

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.В. Кирик

“ ____ ” _____ 2019р.

Дипломний проект

освітній ступінь «бакалавр»

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(код спеціальності)

на тему: «Оптимізація розвитку електричної мережі та розрахунок її усталених режимів»

Виконав: студент 3-го курсу, групи ЕС-зпб1
(шифр групи)

Мельничук Дарія Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник проекту

Доцент, к.т.н. Баженов В. А.,

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра електричних мереж та систем

Освітній ступінь «Бакалавр»

Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Овітня програма – «Електричні системи і мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) В.В. Кирик
(ініціали, прізвище)

«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Мельничук Дарії Вікторівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Оптимізація розвитку електричної мережі та розрахунок її
усталених режимів»

керівник проекту Баженов Володимир Андрійович доцент, к.т.н.

затверджені наказом по університету від «15» квітня 2019 р. № 1116-с.

2. Строк подання студентом проекту «14» червня 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту: ситуаційний план, номінальна напруга мережі, $U_H=110$
кВ, активні навантаження споживачів P , коефіцієнт потужності навантаження
споживачів на стороні СН $\cos\varphi_{CH}=0,85$ та НН $\cos\varphi_{HH}=0,81$, кількість годин
використання максимуму навантаження $T_{max}=4500$, коефіцієнт географічний
район спорудження мережі Україна.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- а) основна частина: проект районної електричної мережі напругою 110 кВ;
б) спеціальне питання: "Оптимізація розвитку електричної мережі"

5. Перелік графічного матеріалу:

Вибір оптимальної конфігурації РЕМ.

Принципова схема РЕМ і розрахунок режимів роботи РЕМ.

Вибір засобів та способів регулювання напруги.

6. Консультанти розділів проекту

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

7.Дата видачі завдання 8 квітня 2019 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Синтез варіантів контурних схем. Вибір найбільш доцільних.	05.04-20.04	
2	Вибір кількості, типу та потужності силових трансформаторів. Техніко-економічне порівняння варіантів мережі.	20.04-30.04	
3	Розрахунок параметрів схеми заміщення вибраного варіанту, підготовка даних до ітераційного розрахунку.	30.04-05.05	
4	Ітераційний розрахунок опорних режимів.	05.05-10.05	
5	Розрахунок уставок РПН та ПБЗ .	10.05-15.05	
6	Вибір засобів та способів регулювання напруги	15.06-27.05	
7	Оформлення пояснювальної записки та плакатів	27.05-31.06	

Студент

(підпис)

Д.В. Мельничук

Керівник проекту

(підпис)

В.А.Баженів

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Оптимізація розвитку електричної мережі та розрахунок її усталених режимів

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

[illegible]

					ДП 6104.141.002 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Оптимізація розвитку електричної мережі тта роз- рахунок її усталених режимів	Лім.		Арк.	Аркушів		
Розроб.		Мельничук Д.В.						6			
Перевір.		Баженів В.А				НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»					
						ФЕА гр. ЕС-зп61					
Н. Контр.		Казанський С.В									
Затв.		Кирик В.В.									

					ДП6109.141.005 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається із пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка виконана на 72 сторінках формату А4, до якої входить 28 таблиць, 13 рисунків, 19 формул та 7 джерел літератури. Графічна частина включає в себе 3 аркуші формату А1.

Метою виконання даної роботи є оптимізація розвитку електричної мережі напругою 110 кВ та розрахунок режимів роботи мережі.

В даному проекті знайдено функцію дисконтованих витрат повітряної лінії електропередачі. Знайдено оптимальну конфігурацію розподільчої мережі 110 кВ. Виконано розрахунок опорних режимів роботи мережі.

ФУНКЦІЯ ДИСКОНТОВАНИХ ВИТРАТ, ЛІНІЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ,
РОЗПОДІЛЬЧА МЕРЕЖА, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ, ПОТУЖНІСТЬ,
НАПРУГА, РЕЖИМ РОБОТИ МЕРЕЖІ.

					ДП6104.141.002.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The diploma project consists of an explanatory note and a graphic chap-style. The explanatory note is made on 70 pages of A4 format, which includes 27 tables, 18 figures, 19 formulas and 7 sources of literature. The graphic part includes 3 sheets of A1 format.

The purpose of this work is to optimize the development of electrical power with a voltage of 110 kV and to calculate network-operating modes.

In this project, the function of discount expenses for power transmission lines is observed. The optimal configuration of the 110 kV distribution network is found. The calculation of network-operating modes is executed.

FUNCTION OF DISCOUNT EXPENSES, POWER LINE, DISTRIBUTION NETWORK, ELECTRIC CURRENT, POWER, VOLTAGE, NETWORK-OPERATING MODE.

					ДП6104.141.002.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРІЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП	10
1 ФУНКЦІЯ ДИСКОНТОВАНИХ ВИТРАТ	11
1.1 Загальні положення	11
1.2 Функція дисконтованих сумарних витрат	13
Висновки до розділу	18
2 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ МЕРЕЖІ	19
2.1 Загальні положення	19
2.2 Метод поконтурної оптимізації	21
Висновки до розділу	27
3 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РОБОТИ РЕМ	28
3.1 Вибір числа та типу силових трансформаторів	28
3.2 Знаходження поточкорозподілу за L-схемою мережі	29
3.3 Вибір перерізу проводів для ПЛ-110 кВ	32
3.4 Розрахунок параметрів Z-схеми мережі	39
3.5 Розрахунок приведених навантажень та еквівалентних провідностей.....	42
3.6 Розрахунок режиму максимальних навантажень	45
3.7 Розрахунок режиму мінімальних навантажень	52
3.8 Розрахунок післяаварійного режиму	58
Висновки до розділу	70
ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	72

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ВН – висока напруга;
КЗ – коротке замикання;
ЛЕП – лінія електропередачі;
НН – низька напруга;
ПБЗ – переключення без збудження;
ПЛ – повітряна лінія;
ПС – підстанція;
РПН – регулювання під навантаженням;
ПТЕ – правила технічної експлуатації;
СН – середня напруга.

					ДП6104.141.002.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Метою виконання даного дипломного проекту є застосування набутих теоретичних навичок в практичних цілях. А саме, в розрахунках режимів роботи спроектованої мережі. ЛЕП слугують для розподілу і передачі по проводах електроенергії, які розташовуються у відкритому повітрі.

Процес проектування системи енергопостачання насамперед пов'язаний з вибором оптимальної конфігурації мережі, за допомогою якої об'єднуються джерела живлення та споживачі електроенергії. Для вибору оптимальної конфігурації служить техніко-економічна оцінка показників.

Для того, щоб збудувати повітряну ЛЕП необхідно дотримуватися таких вимог:

- достатня пропускна здатність ЛЕП;
- достатня механічна міцність елементів конструкції;
- безпека експлуатації лінії.

Лінії з напругою 110 кВ використовуються для розподілу та передачі електроенергії споживачам.

В теперішніх умовах все частіше виникає питання над автоматизацією задач проектування повітряних ЛЕП. Першим кроком у цьому слугує задача систематизації бази даних, обробки і створенні алгоритмів.

У даній роботі метою слугує створення бази даних з майбутньою можливістю застосування її для роботи систем автоматичного проектування повітряних ЛЕП.

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ФУНКЦІЯ ДИСКОНТОВАНИХ СУМАРНИХ ВИТРАТ

1.1 Основні положення

Обов'язковою умовою під час проектування електричної мережі є виконання техніко-економічних розрахунків, які дозволяють нам обрати найоптимальніший варіант електропостачання району з найдрібнішими фінансовими витратами.

Метою оптимізації схем мережі слугує забезпечення мінімальних витрат під час експлуатації і спорудженні всіх об'єктів із дотриманням вимог якості та надійності електропостачання.

Задля спорудження електричної мережі необхідне поетапне вкладання фінансів у її будівництво протягом певного часу.

Під час розв'язанні задачі використовують суму дисконтованих динамічних витрат по всім елементам:

$$Z_{dc} = \sum_{t=1}^{T_{роз}} (B_t + K_t - L_t) \cdot (1 + E)^t, \quad (1.1)$$

Z_{dc} – значення функції дисконтованих сумарних витрат;

$B_t = B_{ет} + B_{атрт} + B_{кпт}$ – сума щорічних витрат;

K_t – вкладання капіталу в об'єкт, який споруджують, протягом t -го періоду;

L_t – залишкова вартість устаткування;

E – дисконтна норма, значення якої прирівнюють до відсоткової ставки НБУ за довгостроковими вкладками ($E=0,1$);

$T_{роз}$ – розрахунковий період, під час якого визначають інвестиційну ефективність (для України $T_{роз}=25$ років).

Умова оптимальності формуються як мінімум суми динамічних дисконтованих витрат на всіх елементах мережі:

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z^C = \sum_{i \in M} Z_i, \quad (1.2)$$

i – індекс гілок мережі;

M – допустимі гілки.

Під час оптимізації доцільно з числа незалежних змінних виключити дискретні параметри. Для цього може бути застосований метод економічних інтервалів. Під час використання даного методу приведені витрати електричної мережі, при передачі потужності P , можна записати як:

$$Z_i(P_i) = \min[Z_{i1}(P_{i1}), Z_{i2}(P_{i2}), \dots, Z_{iv}(P_i), \dots, Z_{iv}(P_i)], \quad (1.3)$$

V – сумарна кількість варіантів виконання 1-ї гілки.

Після цього функцію дисконтованих сумарних витрат можна записати як:

$$Z_{v0} = \frac{p_a \cdot K_{v0}}{E} + K_{v0} + \frac{P^2}{U_n^2 \cdot E} \cdot r_{v0} \cdot Z_e \cdot \tau, \quad (1.4)$$

p_a – щорічні відрахування на ремонт і обслуговування ЛЕП;

K_{v0} – вкладення капіталу в одиницю довжини лінії перерізом S_v ;

U_n – номінальна напруга;

E – норма дисконту;

Z_e – питома вартість втрат електроенергії;

r_{v0} – погонний активний опір лінії перерізом S_v ;

τ – число годин максимальних втрат електроенергії;

Найчастіше використовується функція:

$$Z_{v0} = \begin{cases} a + b|P|, & \text{якщо } P \neq 0 \\ 0, & \text{якщо } P = 0 \end{cases} \quad (1.5)$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функцію (1.4) можна продемонструвати у даному вигляді:

$$Z_{v0} = a_{v0} + b_{v0} \cdot P^2, \quad (1.6)$$

де a_{v0} і b_{v0} – коеф. параболи.

