виконання критерію закінчення ітераційного розрахунку:

$$\left| \frac{\Delta \dot{S}_\Sigma^{(2)} - \Delta \dot{S}_\Sigma^{(1)}}{\Delta \dot{S}_\Sigma^{(1)}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{0,83 - j0,96 - 2,762 + j1,428}{2,762 - j1,428} \right| = 63,917\% > 1\%$$

Критерій завершення ітераційного розрахунку не виконується, тому виконуємо наступну ітерацію. Результати наступних ітерацій наведені в табл. 1.7.3.

Результуюча схема РЕМ при режимі максимальних навантажень на другій ітерації наведена рис. 1.7.4.

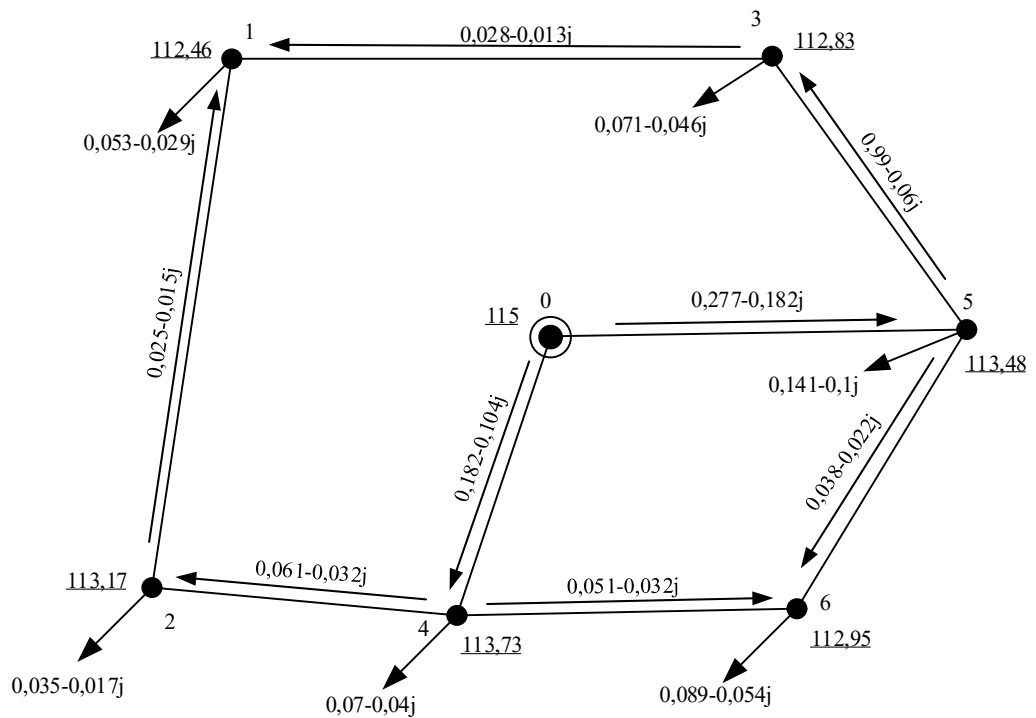


Рис 1.7.4 – Результуюча схема на другій ітерації розрахунку при режимі максимальних навантажень

Таблиця 1.7.3 – Результати розрахунку режиму максимальних навантажень

Параметр	Значення			
	1	2	3	4
Лінійні струми навантаження, кА	1	0,053-j0,029	4	0,07-j0,04
	2	0,035-j0,017	5	0,141-j0,1
	3	0,071-j0,046	6	0,089-j0,054
Розподіл струмів по ділянках мережі, кА	0-5	0,277-j0,182	0-4	0,182-j0,104
	3-5	0,099-j0,06	4-6	0,051-j0,032
	1-3	0,028-j0,013	2-4	0,061-j0,032
	1-2	0,025-j0,015	5-6	0,038-j0,022
Рівні напруги на ПС, кВ	1	112,474	4	113,733
	2	113,167	5	113,515
	3	112,827	6	112,951
Сумарні втрати потужності, МВА	0,83-j0,917			

Після виконання четвертої ітерації виконується критерій закінчення ітераційного розрахунку.

Знаходимо потужності початку та кінця на ділянках:

$$\dot{S}_{n0-5} = U_{\hat{0}n} \cdot \dot{I}_{0-5}^{(4)} + 0,5 \cdot Y_{0-5} \cdot (U_{\hat{0}n})^2 = 115 \cdot (0,277 - j0,182) +$$

$$+ 0,5 \cdot (5,785 \cdot 10^{-8} + 3,976 \cdot 10^{-5}) \cdot 115 = 31,879 - j20,644 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{к0-5} = \hat{U}_5 \cdot \dot{I}_{0-5}^{(4)} - 0,5 \cdot Y_{0-5} \cdot U_5^2 = (113,508 + j1,242) \cdot (0,277 - j0,182) -$$

$$- 0,5 \cdot (5,785 \cdot 10^{-8} + 3,976 \cdot 10^{-5}) \cdot 113,515^2 = 31,691 - j20,548 \text{ МВА}$$

Фазні струми:

$$I_{\phi 0-5} = \frac{I_{0-5}}{\sqrt{3}} \cdot 10^3 = \frac{\sqrt{0,277^2 + 0,182^2}}{\sqrt{3}} \cdot 10^3 = 191,396 \text{ А}$$

Для інших ділянок розрахунок аналогічний. Для потоків потужності результати наведені в табл. 1.7.4, а для фазних струмів в табл. 1.7.5.

Таблиця 1.7.4 – Потокорозподіл по ділянкам РЕМ

Ділянка	Потужність, МВА		Ділянка	Потужність, МВА	
	Початок	Кінець		Початок	Кінець
0-5	Початок	31,879-j20,644	0-4	Початок	20,95-j11,545
	Кінець	31,691-j20,548		Кінець	20,842-j11,936
3-5	Початок	11,289-j6,425	1-3	Початок	3,182-j1,138
	Кінець	11,242-j6,828		Кінець	3,172-j1,784
1-2	Початок	2,901-j1	2-4	Початок	6,96-j3,231
	Кінець	2,882-j2,306		Кінець	6,935-j3,883
4-6	Початок	5,824-j3,21	5-6	Початок	4,307-j2,106
	Кінець	5,788-j3,904		Кінець	4,287-j2,816

Таблиця 1.7.5 – Фазні струми ділянок

Ділянка	Модуль струму, А	Ділянка	Модуль струму, А
0-5	191,396	2-4	39,725
3-5	66,68	0-4	121,01
1-3	17,925	4-6	34,692
1-2	17,064	5-6	25,251