1.2 Функція дисконтованих сумарних витрат

Напишемо чому рівна кожна з складових функція дисконтованих сумарних витрат:

$p_a=1,2\%$ – щорічні відрахування на обслуговування і ремонт ЛЕП;

$U_n=110$ кВ – номінальна напруга;

$E=0,1$ – норма дисконту;

$Z_e=119,48$ коп/(кВт·год) – питома вартість втрати електроенергії;

Число годин максимальних втрат електроенергії:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886 \text{ год/рік.}$$

Погонні активні опори ліній для перерізів 70 мм², 120 мм², і 240 мм² будуть становити:

$$r_{v0(70)}=0,422 \text{ Ом/км};$$

$$r_{v0(120)}=0,244 \text{ Ом/км};$$

$$r_{v0(240)}=0,120 \text{ Ом/км.}$$

Базові показники вартості ПЛ – 110 кВ для перерізів 70 мм², 120 мм² і 240 мм² на сталевих опорах, дивлячись на курс валют (27 гривень за 1 долар США), становитимуть:

$$K_{v0(70)}=315 \text{ тис грн./км};$$

$$K_{v0(120)}=345 \text{ тис грн./км};$$

$$K_{v0(240)}=400 \text{ тис грн./км.}$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Внаслідок підвищення ціни на долар США визначаємо коефіцієнт підвищення вартості ПЛ і перерахуємо капіталовкладення в будівництво.

$$k_{\$} = \frac{26,95}{5} = 5.39;$$

Тоді показники вартості ПЛ– 110 кВ будуть:

$$K'_{v0(70)} = K_{v0(70)} \cdot k_{\$} = 315 \cdot 5.39 = 1697 \text{ тис грн./км};$$

$$K'_{v0(120)} = K_{v0(120)} \cdot k_{\$} = 346 \cdot 5.39 = 1860 \text{ тис грн./км};$$

$$K'_{v0(240)} = K_{v0(240)} \cdot k_{\$} = 401 \cdot 5.39 = 2156 \text{ тис грн./км}.$$

Так як функцію дисконтованих сумарних витрат можливо представити у виді (1.6), тоді визначимо коефіцієнти параболи для різних перерізів проводів.

Для проводу марки (АС-70/11):

$$a_{v0(70)} = \frac{0.01 \cdot p_a \cdot K'_{v0(70)} \cdot 10^3}{E} + K'_{v0(70)} \cdot 10^3 = \frac{0.01 \cdot 1.2 \cdot 1697 \cdot 10^3}{0.1} + 1697 \cdot 10^3 = 1.902 \cdot 10^6;$$

$$b_{v0(70)} = \frac{r_{v0(70)} \cdot 3_e \cdot \tau \cdot 10}{U_n^2 \cdot E} = \frac{0.422 \cdot 119.48 \cdot 2886 \cdot 10}{110^2 \cdot 0.1} = 1202.$$

Для проводу марки (АС-120/19):

$$a_{v0(120)} = \frac{0.01 \cdot p_a \cdot K'_{v0(120)} \cdot 10^3}{E} + K'_{v0(120)} \cdot 10^3 = \frac{0.01 \cdot 1.2 \cdot 1860 \cdot 10^3}{0.1} + 1860 \cdot 10^3 = 2.083 \cdot 10^6;$$

$$b_{v0(120)} = \frac{r_{v0(120)} \cdot 3_e \cdot \tau \cdot 10}{U_n^2 \cdot E} = \frac{0.244 \cdot 50.3 \cdot 2886 \cdot 10}{110^2 \cdot 0.1} = 695.$$

Для проводу марки (АС-240/39):

$$a_{v0(240)} = \frac{0.01 \cdot p_a \cdot K'_{v0(240)} \cdot 10^3}{E} + K'_{v0(240)} \cdot 10^3 = \frac{0.01 \cdot 1.2 \cdot 2156 \cdot 10^3}{0.1} + 2156 \cdot 10^3 = 2.415 \cdot 10^6;$$

$$b_{v0(240)} = \frac{r_{v0(240)} \cdot 3_e \cdot \tau \cdot 10}{U_n^2 \cdot E} = \frac{0.120 \cdot 119.48 \cdot 2886 \cdot 10}{110^2 \cdot 0.1} = 341.$$

Урахувавши коефіцієнти параболи, можемо записати функції дисконтованих витрат для усіх перерізів:

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{v0(70)} = a_{v0(70)} + b_{v0(70)} \cdot P^2 = 1.902 \cdot 10^6 + 1202 \cdot P^2;$$

$$Z_{v0(120)} = a_{v0(120)} + b_{v0(120)} \cdot P^2 = 2.083 \cdot 10^6 + 695 \cdot P^2;$$

$$Z_{v0(240)} = a_{v0(240)} + b_{v0(240)} \cdot P^2 = 2.415 \cdot 10^6 + 341 \cdot P^2.$$

Тепер можемо побудувати сумарні дисконтовані витрати на спорудження ПЛ–110 кВ від потужності (рис. 1.1).

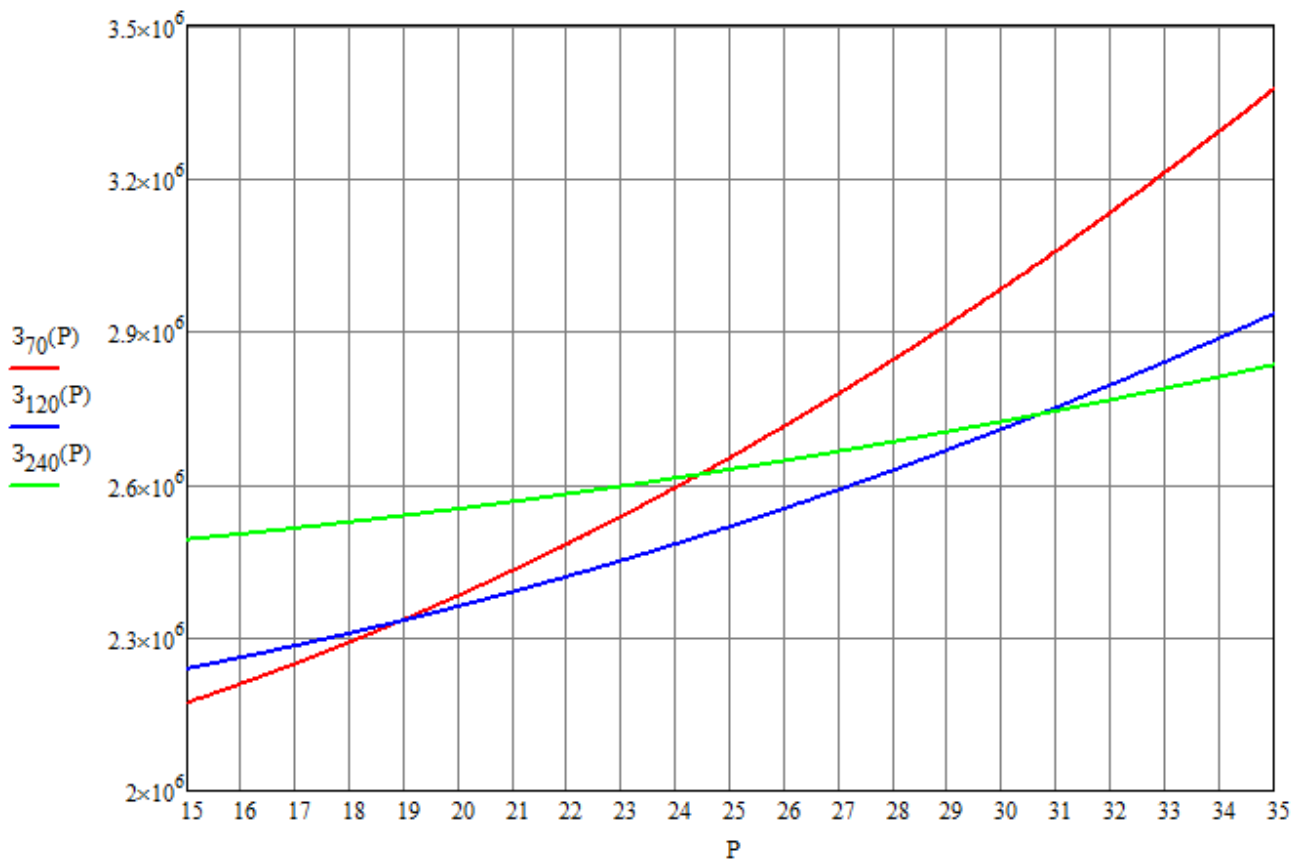


Рисунок 1.1 – Сумарні дисконтовані витрати

Ми можемо знайти точки перетину, які наведені на рис. 1.2, координати яких наведені в табл. 1.1.