Тепер наведемо схему з параметрами режиму максимальних навантажень, вона зображена на рис. 1.7.5

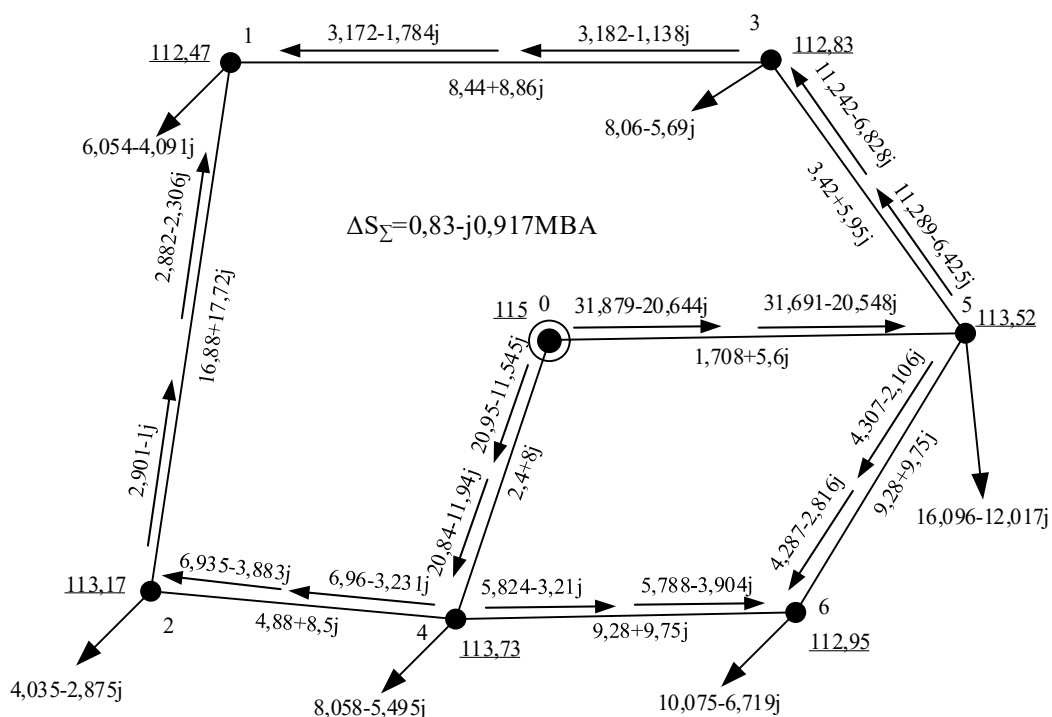


Рисунок 1.7.5 – Результуюча схема роботи РЕМ в режимі максимальних навантажень з наведеними режимними параметрами

Тепер проведемо вибір відгалужень РПН і ПБЗ для трансформаторів в режимі максимальних навантажень.

Бажаний рівень напруги для ПС на шинах НН – 10,5 кВ, на шинах СН – 36,5 кВ, в пункті №5 на шинах НН – 21 кВ.

Розглянемо ПС №3.

Втрати потужності в обмотках блоку трансформаторів дорівнює:

$$\Delta \dot{S}_{Tz6BH} = 2 \cdot \left( \frac{\Delta P_{k10000} \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \beta_{BH3}^2 - j S_{10000} \cdot 10^{-3} \cdot u_{k\%10000} \cdot \beta_{BH3}^2 \cdot 10^{-2} \right) =$$

$$= 2 \cdot \left( \frac{76 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 0,468^2 - j 10 \cdot 10,75 \cdot 0,4468^2 \cdot 10^{-2} \right) = 0,017 - j 0,46 \text{ MVA}$$



$$\Delta \dot{S}_{Tz6CH} = 2 \cdot \left( \frac{\Delta P_{k10000} \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \beta_{CH3}^2 - j S_{10000} \cdot 10^{-3} \cdot u_{kc10000} \cdot \beta_{CH3}^2 \cdot 10^{-2} \right) =$$

$$= 2 \cdot \left( \frac{76 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 0,115^2 - j 10 \cdot 0 \cdot 0,115^2 \cdot 10^{-2} \right) = 0,001 MVA$$

$$\Delta \dot{S}_{Tz6HH} = 2 \cdot \left( \frac{\Delta P_{k10000} \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \beta_{HH3}^2 - j S_{10000} \cdot 10^{-3} \cdot u_{kh10000} \cdot \beta_{HH3}^2 \cdot 10^{-2} \right) =$$

$$= 2 \cdot \left( \frac{76 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 0,353^2 - j 10 \cdot 6,25 \cdot 0,353^2 \cdot 10^{-2} \right) = 0,009 - j 0,156 MVA$$

Визначимо приведенний рівень напруги для СН та НН:

$$U_{CH\_пр} = \sqrt{U_3^2 - 2 \cdot \left( (P_{max3} + \Delta P_{Tz6CH}) \cdot \frac{r_{m10000}}{2} + (P_{CH3} + \Delta P_{Tz6CH}) \cdot \frac{r_{m10000}}{2} - \right.}$$

$$\left. - (Q_{max3} + \Delta Q_{Tz6CH}) \cdot \frac{x_{m\delta 10000}}{2} - (Q_{CH3} + \Delta Q_{Tz6CH}) \cdot \frac{x_{m\epsilon 10000}}{2} \right)} =$$

$$= \sqrt{112,827^2 - 2 \cdot \left( (8 + 0,017) \cdot \frac{5,026}{2} + (2 + 0,001) \cdot \frac{5,026}{2} - \right.}$$

$$\left. - (4,852 + 0,46) \cdot \frac{142,169}{2} \right)} = 109,199 kV$$

$$U_{HH\_пр} = \sqrt{U_3^2 - 2 \cdot \left( (P_{max3} + \Delta P_{Tz6HH}) \cdot \frac{r_{m10000}}{2} + (P_{CH3} + \Delta P_{Tz6CH}) \cdot \frac{r_{m10000}}{2} - \right.}$$

$$\left. - (Q_{max3} + \Delta Q_{Tz6HH}) \cdot \frac{x_{m\delta 10000}}{2} - (Q_{HH3} + \Delta Q_{Tz6HH}) \cdot \frac{x_{m\epsilon 10000}}{2} \right)} =$$

$$= \sqrt{112,827^2 - 2 \cdot \left( (8 + 0,017) \cdot \frac{5,026}{2} + (2 + 0,001) \cdot \frac{5,026}{2} - \right.}$$

$$\left. - (4,852 - 0,46) \cdot \frac{142,169}{2} - (-3,43 - 0,184) \cdot \frac{82,656}{2} \right)} = 109,096 kV$$

Тепер на основі порахованих рівнів напруги, розрахуємо бажане положення РПН та ПБЗ:

$$N_{3рпн\_баж} = \frac{1}{0,0178} \cdot \left( \frac{U_{3HH\_пр} \cdot U_{HH}}{U_{OB} \cdot U_{HH\_баж}} - 1 \right) = \frac{1}{0,0178} \cdot \left( \frac{109,096 \cdot 11}{115 \cdot 10,5} - 1 \right) = -0,346 \rightarrow 0$$

Приймаємо положення РПН рівним 0, перераховуємо положення ПБЗ буде:

									Лист
									49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ				

$$N_{3пбз\_баж} = \frac{1}{0,025} \cdot \left( \frac{U_{CH\_баж} \cdot U_{оВ} \cdot (1 + N_{3рпн\_баж} \cdot \omega_{0\_рпн})}{U_{3сн\_пр} \cdot U_{ТС}} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1}{0,025} \cdot \left( \frac{36,5 \cdot 115 \cdot (1 + 1 \cdot 0,0178)}{109,199 \cdot 38,5} - 1 \right) = -0,063 \rightarrow 0$$

Положення ПБЗ приймаємо рівним 0. Наступним кроком визначимо рівень фактичної напруги на стороні СН та НН:

$$U_{3нн\_факт} = \frac{U_{3нн\_пр} \cdot U_{пн}}{115 \cdot (1 + N_{3рпн} \cdot 0,0178)} = \frac{109,096 \cdot 11}{115 \cdot (1 + 0 \cdot 0,0178)} = 10,44 \text{кВ}$$

$$U_{3сн\_факт} = \frac{U_{CH\_баж} \cdot U_{3сн\_пр} \cdot (1 + N_{3пбз} \cdot \omega_{0\_пбз})}{115 \cdot (1 + N_{3рпн} \cdot \omega_{0\_рпн})} = \frac{36,5 \cdot 109,199 \cdot (1 + 0 \cdot 0,025)}{115 \cdot (1 + 0 \cdot 0,0178)} = 34,659 \text{кВ}$$

Для інших пунктів розрахунок аналогічний. Результати розрахунків будуть наведені в табл. 1.7.6.

Таблиця 1.7.6 – Вибір положення РПН та ПБЗ на підстанціях в режимі максимальних навантажень

ПС	U <sub>пс</sub> , кВ	U <sub>пнн</sub> , кВ	U <sub>псн</sub> , кВ	N <sub>рпн-бажн</sub>	N <sub>пбз-бажн</sub>	N <sub>рпн</sub>	N <sub>пбз</sub>	U <sub>ннф</sub>	U <sub>снф</sub>
1	112,474	108,107	108,304	-0,852	-0,351	-1	0	10,528	34,91
2	113,167	110,301	-	0,271	-	0	-	10,551	-
3	112,827	109,096	109,199	-0,346	-0,063	0	0	10,435	34,659
4	113,733	110,135	110,161	0,185	-0,412	0	0	10,535	34,964
5	113,508	109,036	-	-0,25	-	0	-	20,46	-
6	112,951	108,516	108,363	-0,643	-0,479	1	0	10,568	35,023

## 1.8 Розрахунок післяаварійного режиму роботи мережі

Розглянемо післяаварійний режим роботи мережі за відключення найбільш навантаженої ділянки, а саме ділянки 0-5. Під час розрахунку попереднього режиму, по ній протікав найбільший потік потужності – 31,879-j20,644 МВА. Навантаження ПС та рівень напруги БП такий самий як і в режимі максимальних навантажень. Так як ділянка 0-5 вимикається, потрібно перерахувати еквівалентні поперечні провідності пунктів 5 та БП.

									Лист
									50
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

ДПО209.141.007.ПЗ

$$\begin{aligned}
\underline{Y}_5 &= 0,5 \cdot (\underline{Y}_{\tau3-5} + \underline{Y}_{\tau5-6}) + \underline{Y}_{\sigma m16000} = \\
&= 0,5 \cdot \left( (8,099 + 1,636) \cdot 10^{-7} + (3,766j + 5,676j) \cdot 10^{-5} \right) + \\
&+ 2,873 \cdot 10^{-6} - j \cdot 1,694 \cdot 10^{-5} = 2,995 \cdot 10^{-6} + 3,027j \cdot 10^{-5} \text{ См} \\
\underline{Y}_{\sigma n} &= 0,5 \cdot (\underline{Y}_{\tau0-4}) = 0,041 \cdot 10^{-6} + 2,8j \cdot 10^{-5} \text{ См}
\end{aligned}$$

Визначимо опір контура:

$$\begin{aligned}
\underline{Z}_I &= \underline{Z}_{3-5} + \underline{Z}_{1-3} + \underline{Z}_{1-2} + \underline{Z}_{2-4} + \underline{Z}_{4-6} + \underline{Z}_{5-6} = 3,416 + j5,95 + 8,44 + j8,86 + \\
&+ 16,88 + j17,72 + 4,88 + j8,5 + 9,284 + j9,746 = 52,184 + j60,522 \text{ Ом}
\end{aligned}$$

Визначимо основний поточкорозподіл потужностей в умовно розімкненій схемі:

$$\begin{aligned}
\dot{S}_{p4-6} &= \dot{S}_{np6} + \dot{S}_{np5} + \dot{S}_{np3} = 10,042 - j6,507 + 16,059 - j11,798 + \\
&8,027 - j5,478 = 5 - j2,13 \text{ МВА}
\end{aligned}$$

$$\dot{S}_{p5-6} = \dot{S}_{np5} + \dot{S}_{np3} = 16,059 - j11,798 + 8,027 - j5,478 = 5 - j2,13 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{p3-5} = \dot{S}_{np3} = 8,027 - j5,478 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{p1-2} = \dot{S}_{np1} = 6,027 - j3,946 \text{ МВА}$$

$$\dot{S}_{p2-4} = \dot{S}_{np1} + \dot{S}_{np2} = 6,027 - j3,946 + 4,012 - j2,778 = 10,04 - j6,724 \text{ МВА}$$

$$\begin{aligned}
\dot{S}_{p0-4} &= \dot{S}_{p4-6} + \dot{S}_{p2-4} + \dot{S}_{np4} = 5 - j2,13 + 10,04 - j6,724 + 8,025 - j5,28 = \\
&= 10,04 - j6,724 \text{ МВА}
\end{aligned}$$