Функція дисконтованих сумарних витрат апроксимується лінією, яка є прямою $y = a_0 + a_1 x$, тому складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} a_0 S_0 + a_1 S_1 = T_0; \\ a_0 S_1 + a_1 S_2 = T_1, \end{cases} \quad (1.7)$$

Таблиця 1.1 – Перетин кривих функцій (координати)

№ п/п	P	3(P)
1	18.895	$2.331 \cdot 10^6$
2	30.653	$2.736 \cdot 10^6$

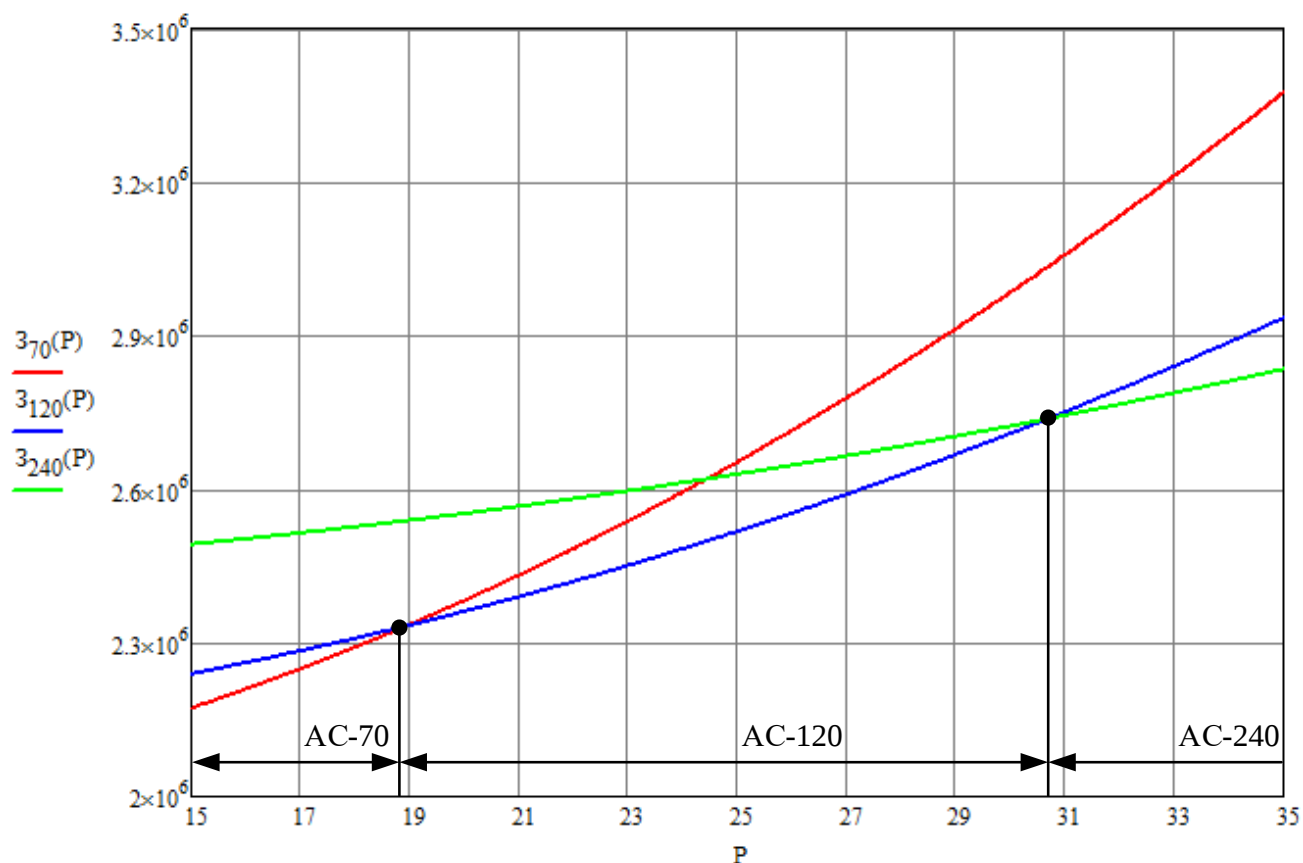


Рисунок 1.2 – Дисконтовані сумарні витрати

$$S_1 = \sum_{i=1}^N x_i = x_1 + x_2 = 18.895 + 30.653 = 49.548;$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^N x_i^2 = x_1^2 + x_2^2 = 18.895^2 + 30.653^2 = 1296.625;$$

$$T_0 = \sum_{i=1}^N y_i = y_1 + y_2 = 2.331 \cdot 10^6 + 2.736 \cdot 10^6 = 5.067 \cdot 10^6;$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 6104.141.002 ПЗ

Арк.

16

$$T_1 = \sum_{i=1}^N y_i x_i = y_1 x_1 + y_2 x_2 = 2.331 \cdot 10^6 \cdot 18.895 + 2.736 \cdot 10^6 \cdot 30.653 = 1.279 \cdot 10^8.$$

Система рівнянь матиме вигляд:

$$\begin{cases} a_0 \cdot 5 + a_1 \cdot 49.548 = 5.067 \cdot 10^6; \\ a_0 \cdot 49.548 + a_1 \cdot 1296.625 = 1.279 \cdot 10^8. \end{cases}$$

Шляхом розв'язку системи отримано такі значення коефіцієнтів прямої:

$$a_0 = 57.655 \cdot 10^3;$$

$$a_1 = 96.446 \cdot 10^3.$$

Отже, апроксимована функція набуде вигляду:

$$3(P) = 57.655 \cdot 10^3 + 96.446 \cdot 10^3 \cdot P$$

Позначимо на графіку функції (рис 1.3) перерізи проводів відповідно до розподілу потужності.

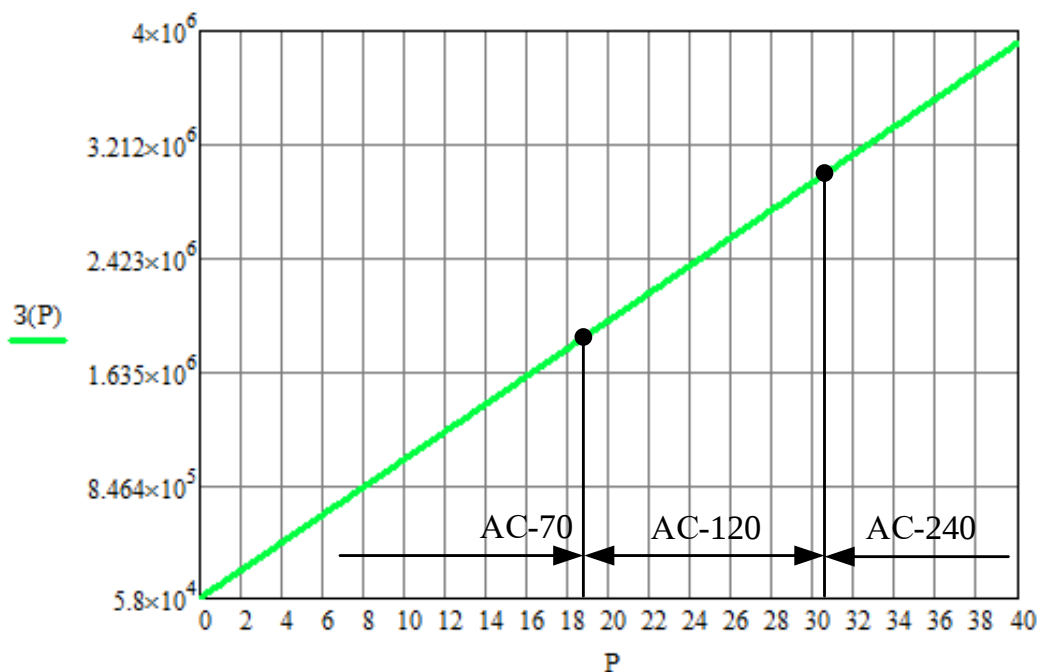


Рисунок 1.3 – Апроксимована функція дисконтованих сумарних витрат

Висновки до даного розділу

В даному розділі ми склали функції дисконтованих сумарних витрат для проводів з перерізом 70 мм², 120 мм² та 240 мм². Також для кожного з перерізів ми визначили інтервали активної потужності. Для майбутнього використання даних функцій ми також апроксимували їх за допомогою методу найменших квадратів і отримали функцію виду: $Z(P) = 57.655 \cdot 10^3 + 96.446 \cdot 10^3 \cdot P$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ДЛЯ ПРОЕКТОВАНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

2.1 Основні положення

Для того, щоб визначити оптимальну конфігурацію електричної мережі ми в даному дипломі використовуємо метод поконтурної оптимізації.

Застосовуючи метод поконтурної оптимізації ми формуємо завдання вибору оптимальної конфігурації як задачу визначення мінімуму функції витрат вигляду:

$$V^* = \sum_{i \in M} V_i(P_i) \quad (2.1)$$

Якщо діє умова

$$\sum_{i \in M} P_i - P_j = 0 \quad (j=1,2,\dots,J-1)$$

M - дозволені гілки мережі;

$V_i(P_i)$ - дана шматково-лінійна функція витрат в i -ю лінію, яку ми можемо отримати в результаті апроксимації кривої економічних інтервалів;

Нам доцільно в кожному гілку мережі апроксимувати ламаною для зменшення кількості обчислень на кожному кроці оптимізації. Тоді ми можемо записати функцію у вигляді:

$$z_{v0} = \begin{cases} a + b|P|, & \text{якщо } P \neq 0 \\ 0, & \text{якщо } P = 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

$$V_i(P_i) = b_i |P_i| \quad (2.3)$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час використання методу поконтурної оптимізації виділяють зв'язну розімкнуту мережу в розрахунковій схемі, яку ми називаємо деревом даної мережі. Дугами називають усі гілки мережі. Дуги ми позначаємо індексами. Дуги, які не увійшли до дерева, називають хордами. Хорди позначають індексами $k = 1, 2, \dots, K$. Коли ми додаємо будь-яку з хорд до дерева мережі то утворюється контур. Навантаження хорд мережі використовують в якості незалежних змінних, а навантаження дуг, які утворюють дерево мережі – в якості залежних, може бути визначене За допомогою виразу $K = I - J + 1$ ми можемо визначити кількість незалежних змінних, що дорівнює числу незалежних контурів, де I – кількість гілок мережі. Кількість залежних змінних дорівнюють числу рівнянь зв'язку $J - 1$.

Припустимо, що навантаження усіх хорд дорівнюють нулю. Тоді змінюючи потужність, можемо визначити мінімум функції витрат на експлуатацію й спорудження гілок контуру :

$$V_k^*(P_k) = V_k(P_k) \sum_{l \in M_k} V_l(P_l), \quad (2.4)$$

де P_k і $V_k(P_k)$ – витрати і навантаження k -ї хорди;

M_k – дуги контуру, які виникають коли замикається k -ї хорда;

P_l – навантаження l -ї дуги, яка має залежність від потужності хорди;

$$P_l = f_e(P_k)$$

Для оптимізації контуру можемо порівняти наведені витрати для режимів, в яких навантаження хорди або дуги рівне нулю.

Якщо б контури мережі не були пов'язані між собою то оптимізація була б закінчена за k кроків. Але існують дуги, які входять в кілька контурів одночасно. Тому у випадку оптимізації одного контуру умови оптимізації інших контурів теж змінюються.