Складемо контурне рівняння для суміщеного поточкорозподілу:

$$\dot{S}_{p24} \cdot Z_{24} + \dot{S}_{p12} \cdot Z_{12} - \dot{S}_{p35} \cdot Z_{35} - \dot{S}_{p56} \cdot Z_{56} - \dot{S}_{p46} \cdot Z_{46} = -\dot{S}_{KI} \cdot Z_I$$

Розв'язавши це рівняння, знаходимо значення контурних зрівняльних потужностей:

$$\dot{S}_{KI} = 7,067 - j5,85 \text{ МВА}$$

Після того, як були розраховані контурні потужності, розраховуємо значення потоків потужностей за окремими ділянками:

									Лист
									51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ				

$$\dot{S}_{оч0-4} = \dot{S}_{p0-4} = 52,193 - j35,787 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{оч2-4} = \dot{S}_{p2-4} + \dot{S}_{KI} = 10,04 - j6,724 + 7,067 - j5,85 = 17,107 - j12,573 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{оч1-2} = \dot{S}_{p1-2} + \dot{S}_{KI} = 6,027 - j3,946 + 7,067 - j5,85 = 13,095 - j9,796 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{оч4-6} = \dot{S}_{p4-6} - \dot{S}_{KI} = 34,128 - j23,784 - (7,067 - j5,85) = 27,061 - j17,934 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{оч5-6} = \dot{S}_{p5-6} - \dot{S}_{KI} = 24,086 - j17,276 - (7,067 - j5,85) = 17,018 - j11,427 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{оч3-5} = \dot{S}_{p3-5} - \dot{S}_{KI} = 8,027 - j5,478 - (7,067 - j5,85) = 0,96 + j0,371 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{оч13} = \dot{S}_{KI} = 7,067 - j5,85 \text{ MVA}$$

Здійснюємо перевірку II-го закону Кірхгофа у початковій схемі електричної мережі:

$$\begin{aligned} & \dot{S}_{оч2-4} \cdot Z_{2-4} + \dot{S}_{оч1-2} \cdot Z_{1-2} - \dot{S}_{оч4-6} \cdot Z_{4-6} - \dot{S}_{оч5-6} \cdot Z_{56} - \dot{S}_{оч3-5} \cdot Z_{3-5} + \dot{S}_{оч1-3} \cdot Z_{1-3} = \\ & = (17,107 - j12,573) \cdot (4,88 + j8,5) + (13,095 - j9,796) \cdot (16,88 + j17,72) - \\ & - (27,061 - j17,934) \cdot (9,284 + j9,746) - (17,018 - j11,427) \cdot (9,284 + j9,75) - \\ & - (0,96 + j0,371) \cdot (3,416 + j5,95) + (7,067 - j5,85) \cdot (8,44 + j8,86) = 0 \text{ MВт} \cdot \text{км} \end{aligned}$$

Бачимо що потокорозподіл потужностей знайдений вірно.

Нижче наведена схема основного потокорозподілу потужностей у Z-схемі електричної мережі у післяаварійному режимі роботи, вона зображена на рис. 1.8.1.

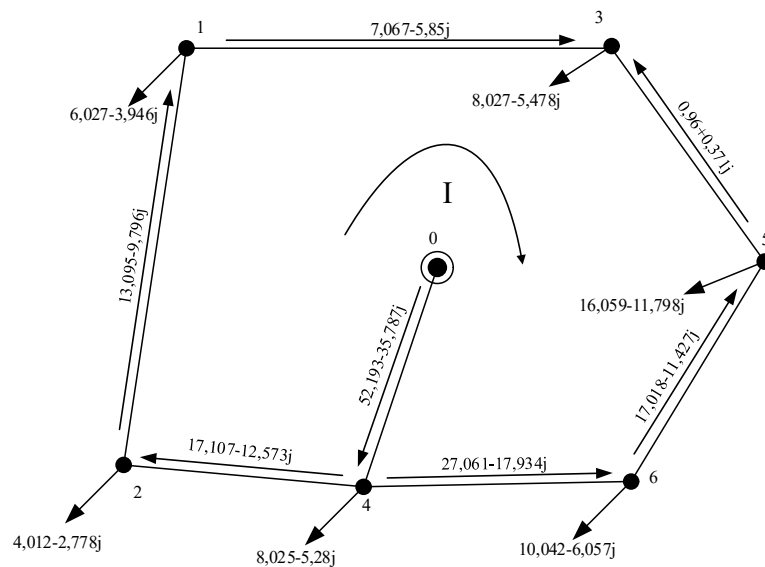


Рисунок 1.8.1 – Схема основного потокорозподілу потужностей у Z-схемі електричної мережі у післяаварійному режимі роботи

										Лист
										52
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Виконаємо першу ітерацію розрахунку режиму роботи електричної мережі в післяаварійному режимі роботи мережі.

Здамося початковими наближеннями напруги пунктів, що відповідають номінальній напрузі мережі:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = U_5 = U_6 = 110 \text{ кВ}$$

Знайдемо втрати потужності в ділянках  $\Delta S_{iz}$ , МВА, за основним потокорозподілом потужностей та початковим наближенням рівнів напруги:

Для ділянки 0-5 будемо мати:

$$\Delta \dot{S}_{z0-4}^{(1)} = \frac{P_{осн0-4}^2 + Q_{осн0-4}^2}{0.5 \cdot \left( (U_{бн})^2 + (U_4^{(0)})^2 \right)} \cdot \hat{Z}_{0-2} = \frac{52,193^2 + (-35,787)^2}{0.5 \cdot (115^2 + 110^2)} \cdot (2,44 - j8) = 0,772 - j2,53 \text{ МВА}$$

Таким самим чином прораховуємо інші ділянки. Результати розрахунків наведені в табл. 1.8.1:

Таблиця 1.8.1 – Втрати потужності в ділянках

Ділянка	$\Delta S_z$ , МВА
0-4	0,772-j2,53
2-4	0,182j0,373
1-2	0,373-j0,392
1-3	0,059-j0,062
3-5	0,003-j0,005
5-6	0,322-j0,338
4-6	0,809-j0,849

Втрати потужності в першому пункті будуть дорівнювати:

$$\Delta \dot{S}_{y1}^{(1)} = \underline{Y}_1 \cdot (U_1^{(0)})^2 = (2,34 \cdot 10^{-6} + j6,597 \cdot 10^{-6}) \cdot 110^2 = 0,028 + j0,798 \text{ МВА}$$

Втрати потужностей в провідностях решти пунктів розраховуються аналогічно. Результати розрахунків будуть приведені в табл. 1.8.2.