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Взаємний вплив контурів призводить пошуку екстремуму у вигляді ітераційного процесу. Виділяють цикли оптимізації, при послідовному виконанні яких забезпечується вирішення задачі. Під час кожного циклу здійснюється оптимізація усіх контурів мережі.

Якщо в результаті оптимізації k -го контуру нульове навантаження дуги, а не хорди, потрібно змінити систему незалежних змінних. Необхідно k -у хорду включити у дерево мережі, а іншу в склад хорд. А в іншому випадку та ж сама дуга може вважатися замкнутої при оптимізації одного контуру, розімкнутою - при оптимізації іншого.

Ми можемо записати алгоритм даного методу так:

1. Виділимо дерево мережі. Під час цього дуги, які утворюють дерево, позначимо індексами $l = 1, 2, \dots, L$, а хорди індексами $k = 1, 2, \dots, K$. Прирівняємо навантаження хорд до нуля: $P_k = 0$, $k = 1, 2, \dots, K$. Задаємо $k = 1$.

2. Виконуємо оптимізацію k -го контуру. Під час цього знаходимо $V_k^*(P_{l'} = 0) = \min \{V_k^*(P_l = 0) / l \in M_k\}$. Якщо $V_k^*(P_{l'} = 0) < V_k^*(P_k = 0)$, то приймаємо дугу l' як хорду для наступного кроку оптимізації, а k -у хорду включаємо в саме дерево мережі. В інакшому випадку система незалежних змінних буде залишатися без змін. Задаємо $P_k = 0$.

3. Перевіряємо чи ми розглянули усі контури мережі $k = K$. Якщо так, то переходимо до четвертого пункту алгоритму, а якщо ні, змінюємо поточний індекс контуру $k = k + 1$ і переходимо до другого пункту.

4. Якщо на циклі процесу ми помітили зміни хорд і дерева мережі, то приймаємо $k = 1$ і переходимо до другого пункту, а якщо ні, – до п'ятого пункту.

5. Кінець.

2.2 Метод поконтурної оптимізації

Насамперед нам потрібно визначити оптимальну конфігурацію для електричної мережі. Надлишкова розрахункова схема зображена на рис. 2.1.

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

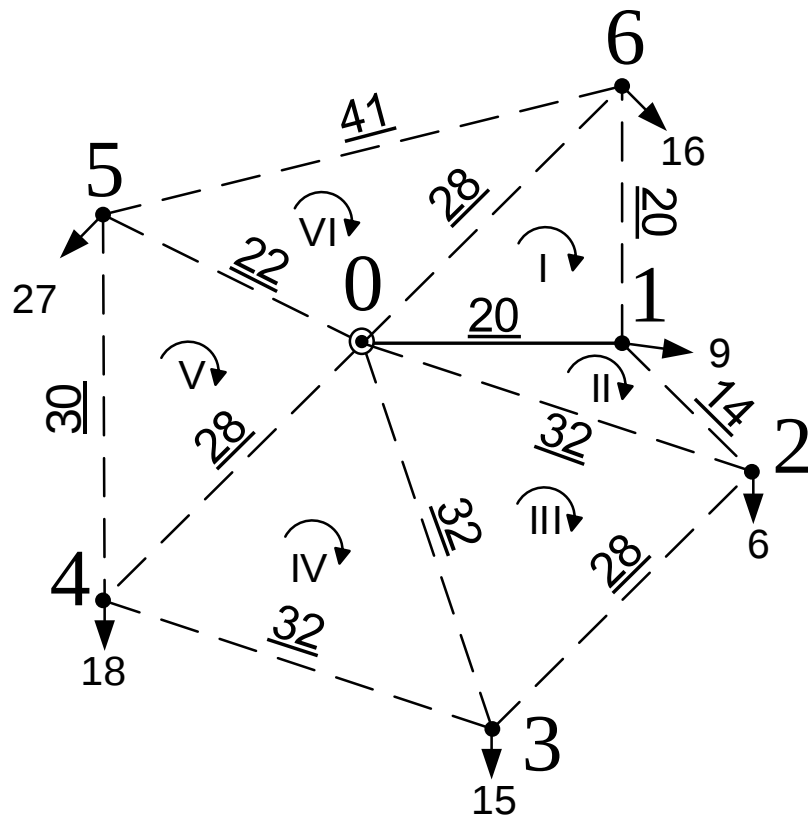


Рисунок 2.1 – Надлишкова розрахункова схема електричної мережі

Для діючих ліній при розрахунках враховується тільки вартість втрат електроенергії.

Перший крок:

Ми приймаємо лінії 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 та 1-6 в якості хорд вихідної схеми. Звідси перший контур утворюють хорда 1-6 з дугами 0-1 та 0-6, другий – хорда 1-2 з дугами 0-1 та 0-2 і так далі.

Оптимізація першого контуру (0-1-6-0):

Для цього послідовно прирівнюємо навантаження кожної лінії до нуля. Знаходимо потокорозподіл для кожного з варіантів схеми і затрати. Розглянуті варіанти заносимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 Результати оптимізації першого контуру

Лінії	Потужність лінії, МВт	Потужність лінії, МВт	Потужність лінії, МВт
	Перший режим	Другий режим	Третій режим
0 – 1	0	9	25
1 – 6	9	0	16
0 – 6	25	16	0
Затрати грн.	$8.764 \cdot 10^7$	$8.834 \cdot 10^7$	$8.139 \cdot 10^7$

Бачимо, що найменші витрати забезпечує відключення лінії 0-6, тому дану лінію заносимо до складу хорд замість лінії 1-6.

Оптимізація другого контуру (0-1-2-0):

Виконаємо оптимізацію другого контуру. Прирівнюємо послідовно до нуля навантаження кожної лінії. Знаходимо потокорозподіл для кожного з варіантів схеми і затрати. Розглянуті варіанти заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 Результати оптимізації другого контуру

Лінії	Потужність лінії, МВт	Потужність лінії, МВт	Потужність лінії, МВт
	Перший режим	Другий режим	Третій режим
0 – 1	0	6	15
1 – 2	6	0	9
0 – 2	15	9	0
Затрати грн.	$6.11 \cdot 10^7$	$3.9 \cdot 10^7$	$3.888 \cdot 10^7$

Бачимо, що найменші витрати забезпечує відключення лінії 0-2, тому дану лінію вважатимемо за хорду замість ділянки 1-2.

Оптимізація третього контуру (0-2-3-0):

Тепер виконаємо оптимізацію третього контуру. Отримані результати записані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати оптимізації третього контуру

Лінії	Потужність лінії, МВт		
	Перший режим	Другий режим	Третій режим
0 – 2	0	6	21
2 – 3	6	0	15
0 – 3	21	15	0
Затрати, грн.	$8.447 \cdot 10^7$	$8.85 \cdot 10^7$	$1.088 \cdot 10^8$

Бачимо, що найменші витрати забезпечує відключення лінії 0-2, тому дану лінію вважатимемо за хорду замість ділянки 2-3.

Оптимізація четвертого контуру (0-3-4-0):

Виконаємо оптимізацію для четвертого контуру. Знову прирівнюємо послідовно до нуля навантаження кожної лінії і знаходимо потокорозподіл для кожного з варіантів схеми і затрати. Розглянуті варіанти оптимізації другого контуру записані в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Результати оптимізації четвертого контуру

Лінії	Потужність лінії, МВт	Потужність лінії, МВт	Потужність лінії, МВт
	Перший режим	Другий режим	Третій режим
0 – 3	0	15	33
3 – 4	15	0	18
0 – 4	33	18	0
Затрати, грн.	$1.389 \cdot 10^8$	$9.836 \cdot 10^7$	$1.611 \cdot 10^8$

Лінія 3-4 залишається хордою, так як забезпечує найменші витрати при виключенні.

Оптимізація п'ятого контуру (0-4-5-0):

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналогічним чином оптимізуємо п'ятий контур, результати наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Результати оптимізації п'ятого контуру

Лінії	Потужність лінії, МВт	Потужність лінії, МВт	Потужність лінії, МВт
	Перший режим	Другий режим	Третій режим
0 – 4	0	27	45
4 – 5	18	0	27
0 – 5	45	18	0
Затрати, грн.	$1.506 \cdot 10^8$	$1.088 \cdot 10^7$	$2.03 \cdot 10^8$

Лінія 4-5 забезпечує найменші витрати при вимкненні і залишається хордою.

Оптимізація шостого контуру (0-5-6-0):

Оптимізуємо останній шостий контур за тим самим принципом, дані наведемо в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Результати оптимізації п'ятого контуру

Лінії	Потужність лінії, МВт	Потужність лінії, МВт	Потужність лінії, МВт
	Перший режим	Другий режим	Третій режим
0 – 5	0	27	43
5 – 6	27	0	16
0 - 6	43	16	0
Затрати, грн.	$2.269 \cdot 10^8$	$1.034 \cdot 10^8$	$1.581 \cdot 10^8$

Як і у попередньому контурі, лінія 5-6 залишається хордою.

Виконаємо другий крок, а саме оптимізацію, отриманого після першого кроку, контуру (0-1-2-3-0), отримані дані занесемо до таблиці 2.7:

Таблиця 2.6 - Результати другого кроку оптимізації

Лінії	Потужність лінії, МВт			
	Перший режим	Другий режим	Третій режим	Четвертий режим
0 – 1	0	9	15	30
1 – 2	9	0	6	21
2 – 3	15	6	0	15
0 – 3	30	21	15	0
Затрати, грн.	$1.495 \cdot 10^8$	$1.03 \cdot 10^8$	$8.713 \cdot 10^7$	$1.303 \cdot 10^8$

Отже, мінімальне значення приведених витрат буде після видалення гілки 2-3 з надлишкової схеми. Приймаємо до відключення гілку 2-3. Отриману схему зображено на рисунку 2.2.

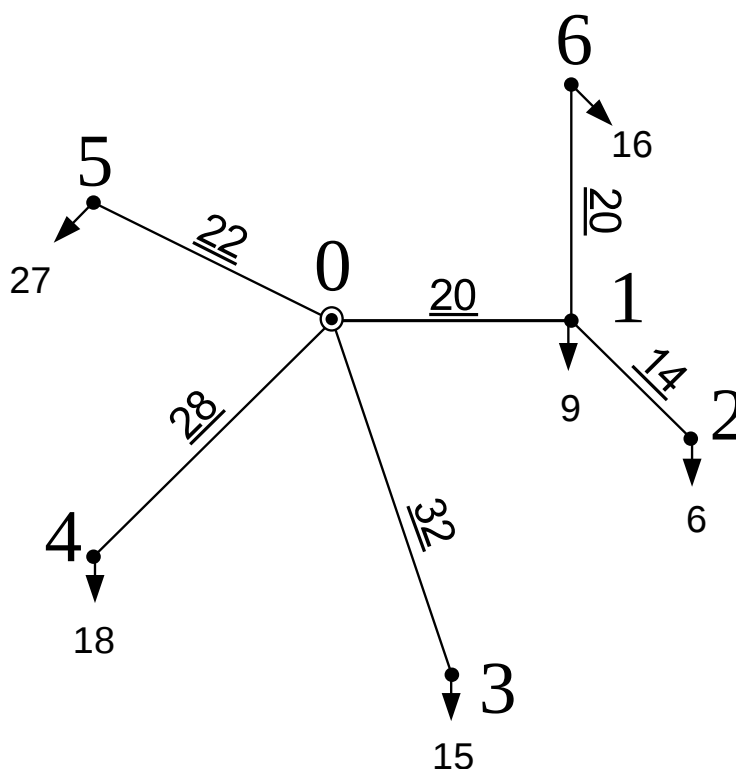


Рисунок 2.2 – Схема мережі після поконтурної оптимізації

В цілях надійності електропостачання додаємо ділянки 2-3, 3-4 та 5-6. На цьому вибір схеми завершено. Подальше видалення ліній призведе до порушення зв'язаності мережі. Оптимальна схема електричної мережі наведена нижче на рис. 2.3.

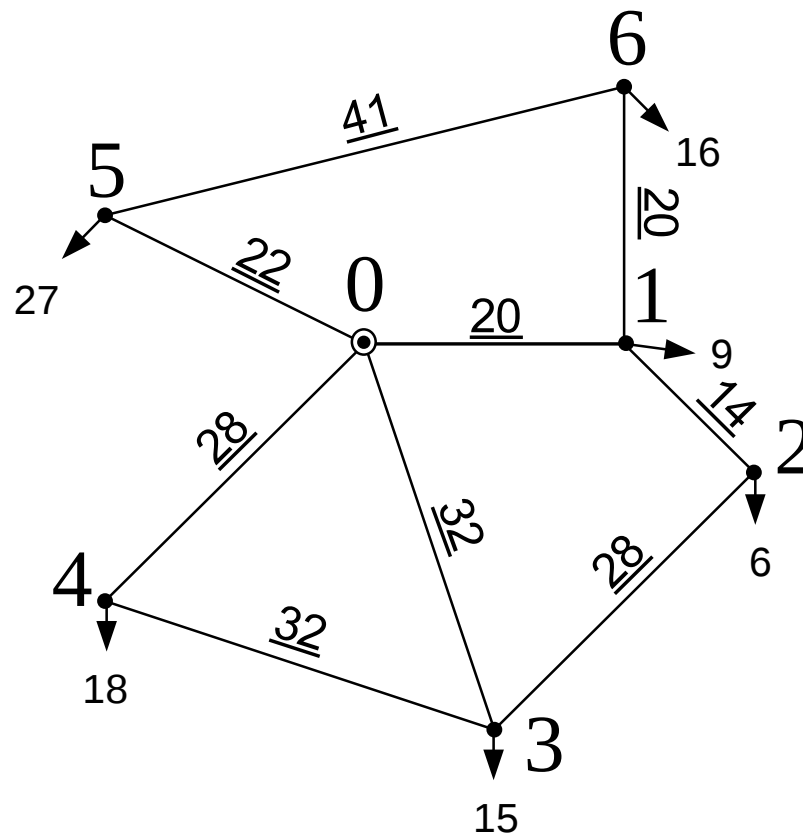


Рисунок 2.3 – Оптимальна схема електричної мережі

Висновки по розділу

За допомогою методу поконтурної оптимізації отримано оптимальну конфігурацію мережі. Для підвищення надійності постачання електроенергії введено три ділянки, котрі сформували три контури.

3 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Вибір числа та типу силових трансформаторів

Під час вибору кількості силових трансформаторів на проєктованих ПС 110 кВ робимо припущення, що до шин НН та СН приєднанні споживачі першої та другої категорії. Отже, на кожній ПС обираємо до встановлення два трансформатори однакового типу та потужності.

Потужність силових трансформаторів потрібно обирати, виходячи, з допустимих перевантажень, які складають 40 % в післяаварійному режимі (згідно ПТЕ).

Наведемо приклад вибору трансформаторів для ПС №3.

Знаходимо значення реактивного навантаження на шинах ПС №3:

$$\varphi_{\text{НН}} = \arccos(\cos(\varphi_{\text{НН}})) = \arccos(0.81) = 35.9^\circ;$$

$$\varphi_{\text{СН}} = \arccos(\cos(\varphi_{\text{СН}})) = \arccos(0.85) = 31.8^\circ;$$

$$Q_{\text{НН}3} = -P_{\text{НН}3} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{НН}} = -4 \cdot \operatorname{tg}(35.9^\circ) = -2.896 \text{ МВар};$$

$$Q_{\text{СН}3} = -P_{\text{СН}3} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{СН}} = -11 \cdot \operatorname{tg}(31.788^\circ) = -6.817 \text{ МВар}.$$

Величина повного навантаження приєданого до ПС №3 складе:

$$\dot{S}_{\text{max}3} = P_{\text{НН}3} + P_{\text{СН}3} + j(Q_{\text{НН}3} + Q_{\text{СН}3}) = 4 + 11 + (-2.896 - 6.817)i = 15 - 9.71i \text{ МВА}.$$

Розраховуємо значення потужності силових трансформаторів, які будуть встановлені на ПС №3:

$$S_{\text{T}3} = 0.7 \cdot |\dot{S}_{\text{max}3}| = 0.7 \cdot 17.87 = 12.509 \text{ МВА}.$$

До встановлення на ПС №3 приймаємо два силові трансформатори типу ТДТН-16000/110.

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результат вибору трансформаторів на інших ПС наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір трансформаторів для проєктованих ПС 110 кВ

ПС	$\dot{S}_{\max}$, МВА	S_T , МВА	Тип трансформаторів
1	9-6.52i	11.111	2×ТДН-10000/110
2	6-4.344i	7.407	2×ТМН-6300/110
3	15-9.71i	17.87	2×ТДТН-16000/110
4	18-11.99i	21.627	2×ТДТН-16000/110
5	27-17.46i	32.155	2×ТДТН-25000/110
6	16-10.54i	19.16	2×ТДТН-16000/110

3.2 Знаходження потокорозподілу за L-схемою мережі

Виконаємо розрахунок потокорозподілу потужності в режимі максимальних навантажень за L-схемою електричної мережі.

Рознесемо навантаження пункту 4 у пункти 0 та 3:

$$S_0 = S_{\max 4} \frac{L_{34}}{L_{04} + L_{34}} = (18-11.989i) \frac{32}{32 + 28} = 9.6-6.394i \text{ МВА};$$

$$S_3 = S_{\max 3} + S_{\max 4} \frac{L_{04}}{L_{04} + L_{34}} = 15-9.713i + (18-11.989i) \frac{28}{32 + 28} = 23.4-15.308i \text{ МВА}.$$

Отримаємо еквіваленту ділянку 0-3 з довжиною:

$$L'_{03} = L_{04} + L_{34} = 32 + 28 = 60 \text{ км}$$

Знайдемо довжину ділянки 0-3, що еквівалентна паралельному з'єднанню двох ділянок 0-3:

$$L_{03e} = ((L_{03})^{-1} + (L'_{03})^{-1})^{-1} = ((32)^{-1} + (60)^{-1})^{-1} = 20.87 \text{ км}$$

Рознесемо навантаження пункту 2 у пункти 1 та 3:

$$S_1 = S_{\max 1} + S_{\max 2} \frac{L_{23}}{L_{12} + L_{23}} = 9-6.516i + (6-4.344i) \frac{28}{28 + 14} = 13-9.412i \text{ МВА};$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$S_3 = S_3 + S_{\max 2} \frac{L_{12}}{L_{23} + L_{12}} = 23.4 - 15.308i + (6 - 4.344i) \frac{14}{28 + 14} = 25.4 - 16.756i \text{ МВА.}$$

Отримаємо еквіваленту ділянку 1-3 з довжиною:

$$L'_{13} = L_{23} + L_{12} = 28 + 14 = 42 \text{ км}$$

Рознесемо навантаження пункту 3 у пункти 1 та 0:

$$S_1 = S_1 + S_3 \frac{L_{03e}}{L_{03e} + L_{13}} = 13 - 9.412i + (25.4 - 16.756i) \frac{20.87}{20.87 + 42} = 21.432 - 14.974i \text{ МВА;}$$

$$S_0 = S_0 + S_3 \frac{L_{13}}{L_{03e} + L_{13}} = 9.6 - 6.394i + (25.4 - 16.756i) \frac{42}{20.87 + 42} = 26.568 - 17.588i \text{ МВА.}$$

Отримаємо еквіваленту ділянку 0-1 з довжиною:

$$L'_{01} = L_{03e} + L_{13} = 20.87 + 42 = 62.87 \text{ км}$$

Знайдемо довжину ділянки 0-3, що еквівалентна паралельному з'єднанню двох ділянок 0-3:

$$L_{01e} = ((L_{01})^{-1} + (L'_{01})^{-1})^{-1} = ((62.87)^{-1} + (20)^{-1})^{-1} = 15.173 \text{ км}$$

Отримали контур 0-1-6-5-0. Розрахуємо його як лінію з двостороннім живленням.