Таблиця 1.8.2 – Втрати потужності у провідностях

Пункт	1	2	3	4	5	6
$\Delta S_y$ , МВА	0,028+0,798j	0,024+0,858j	0,032+0,339j	0,033+0,811j	0,036+0,366j	0,033+0,486j

Формуємо додаткові навантаження пунктів від втрат потужності:

$$\Delta \dot{S}_{n1}^{(1)} = 0,5 \cdot (\Delta \dot{S}_{z1-3}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{z1-3}^{(1)}) + \Delta \dot{S}_{y1}^{(1)} = 0,5 \cdot (0,059 - 0,062j + 0,059 - 0,062j) + 0,028 + 0,798j = 0,244 + 0,575j \text{ МВА}$$

$$\Delta \dot{S}_{n2}^{(1)} = 0,5 \cdot (\Delta \dot{S}_{z2-4}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{z1-2}^{(1)}) + \Delta \dot{S}_{y2}^{(1)} = 0,5 \cdot (0,182 - 0,317j + 0,373 - 0,392j) + 0,024 + 0,858j = 0,301 + 0,503j \text{ МВА}$$

$$\Delta \dot{S}_{n3}^{(1)} = 0,5 \cdot (\Delta \dot{S}_{z1-3}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{z3-5}^{(1)}) + \Delta \dot{S}_{y3}^{(1)} = 0,5 \cdot (0,059 - 0,062j + 0,003 - 0,005j) + 0,032 + 0,339j = 0,062 + 0,308j \text{ МВА}$$

$$\Delta \dot{S}_{n4}^{(1)} = 0,5 \cdot (\Delta \dot{S}_{z2-4}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{z4-6}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{z0-4}^{(1)}) + \Delta \dot{S}_{y4}^{(1)} = 0,5 \cdot (0,182 - 0,317j + 0,809 - 0,849j + 0,772 - 2,53j) + 0,033 + 0,811j = 0,914 - 1,037j \text{ МВА}$$

$$\Delta \dot{S}_{n5}^{(1)} = 0,5 \cdot (\Delta \dot{S}_{z5-6}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{z3-5}^{(1)}) + \Delta \dot{S}_{y5}^{(1)} = 0,5 \cdot (0,322 - 0,338j + 0,003 - 0,005j) + 0,036 + 0,366j = 0,918 + 0,197j \text{ МВА}$$

$$\Delta \dot{S}_{n6}^{(1)} = 0,5 \cdot (\Delta \dot{S}_{z4-6}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{z5-6}^{(1)}) + \Delta \dot{S}_{y6}^{(1)} = 0,5 \cdot (0,809 - 0,849j + 0,373 - 0,392j) + 0,024 + 0,858j = 0,599 + 0,108j \text{ МВА}$$

Потокорозподіл додаткових навантажень в умовнорозімкненій схемі:

$$\Delta \dot{S}_{np12}^{(1)} = \Delta \dot{S}_{n1}^{(1)} = 0,244 + 0,572j \text{ МВА}$$

$$\Delta \dot{S}_{np24}^{(1)} = \Delta \dot{S}_{n1}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{n2}^{(1)} = 0,244 + 0,572j + 0,301 + 0,503j = 0,545 + 1,075j \text{ МВА}$$

$$\Delta \dot{S}_{np35}^{(1)} = \Delta \dot{S}_{n3}^{(1)} = 0,062 + 0,308j \text{ МВА}$$

$$\Delta \dot{S}_{np56}^{(1)} = \Delta \dot{S}_{n3}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{n5}^{(1)} = 0,26 + 0,504j \text{ МВА}$$

$$\Delta \dot{S}_{np46}^{(1)} = \Delta \dot{S}_{np56}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{n6}^{(1)} = 0,26 + 0,504j + 0,599 - 0,108j = 0,26 + 0,504j \text{ МВА}$$

$$\Delta \dot{S}_{np04}^{(1)} = \Delta \dot{S}_{np24}^{(1)} + \Delta \dot{S}_{np46}^{(1)} = 0,545 + 1,075j + 0,26 + 0,504j = 1,403 + 1,471j \text{ МВА}$$

Далі розрахунок продовжується як і в режимі максимальних навантажень.

Після виконання четвертої ітерації виконується критерій закінчення ітераційного розрахунку.

Втрати потужності в післяаварійному режимі становлять:

									Лист
									54
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ				

$$\Delta S_{\Sigma}^{(1)} = \dot{S}_{\text{он}}^{(1)} - S_{\Sigma} = 54,014 - 35,358j - (52 - 31,272j) = 2,014 - 4,111j \text{ МВА}$$

Таблиця 1.8.3 – Параметри роботи мережі в післяаварійному режимі

Параметр	Значення			
	1	2	3	4
Результуюче навантаження пункту, $S_{\text{рез}}$ , МВА	1	6,279-3,441j	4	8,938-6,283j
	2	4,319-2,285j	5	16,265-11,646j
	3	8,089-5,203j	6	10,655-6,654j
Результуюче навантаження ділянки, $S_{\text{рез}}$ , МВА	0-4	53,632-34,50j	3-5	0,95+0,719j
	2-4	17,737-11,725j	5-6	17,215-10,85j
	1-2	13,418-9,441j	4-6	27,87-17,503j
	1-3	7,138-6j		
Рівень напруги в пунктах, $U$ , кВ	1	106,071	4	111,405
	2	109,721	5	104,982
	3	104,997	6	107,482

Таблиця 1.8.4 – Фазні струми ділянок

Ділянка	Модуль струму, А	Ділянка	Модуль струму, А
0-4	322,715	3-5	5,659
2-4	110,861	5-6	111,399
1-3	50,19	4-6	171,231
1-2	87,493		

Тепер наведемо параметри післяаварійного режиму, схема зображена на рис. 1.8.2.