Сумарна довжина контуру складає:

$$L_c = L_{01e} + L_{16} + L_{56} + L_{05} = 98.173 \text{ км}$$

Знайдемо потік потужності за головною ділянкою:

$$S_I = \frac{1}{L_c} (S_1 \cdot (L_{16} + L_{56} + L_{05}) + S_{\max 6} \cdot (L_{56} + L_{05}) + S_{\max 5} \cdot L_{05}) = \frac{1}{98.2} ((21.4 - 15i) \cdot (20 + 41 + 22) + (16 - 10.5i) \cdot (22 + 41) + (27 - 17.5i) \cdot 22) = 34.437 - 23.338i \text{ МВА}$$

Інші потоки потужності знайдемо, використовуючи I закон Кірхгофа:

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{01e} = S_I = 34.437-23.338i \text{ МВА};$$

$$S_{16} = S_{01e} - S_1 = (34.437-23.338i) - (21.432-14.974i) = 13.006-8.364i \text{ МВА};$$

$$S_{56} = -S_{16} + S_{\max 6} = -(13.006-8.364i) + (16-10.541i) = 2.994-2.178i \text{ МВА};$$

$$S_{05} = -S_{56} + S_{\max 5} = -(2.994-2.178i) + (27-17.463i) = 24.006-15.285i \text{ МВА}.$$

Знайдемо потоки потужностей за паралельними ділянками 0-1:

$$S_{01} = S_{01e} \frac{L_{01}}{L_{01} + L_{01}} = (34.437-23.338i) \frac{62.87}{62.87 + 20} = 26.126-17.705i \text{ МВА};$$

$$S'_{01} = S_{01e} \frac{L_{01}}{L_{01} + L_{01}} = (34.437-23.338i) \frac{20}{20 + 62.87} = 8.311-5.632i \text{ МВА}.$$

Повертаємо навантаження 3 пункту:

$$S_{03e} = S'_{01} + S_3 \frac{L_{13}}{L_{13} + L_{03e}} = 8.311-5.632i + (25.4-16.756i) \frac{42}{42 + 20.87} = 25.28-16.826i \text{ МВА};$$

$$S_{13} = S'_{01} - S_3 \frac{L_{03e}}{L_{13} + L_{03e}} = 8.311-5.632i + (25.4-16.756i) \frac{20.87}{42 + 20.87} = -0.12-0.07i \text{ МВА}.$$

Знайдемо потоки потужностей за паралельними ділянками 0-3:

$$S_{03} = S_{03e} \frac{L_{03}}{L_{03} + L_{03}} = (25.28-16.826i) \frac{60}{60 + 32} = 16.487-10.974i \text{ МВА};$$

$$S'_{03} = S_{03e} \frac{L_{03}}{L_{03} + L_{03}} = (25.28-16.826i) \frac{32}{60 + 32} = 8.793-5.853i \text{ МВА}.$$

Повертаємо навантаження 2 пункту:

$$S_{12} = S_{13} + S_{\max 2} \frac{L_{23}}{L_{12} + L_{23}} = -0.12-0.07i + (6-4.344i) \frac{28}{14 + 28} = 3.88-2.966i \text{ МВА};$$

$$S_{23} = S_{13} - S_{\max 2} \frac{L_{12}}{L_{23} + L_{12}} = -0.12-0.07i - (6-4.344i) \frac{14}{14 + 28} = -2.12+1.378i \text{ МВА}.$$

Повертаємо навантаження 4 пункту:

$$S_{04} = S'_{03} + S_{\max 4} \frac{L_{34}}{L_{04} + L_{34}} = 8.793-5.853i + (18-11.989i) \frac{32}{32 + 28} = 18.393-12.247i \text{ МВА};$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{23} = -S'_{03} + S_{\max 4} \frac{L_{04}}{L_{04} + L_{34}} = -(8.793-5.853i) + (18-11.989i) \frac{28}{32+28} = -0.393+0.258i \text{ МВА.}$$

Результати розрахунку потоків потужності нанесемо на схему (див.рис.3.1).

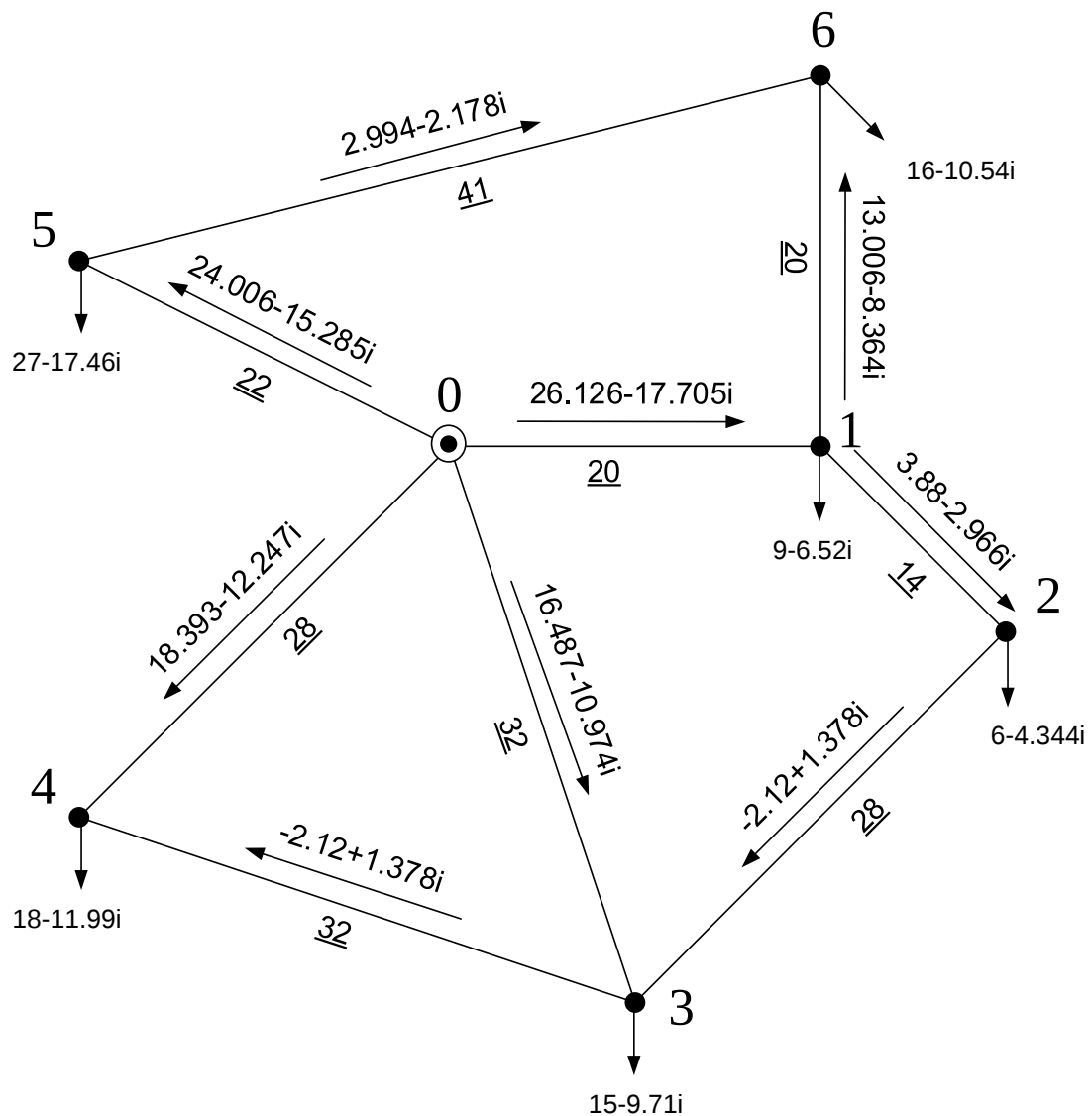


Рисунок 3.1 – Результати розрахунку L-схеми

3.3 Вибір перерізу проводів для ПЛ-110 кВ

Для знаходження перерізу проводів ділянок розподільчої мережі 110 кВ використаємо апроксимовану функцію дисконтованих витрат розраховану в

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попередніх розділах. Згідно знайденого поточкорозподілу за L-схемою мережі визначаємо переріз ділянок РЕМ. Результати вибору проводів наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Обрані перерізи проводів ЛЕП 110 кВ

Ділянка	Навантаження, МВА	Струмове навантаження, А	Марка проводу
0-1	31.56	165.648	АС-240/32
0-3	19.805	103.949	АС-240/32
0-4	22.097	115.98	АС-240/32
0-5	28.459	149.371	АС-240/32
1-2	4.884	25.632	АС-70/11
2-3	2.529	13.272	АС-70/11
3-4	0.47	2.466	АС-70/11
5-6	3.702	19.433	АС-70/11
1-6	15.463	81.159	АС-120/19

Виконаємо перевірку вибраних економічних перерізів на відповідність технічним обмеженням в експлуатаційних післяаварійних режимах роботи електричної мережі.

Перша група післяаварійних режимів.

Під час експлуатації районних електричних мереж трапляються випадку аварійного або планового (для технічного обслуговування або ремонту) одного силового трансформатора на підстанції. В результаті даного відключення можливе не допустиме зменшення рівня напруги на шинах НН понижуючої підстанції.

Для кожної ПС 110 кВ розглянемо випадок відключення одного силового трансформатора.

Визначаємо регульовальний діапазон силових трансформаторів. На ПС №3 плануються до встановлення два трансформатора типу ТДТН-16000/110. Розраховуємо значення фіктивної напруги КЗ обмоток:

$$U_{\text{кн}3} = 0.5 \cdot (U_{\text{к(в-н)3}} + U_{\text{к(с-н)3}} - U_{\text{к(в-с)3}}) = 0.5 \cdot (17 + 6 - 10.5) = 6.25 \text{ \%};$$

$$U_{\text{кс}3} = 0.5 \cdot (U_{\text{к(в-с)3}} + U_{\text{к(с-н)3}} - U_{\text{к(в-н)3}}) = 0.5 \cdot (10.5 + 6 - 17) = -0.25 \text{ \%} \rightarrow U_{\text{кс}3} = 0;$$

$$U_{\text{кв}3} = 0.5 \cdot (U_{\text{к(в-с)3}} + U_{\text{к(в-н)3}} - U_{\text{к(с-н)3}}) = 0.5 \cdot (10.5 + 17 - 6) = 10.75 \text{ \%}.$$

Втрати напруги в обмотках силового трансформатора на ПС №3 складуть:

$$\Delta U_{\text{тв}3} = \frac{P_3}{n} \cdot \frac{\Delta P_{\text{к}33} \cdot U_{\text{тв}3}}{2 \cdot S_{\text{н}3}^2} - \frac{Q_3}{n} \cdot \frac{U_{\text{тв}3} \cdot U_{\text{кв}3}}{100 \cdot S_{\text{н}3}} = \frac{15}{1} \cdot \frac{100 \cdot 115 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 16^2} - \frac{-9.713}{1} \cdot \frac{115 \cdot 10.75}{100 \cdot 16} = 7.842 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{\text{тс}3} = \frac{P_{\text{сн}3}}{n} \cdot \frac{\Delta P_{\text{к}33} \cdot U_{\text{тв}3}}{2 \cdot S_{\text{н}3}^2} - \frac{Q_{\text{сн}3}}{n} \cdot \frac{U_{\text{тв}3} \cdot U_{\text{кс}3}}{100 \cdot S_{\text{н}3}} = \frac{11}{1} \cdot \frac{100 \cdot 115 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 16^2} - \frac{-6.817}{1} \cdot \frac{115 \cdot 0}{100 \cdot 16} = 0.247 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{\text{тн}3} = \frac{P_{\text{нн}3}}{n} \cdot \frac{\Delta P_{\text{к}33} \cdot U_{\text{тв}3}}{2 \cdot S_{\text{н}3}^2} - \frac{Q_{\text{нн}3}}{n} \cdot \frac{U_{\text{тв}3} \cdot U_{\text{кн}3}}{100 \cdot S_{\text{н}3}} = \frac{4}{1} \cdot \frac{100 \cdot 115 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 16^2} - \frac{-2.896}{1} \cdot \frac{115 \cdot 6.25}{100 \cdot 16} = 1.391 \text{ кВ}.$$

Визначаємо регулювальний діапазон силового трансформатора встановленого на ПС №3:

$$U_{\text{min}3} = \frac{U_{\text{ндж}} \cdot U_{\text{тв}3}}{U_{\text{тн}3}} \cdot (1 - \omega_{\text{в}3}) + \Delta U_{\text{тв}3} + \Delta U_{\text{тн}3} = \frac{10.5 \cdot 115}{11} (1 - 0.16) + 9.75 + 2.09 = 104.02 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{max}3} = \frac{U_{\text{ндж}} \cdot U_{\text{тв}3}}{U_{\text{тн}3}} \cdot (1 + \omega_{\text{в}3}) + \Delta U_{\text{тв}3} + \Delta U_{\text{тн}3} = \frac{10.5 \cdot 115}{11} (1 + 0.16) + 9.75 + 2.09 = 139.19 \text{ кВ}.$$

На ПС №1 плануються до встановлення два трансформатора типу ТДН-10000/110. Втрати напруги в даному трансформаторі складуть:

$$\Delta U_{\text{т1}} = \frac{U_{\text{тв1}}}{n \cdot S_{\text{н1}}} \cdot \left(P_1 \cdot \frac{\Delta P_{\text{к}11} \cdot 10^{-3}}{S_{\text{н1}}} - Q_1 \cdot \frac{U_{\text{к1}}}{100} \right) = \frac{115}{10} \cdot \left(9 \cdot \frac{60 \cdot 10^{-3}}{10} - (-6.516) \cdot \frac{10.5}{100} \right) = 8.489 \text{ кВ}.$$

Визначаємо регулювальний діапазон силового трансформатора встановленого на ПС №1:

$$U_{\text{min1}} = \frac{U_{\text{ндж}} \cdot U_{\text{тв1}}}{U_{\text{тн1}}} \cdot (1 - \omega_{\text{в1}}) + \Delta U_{\text{т1}} = \frac{10.5 \cdot 115}{11} (1 - 0.16) + 8.489 = 100.676 \text{ кВ};$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{\max 1} = \frac{U_{\text{ндж}} \cdot U_{\text{твл}}}{U_{\text{тн1}}} \cdot (1 + \omega_{\text{вл}}) + \Delta U_{\text{т1}} = \frac{10.5 \cdot 115}{11} (1 + 0.16) + 8.489 = 135.847 \text{ кВ.}$$

Для інших силових трансформаторів розрахунки аналогічні. Результати приведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Регульовальний діапазон напруги силових трансформаторів

№ пункту	Тип трансформатора	Обмотка	$U_{\text{ном}}$, кВ	Потік потужності, МВА	ΔU , кВ	U_{min} , кВ	U_{max} , кВ
1	ТДН-10000/110	ВН	115	9-6.516i	8.49	100.68	135.85
2	ТМН-6300/110	ВН	115	6-4.344i	9.09	101.28	136.45
3	ТДТН-16000/110	ВН	115	15-9.713i	7.84	101.42	136.59
		СН	34.5	11-6.817i	0.25		
		НН	11	4-2.896i	1.39		
4	ТДТН-16000/110	ВН	115	18-11.989i	9.67	104.64	139.81
		СН	34.5	10-6.197i	0.23		
		НН	11	8-5.792i	2.78		
5	ТДТН-25000/110	ВН	115	27-17.463i	8.98	102.83	138.01
		СН	34.5	20-12.395i	0.26		
		НН	11	7-5.068i	1.66		
6	ТДТН-16000/110	ВН	115	16-10.541i	8.5	102.78	137.95
		СН	34.5	10-6.197i	0.23		
		НН	11	6-4.344i	2.09		

Визначимо орієнтовані значення рівня напруги у вузлах розрахункової мережі. Погонний реактивний опір для всіх ділянок мережі приймаємо таким, що рівний 0,4 Ом/км.

Під час розрахунку рівня напруги в пунктах мережі використовуємо дані про потекорозподіл потужності за L-схемою в режимі максимальних навантажень.

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо величину рівня напруги в пункті 5:

$$U_5 = \sqrt{U_0^2 - 2 \cdot (P_{0-5} \cdot r_{05} - Q_{0-5} \cdot x_{05})} = \sqrt{115^2 - 2 \cdot (24.01 \cdot 2.64 - (-15.29) \cdot 8.8)} = 113.27 \text{ кВ.}$$

Аналогічно виконуються розрахунки рівня напруги в інших пунктах районної електричної мережі. Результати розрахунку наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Перша група післяаварійних режимів

№ пункту	Регулювальний діапазон		Рівень напруги, кВ
	$U_{\min}$, кВ	$U_{\max}$, кВ	
1	100.68	135.85	113.209
2	101.28	136.45	112.859
3	101.42	136.59	112.635
4	104.64	139.81	113.257
5	102.83	138.01	113.266
6	102.78	137.95	112.052

Отже, величина рівня напруги в пунктах мережі знайдена за L-схемою знаходиться в допустимих межах.

Друга група післяаварійних режимів.

Перевірку виконання технічних обмежень здійснимо для найбільш важкого післяаварійного режиму, а саме відключення найбільш завантаженої ділянки 0-1. Виконаємо розрахунок пототокорозподілу потужності за L-схемою мережі. Результати розрахунків наведені на рис. 3.4.

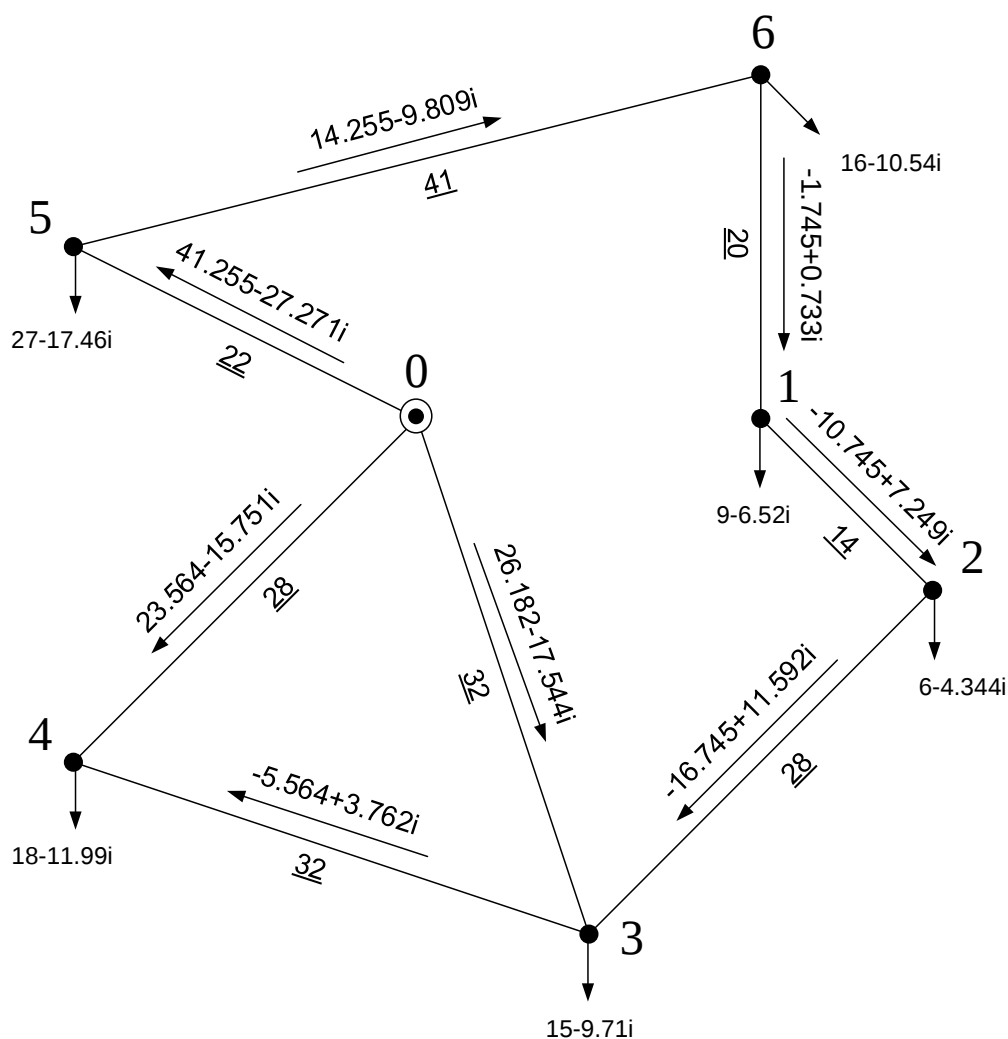


Рисунок. 3.4 – Післяаварійний режим за L-схемою

Визначаємо струмові навантаження повітряних ліній. Наприклад, для ПЛ 0-4 струмове навантаження складе:

$$I_{0-4} = \frac{\sqrt{P_{0-4}^2 + Q_{0-4}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{23.564^2 + (-15.751)^2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 149.141 \text{ A.}$$

Аналогічно виконуються розрахунки струмових навантажень для всіх ПЛ. Результати розрахунку наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Перевірка перерізу проводів за струмовим навантаженням

ПЛ	Марка та переріз проводу, мм ²	$I_{\text{доп}}, \text{ A}$	$I_i, \text{ A}$
0-5	АС-240	610	264.084
0-3	АС-240	610	157.903
0-4	АС-240	610	149.141
1-2	АС-70	265	64.097
2-3	АС-70	265	103.273
3-4	АС-70	265	38.431
5-6	АС-70	265	98.237
1-6	АС-120	390	9.89

Згідно даних табл. 3.5 перевищення тривало-допустимого струму для усіх ПЛ в післяаварійному режимі не спостерігається.