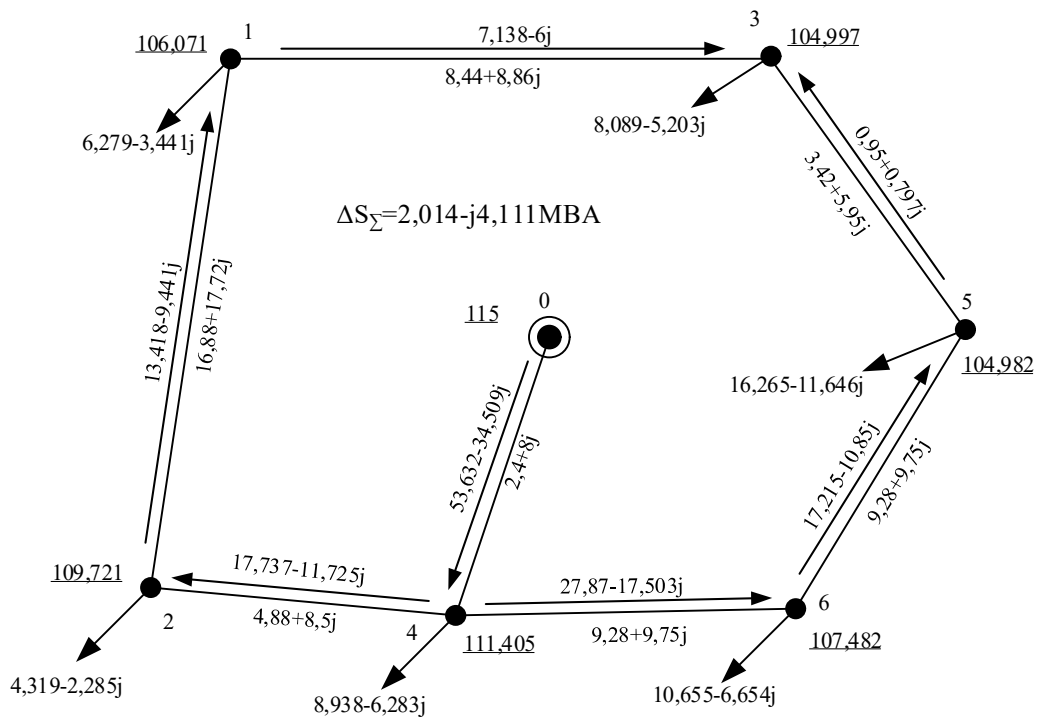


Рисунок 1.8.2 – Параметри післяварійного режиму роботи

Таблиця 1.8.5 – Вибір положення РПН та ПБЗ на підстанціях в післяварійному режимі роботи:

ПС	$U_{пс}$ , кВ	$U_{пнн}$ , кВ	$U_{псн}$ , кВ	$N_{рпн-бажн}$	$N_{пбз-бажн}$	$N_{рпн}$	$N_{пбз}$	$U_{ннф}$	$U_{снф}$
1	106,071	101,429	101,352	-4,27	-0,35	-4	0	10,446	34,634
2	109,721	106,763	-	-1,54	-	-2	-	10,589	-
3	104,997	109,096	109,199	-0,346	-0,063	0	0	10,435	34,659
4	111,405	100,978	101,088	-4,5	-0,699	-5	-1	10,602	34,339
5	107,482	100,123	-	-4,7	-	-5	-	20,14	-
6	107,482	102,812	102,672	-3,56	-0,449	-4	0	10,55	35,085

### Висновки по розділу 1

На основі проведеного синтезу п'яти варіантів конфігурацій схем, з використанням граничного моменту потужності в 4500 МВт·км, для обрання конфігурації схеми мережі. Виходячи з умови не перевищення граничного моменту потужності та мінімуму довжини ділянок, відбір пройшли варіанти конфігурацій №2 та №4 з сумарними довжинами 172 км та 168,6 км відповідно. Для цих варіантів



було визначено тип трансформаторів та їх кількість, які будуть встановлені на підстанціях. Трансформаторний блок складається з двох трансформаторів.

Виконано розрахунок L-схеми, що дозволило визначити струми на ділянках і обрати оптимальні перерізи проводів. Обрано перерізи проводів для ділянок, зокрема 4 ділянки з АС-70/11, 2 ділянки АС-120/19 та 2 ділянки АС-240/32.

За результатами техніко-економічного обґрунтування вибору варіанту схеми мережі, порівнюючи значення сумарних дисконтованих втрат для варіантів №2 та №4 – 724877 тис. грн та 742913 тис. грн відповідно, було вирішено продовжувати проектування за другим варіантом схеми РЕМ.

Розраховано параметри заміщення елементів мережі та проведено ітераційний розрахунок двох режимів роботи мережі: режим максимальних навантажень та післяаварійний режим.

У режимі максимальних навантажень втрати потужності склали  $0,83-j0,917$  МВА, розрахунок завершився на четвертій ітерації. Найменший рівень напруги в схемі на ПС №1 дорівнював 112,47 кВ, найбільш завантаженою ділянкою була 0-5 з навантаженням  $31,879-j20,644$  МВА, тому вона була вимкнена під час розрахунку післяаварійного режиму.

У післяаварійному режимі втрати потужності склали  $2,014-j4,111$  МВА, розрахунок завершився на четвертій ітерації. Найменший рівень напруги в схемі на ПС №5 становив 104,982 кВ, найбільш завантаженою ділянкою була 0-4 з навантаженням  $53,632-j34,509$  МВА.

Наприкінці кожного розрахунку режиму роботи було визначено рівень відгалуження РПН та ПБЗ. Бажаний рівень напруги на стороні НН становив 10,5 кВ, крім пункту №5, де на стороні НН було 21 кВ, а на стороні СН – 36,5 кВ.

									Лист
									57
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

## 2 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ В НІМЕЧЧИНІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ 110КВ З ЕНЕРГОВУЗЛОМ 20КВ В РЕЖИМІ З РЕЗИСТИВНО ЗАЗЕМЛЕННОЮ НЕЙТРАЛІЮ (20 ОМ)

### 2.1 Стислі теоретичні відомості

Система електропостачання Німеччини поділяється на три рівні напруги:

- висока напруга (110 кВ): первинна мережа, що транспортує електроенергію на великі відстані від електростанцій до підстанцій;
- середня напруга (10-30 кВ): розподільча мережа, що доставляє електроенергію до менших підстанцій та локальних розподільних мереж;
- низька напруга (0,4 кВ): кінцева мережа, що постачає електроенергію безпосередньо до споживачів.

Мережі середньої напруги (СН) в Німеччині характеризуються кількома ключовими моментами:

- високий рівень надійності: мережі СН спроектовані та експлуатуються з акцентом на забезпечення безперебійного та якісного електропостачання;
- інтеграція відновлюваних джерел енергії: мережі СН в Німеччині відіграють важливу роль в інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, в електромережу;
- перехід до цифрових технологій: мережі СН в Німеччині модернізуються з використанням цифрових технологій, таких як розумні мережі та автоматизація, для покращення ефективності та надійності.

Мережі СН в Німеччині регулюються Федеральним агентством з мережевих питань (Bundesnetzagentur). Агентство відповідає за забезпечення справедливої конкуренції, захисту прав споживачів та надійної роботи електромережі.

Мережі СН в Німеччині стикаються з рядом викликів, включаючи:

- інтеграція відновлюваних джерел енергії: зростання частки відновлюваних джерел енергії в електромережі створює нові виклики для експлуатації мереж СН;

									Лист
									58
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

- зростання попиту на електроенергію: попит на електроенергію постійно зростає, що потребує модернізації та розширення мереж СН;
- кібербезпека: мережі СН стають все більш вразливими до кібератак.

Водночас, мережі СН також мають ряд можливостей, включаючи:

- розумні мережі: розумні мережі можуть допомогти покращити ефективність та надійність мереж СН.

## **2.2 Загальна інформація про структура розподільчих мереж середньої напруги в Німеччині**

Мережі середньої напруги в Німеччині можуть мати різні структури, основними з яких є радіальні та кільцеві мережі. Радіальні мережі є найпростішим типом електричних мереж, у яких електроенергія передається від однієї центральної підстанції до кінцевих споживачів через окремі лінії, що розходяться подібно до променів радіуса. Основні характеристики та переваги радіальних мереж включають простоту та дешевизну, легкість проектування, будівництва і обслуговування, що знижує витрати, а також чітку структуру, яка дозволяє легко визначати та локалізувати місця пошкодження у разі відмови або аварії. Однак, такі мережі мають і недоліки: ненадійність, адже при пошкодженні на будь-якій ділянці лінії всі споживачі після точки пошкодження залишаються без електропостачання, та обмежену гнучкість, оскільки в разі збільшення навантаження або приєднання нових споживачів необхідно прокласти нові лінії. Кільцеві мережі мають більш складну структуру, де підстанції та споживачі з'єднані між собою у вигляді кільця, що дозволяє електроенергії надходити до споживачів з кількох напрямків. Основні характеристики та переваги кільцевих мереж включають високу надійність, оскільки у разі пошкодження на одній ділянці лінії електроенергія може бути передана з іншого напрямку, що забезпечує безперервне постачання, та гнучкість, що дозволяє легше пристосовувати мережу до змін в навантаженні або приєднання нових споживачів. Проте кільцеві мережі є складнішими та дорогими у проектуванні, будівництві та обслуговуванні, а також потребують більш складних систем керування та моніторингу для забезпечення стабільної роботи. Вибір між

									Лист
									59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

радіальною та кільцевою мережею залежить від багатьох факторів, таких як географія, щільність населення, економічні умови та потреби споживачів. У міських районах з високою щільністю населення та високими вимогами до надійності зазвичай використовують кільцеві мережі, тоді як у сільських районах, де щільність населення нижча і відстані більші, часто застосовують радіальні мережі через їхню простоту та нижчу вартість. Таким чином, структура мереж середньої напруги в Німеччині може варіюватися залежно від конкретних умов та вимог, забезпечуючи при цьому ефективне і надійне постачання електроенергії.

### 2.3 Дослідження структури мереж середньої напруги в Німеччині

Дослідження, проведене в 2018 році Федеральним агентством з мережевих питань (Bundesnetzagentur), показало, що близько 60% розподільчих мереж СН в Німеччині мають радіальну структуру.



Рисунок 2.1 – Діаграма розповсюдженості структур розподільчих мереж середньої напруги в Німеччині

Дослідження, проведене в 2020 році Технологічним інститутом Карлсруе (KIT), показало, що **близько 60%** розподільчих мереж СН в Німеччині працюють на **10 кВ**, **близько 30%** - на **15 кВ**, а **близько 10%** - на **20 кВ**.



Рисунок 2.2 – Діаграма розповсюдженості напруг розподільчих мереж середньої напруги в Німеччині

#### 2.4 Дослідження мережі 110кВ з енерговузлом 20 кВ в режимі з резистивно заземленою нейтраллю (20 Ом)

Для аналізу мережі при трьохфазному КЗ був використаний програмний комплекс DlgSILENT «PowerFactory». Метод який був використаний при розрахунку 3-фазного КЗ «МЭК 60909».

Завдання дослідження було дослідити струми КЗ та їх вплив на суміжну секцію та лінії. В завданні була надана схема мережі 20 кВ з ПС 110/20 кВ «Пухівка» з резистивно заземленою нейтраллю (20 Ом). Ділянки для місць КЗ були надані в завданні в таблиці 2.1. Завдання було знайти падіння напруги на шинах 20 кВ ПС «Пухівка, втрати потужності, струм КЗ на секції та косинус  $\phi$ .

									Лист
									61
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ				

Таблиця 2.1 – Результати дослідження в табличній формі

Назва ЛЕП або секції на якій проводиться дослідження	Ділянка ЛЕП з місцем КЗ	$\Delta U$ (падіння напруги), кВ	$\Delta S$ (втрати потужності), МВт	Напруга на секції, кВ	Струм КЗ на секції, кА	cosφ
ПС Пухівка	І с.20 кВ	8	75,61	12,7	2,183	0,99
Л-164 Волна	Л оп.ТП-234 - КРУН-10 (0,55 км)	6	37,26	14,7	1,08	0,9
Л-164 Волна	Л оп.ТП-1161 - оп.ЛР-78 (0,01 км)	9,5	50,6	11,2	1,3	0,79
Л-30 Зазим'я	Л оп.ТП-669 - оп.ТП-933 (0,1 км)	11,7	56,86	9	1,57	0,79
Л-30 Зазим'я	Л оп.ТП-1512 - оп.ТП-1173 (0,2 км)	12,5	64,75	8,2	1,64	0,77
Л-30 Зазим'я	Л оп.ТП-1638 - оп.ТП-1640 (0,08 км)	15,5	56,8	5,2	1,64	0,69
Л-31 Рожівка	Л ЛР-129 - оп.ЛР-134 (0,4 км)	18,1	69,74	2,6	2,01	0,68
Л-98 ТП-500	Л оп.ТП-1137 - оп.ЛР-91 (0,1 км)	18,6	71,54	2,1	2,07	0,59
Л-32 Десна / ТП-798 К06	І с.20 кВ	13,5	59,4	7,2	1,71	0,75
Л-32 Десна	Л оп.ТП-1678 - оп.ТП-641 (0,01 км)	8,4	43,89	12,3	1,27	0,87

Проаналізувавши таблицю 2.1 можемо побачити що найбільше падіння напруги відбувається при режимі КЗ на «Л оп.ТП-1137», а саме 18,6 кВ. Також бачимо що в цьому режимі найбільші втрати потужності і струм на секції, 71,54 МВт та 2,07 кА відповідно.

### Висновки по розділу 2

Показано, що мережі 20 кВ з нейтраллю, заземленою через резистор, мають переваги і недоліки.

Визначено, що серед переваг таких мереж можна виділити відсутність дугових перенапруг, що забезпечує простоту реалізації релейного захисту. Це також виключає пошкодження вимірювальних трансформаторів напруги (ТН) через ферорезонансні процеси та зменшує ймовірність ураження персоналу та сторонніх осіб при низькоомному заземленні нейтралі та швидкому відключенні.

Визначено, що Основні недоліки таких мереж полягають у збільшенні струму в місці пошкодження, що є характерним для низькоомного заземлення нейтралі.

Крім того, необхідно відключати однофазні замикання, що також притаманне лише для низькоомного заземлення нейтралі.

Аналіз таблиці 2.1 показує, що найбільше падіння напруги відбувається в режимі КЗ на «Л оп.ТП-1137». Крім того, у цьому режимі спостерігаються найвищі втрати потужності та струм на секції.

									Лист
									63
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дипломному проекті виконано проект районної електричної мережі та обґрунтуванню вибір трансформаторного обладнання.

Відповідно до розрахунку було прийнято до розгляду п'ять варіантів конфігурацій схем РЕМ. За допомогою методу моментів серед цих п'яти варіантів було обрано два найбільш вигідні – варіанти №2 та №4.

Відповідно до здійсненого вибору трансформаторного обладнання визначено навантаження на підстанції 110 кВ. Для ділянок ЛЕП було визначено кількість та переріз проводів. Техніко-економічне порівняння показало, що варіант №2 є більш вигідним порівняно з варіантом №4. Порівняльні значення сумарних дисконтованих втрат для варіантів №2 та №4 склали 724877 тис. грн та 742913,8 тис. грн відповідно. Таким чином, подальше проектування здійснювалося за другим варіантом. Після цього було проведено ітераційний розрахунок двох режимів роботи мережі: режим максимальних навантажень та післяаварійний режим. У режимі максимальних навантажень втрати потужності склали 0,83-j0,917 МВА. Найбільш завантаженою ділянкою виявилася 0-5, тому саме вона була вимкнена під час розрахунку післяаварійного режиму. В післяаварійному режимі втрати потужності склали 2,014-j4,11 МВА. Наприкінці кожного розрахунку режиму роботи було визначено рівень відгалуження РПН та ПБЗ. Бажаний рівень напруги на стороні НН становив 10,5 кВ, а в пункті №5 – 20 кВ на стороні НН та 36,5 кВ на стороні СН.

На основі проведеного дослідження енерговузла мережі 20 кВ з резистивно заземленою нейтраллю визначені переваги, так і недоліки. Серед переваг можна виділити відсутність дугових перенапруг, що спрощує реалізацію релейного захисту. Це також запобігає пошкодженню вимірювальних трансформаторів напруги (ТН) через ферорезонансні процеси та знижує ймовірність ураження персоналу і сторонніх осіб при низькоомному заземленні нейтралі та швидкому відключенні. Основні недоліки полягають у збільшенні струму в місці пошкодження, характерному для низькоомного заземлення нейтралі. Крім того,

									Лист
									64
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				



необхідно відключати однофазні замикання, що також притаманне лише для низькоомного заземлення нейтралі.

									Лист
									65
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Районні електричні мережі: Курсовий проєкт [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електричні системи і мережі» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. В. Чижевський, О. М. Янковська, О. С. Богомолова. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 118 с.
2. Електричні мережі та системи: підручник / В. В. Кирик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – 324 с.
3. Побудова та експлуатація електричних мереж. Технічна політика. Частина 2. Технічна політика у сфері побудови та експлуатації розподільних електричних мереж. Норми: СОБУ МЕНВ ЕЕ 40.1 – 00100227 – 01:2016 затверджено наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 08.02.2016 №64.
4. Правила улаштування електроустановок. - Міненерговугілля України. - 2017. - 617 с.
5. Чижевський В. В. Електричні мережі. Практикум. Навчальний посібник. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - 70 с.
6. Abdallah R. Al-Zyoud , A. Alwadie , A. Elmitwally , and Abdallah Basheer (2015). Effect of Neutral Grounding Methods on the Earth Fault Characteristics.
7. Francis, T.. Optimal neutral ground resistor rating of the medium voltage systems in power generatingstations. [Електронний ресурс] / Francis, Т / (2015)/ Режим доступу: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22348972.2015.1110878>
8. Методичні рекомендації щодо заземлення нейтралі електричних мереж 6- 35 кВ через резистор. Київ: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2018. 87 с.
9. В.В.Кирик, Б.В. Циганенко, О.С. Яндульський. Розподільні електричні мережі напругою 20 кВ та ефективність їх роботи: монографія / В.В.Кирик, Б.В. Циганенко, О.С. Яндульський.-К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018.-233с

										Лист
										66
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДПО209.141.007.ПЗ					

10. Савченко О. А. (2018). «Вивчення режимів роботи нейтралі розподільних електричних мереж». Режим доступу <http://internal.khntusg.com.ua/fulltext/PAZK- /УЧЕБНИКИ/38005.pdf>

									Лист
									67
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				

# Додаток А Результат перевірки дипломного проєкту на плагіат



Ім'я користувача:  
Чижевський Володимир

Дата перевірки:  
11.06.2024 02:42:39 EEST

Дата звіту:  
11.06.2024 10:39:00 EEST

ID перевірки:  
1016343577

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100006981

Назва документа: Погребінський Гліб Валентинович

Кількість сторінок: 57 Кількість слів: 15307 Кількість символів: 91777 Розмір файлу: 1.31 MB ID файлу: 1016145020

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

**48.6%**  
**Схожість**

Найбільша схожість: 38.6% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015249152)

16.8% Джерела з Інтернету 542 ..... Сторінка 59

47.1% Джерела з Бібліотеки 267 ..... Сторінка 71

**0% Цитат**

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

**0%**  
**Вилучень**

Немає вилучених джерел

**Модифікації**

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 378

Підозріле форматування 46 сторінок

									Лист
									68
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП0209.141.007.ПЗ				