Перевіримо допустимість відхилення рівня напруги на вводі силових трансформаторів. Перевірку здійснюємо для ПС №6, яка в післяаварійному режимі характеризується найменшим значенням напруги. Аналогічно до попередніх розрахунків визначимо регульовальний діапазон силових трансформаторів, які встановлені на ПС №6:

$$\Delta U_{\text{ТВ6}} = \frac{P_6}{n} \cdot \frac{\Delta P_{\text{кз6}} \cdot U_{\text{ТВ6}}}{2 \cdot S_{\text{н6}}^2} - \frac{Q_6}{n} \cdot \frac{U_{\text{ТВ6}} \cdot U_{\text{кв6}}}{100 \cdot S_{\text{н6}}} = \frac{16}{2} \cdot \frac{100 \cdot 115 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 16^2} - \frac{-10.541i}{2} \cdot \frac{115 \cdot 10,75}{100 \cdot 16} = 4.25 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{\text{ТС6}} = \frac{P_{\text{сн6}}}{n} \cdot \frac{\Delta P_{\text{кз6}} \cdot U_{\text{ТВ6}}}{2 \cdot S_{\text{н6}}^2} - \frac{Q_{\text{сн6}}}{n} \cdot \frac{U_{\text{ТВ6}} \cdot U_{\text{кв6}}}{100 \cdot S_{\text{н6}}} = \frac{10}{2} \cdot \frac{100 \cdot 115 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 16^2} - \frac{-6.197}{2} \cdot \frac{115 \cdot 0}{100 \cdot 16} = 0.112 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{\text{ТН6}} = \frac{P_{\text{нн6}}}{n} \cdot \frac{\Delta P_{\text{кз6}} \cdot U_{\text{ТВ6}}}{2 \cdot S_{\text{н6}}^2} - \frac{Q_{\text{нн6}}}{n} \cdot \frac{U_{\text{ТВ6}} \cdot U_{\text{кн6}}}{100 \cdot S_{\text{н6}}} = \frac{6}{2} \cdot \frac{100 \cdot 115 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 16^2} - \frac{-4.344}{1} \cdot \frac{115 \cdot 6,25}{100 \cdot 16} = 1.043 \text{ кВ}.$$

$$U_{\text{min6}} = \frac{U_{\text{ндж}} \cdot U_{\text{ТВ6}}}{U_{\text{ТН6}}} \cdot (1 - \omega_{\text{в6}}) + \Delta U_{\text{ТВ6}} + \Delta U_{\text{ТН5}} = \frac{10.5 \cdot 115}{11} (1 - 0.16) + 4.252 + 1.043 = 97.48 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{max6}} = \frac{U_{\text{ндж}} \cdot U_{\text{ТВ6}}}{U_{\text{ТН6}}} \cdot (1 + \omega_{\text{в6}}) + \Delta U_{\text{ТВ6}} + \Delta U_{\text{ТН6}} = \frac{10.5 \cdot 115}{11} (1 + 0.16) + 4.25 + 1.04 = 132.65 \text{ кВ}.$$

Розрахуємо величину рівня напруги в пункті 6:

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$U_6 = \sqrt{U_0^2 - 2 \cdot (P_{0-5} \cdot r_{05} - Q_{0-5} \cdot x_{05} + P_{5-6} \cdot r_{56} - Q_{5-6} \cdot x_{56})} = \\ = \sqrt{115^2 - 2 \cdot (41.26 \cdot 2.64 - (-27.27) \cdot 8.8 + 14.26 \cdot 17.3 - (-9.8) \cdot 16.4)} = 108.2 \text{ кВ.}$$

Рівень напруги в пункті 6 знаходиться в допустимих межах.

Отже, обрані економічні перерізи проводів усіх ПЛ відповідають технічним обмеженням.

3.4 Розрахунок параметрів Z-схеми мережі

Виконаємо розрахунок параметрів схем заміщення повітряних ліній електропередачі та силових трансформаторів.

Під час будівництва повітряних ліній планується використання проводів перерізом 70 та 240 мм². Знаходимо погонний реактивний опір даних проводів:

$$x_{(70)0} = 0.145 \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot D_{\text{cp}}}{d_{70}}\right) + 0.016 \cdot \mu = 0.145 \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot 5000}{11.4}\right) + 0.016 \cdot 1 = 0.443 \text{ Ом/км;}$$

$$x_{(120)0} = 0.145 \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot D_{\text{cp}}}{d_{120}}\right) + 0.016 \cdot \mu = 0.145 \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot 5000}{15.2}\right) + 0.016 = 0.425 \text{ Ом/км;}$$

$$x_{(240)0} = 0.145 \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot D_{\text{cp}}}{d_{240}}\right) + 0.016 \cdot \mu = 0.145 \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot 5000}{21.6}\right) + 0.016 = 0.403 \text{ Ом/км.}$$

Знаходимо погонну ємнісну реактивну провідність даних проводів:

$$b_{(70)0} = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{2 \cdot D_{\text{cp}}}{d_{70}}\right)} = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{2 \cdot 5000}{11.4}\right)} = 2.58 \cdot 10^{-6} \text{ СМ/км;}$$

$$b_{(120)0} = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{2 \cdot D_{\text{cp}}}{d_{120}}\right)} = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{2 \cdot 5000}{15.2}\right)} = 2.69 \cdot 10^{-6} \text{ СМ/км;}$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b_{(240)0} = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{2 \cdot D_{\text{сп}}}{d_{240}}\right)} = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{2 \cdot 5000}{21.6}\right)} = 2.84 \cdot 10^{-6} \text{ см/км.}$$

Для повітряної лінії 0-5 активний та реактивний опір складе:

$$r_{0-5} = r_{(240)0} \cdot l_{0-5} = 0.118 \cdot 22 = 2.64 \text{ Ом;}$$

$$x_{0-5} = x_{(240)0} \cdot l_{0-5} = 0,403 \cdot 22 = 8.8 \text{ Ом.}$$

Ємнісна провідність повітряної лінії 0-5 складе:

$$b_{0-5} = b_{(240)0} \cdot l_{0-5} = 2.84 \cdot 10^{-6} \cdot 22 = 62.56 \cdot 10^{-6} \text{ см.}$$

Величину активної провідності всіх повітряних ліній мережі 110 кВ приймаємо такими, що дорівнюють нулю.

Розрахунок параметрів схем заміщення для всіх повітряних ліній виконується аналогічно. Результати розрахунків наведені в табл. 4.6.

Таблиця 3.6 – Параметри схем заміщення повітряних ліній

Ділянка	Довжина, км	Перетин, мм ²	$Z_{\text{ПЛ}}, \text{ Ом}$	$Y_{\text{ПЛ}}, \text{ Ом}$
0-1	20	240	2.4+8i	56.87i · 10 ⁻⁶
0-3	32	240	7.808+12.8i	91i · 10 ⁻⁶
0-4	28	240	3.36+11.2i	75.31i · 10 ⁻⁶
0-5	22	240	2.64+8.8i	62.56i · 10 ⁻⁶
1-2	14	70	5.908+5.6i	36.06i · 10 ⁻⁶
2-3	28	70	11.816+11.2i	72.11i · 10 ⁻⁶
3-4	32	70	13.504+12.8i	82.42i · 10 ⁻⁶
5-6	41	70	17.302+16.4i	105.6i · 10 ⁻⁶
1-6	20	120	4.88+8i	53.79i · 10 ⁻⁶

Розрахунок параметрів схем заміщення силових трансформаторів наведемо для ПС №1 та №3.

На ПС №1 планується встановлення двох трансформаторів типу ТДН-10000/110, а на ПС №3 – ТДТН-16000/110. Знаходимо активний опір обмоток даних трансформаторів:

$$r_{B1} = r_{c1} = r_{H1} = \frac{\Delta P_{K31} \cdot U_{OB1}^2 \cdot 10^3}{n \cdot S_{H1}^2} = \frac{60 \cdot 115^2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10000^2} = 3.97 \text{ Ом};$$

$$r_{B3} = r_{c3} = r_{H3} = \frac{\Delta P_{K33} \cdot U_{OB3}^2 \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot S_{H3}^2} = \frac{100 \cdot 115^2 \cdot 10^3}{2 \cdot 2 \cdot 16000^2} = 1.29 \text{ Ом}.$$

Знаходимо реактивний опір обмоток блоку трансформаторів встановлених на ПС №1:

$$X_{T1} = \frac{10 \cdot U_{K1} \cdot U_{OB1}^2}{n \cdot S_{H1}} = \frac{10 \cdot 10.5 \cdot 115^2}{2 \cdot 10000} = 69.43 \text{ Ом}.$$

А реактивний опір обмоток блоку трансформаторів на ПС №3 складе:

$$X_{TB3} = \frac{10 \cdot U_{KB3} \cdot U_{OB3}^2}{n \cdot S_{H3}} = \frac{10 \cdot 10.75 \cdot 115^2}{2 \cdot 16000} = 44.43 \text{ Ом};$$

$$X_{TC3} = \frac{10 \cdot U_{KC3} \cdot U_{OB3}^2}{n \cdot S_{H3}} = \frac{10 \cdot 0 \cdot 115^2}{2 \cdot 16000} = 0 \text{ Ом};$$

$$X_{TH3} = \frac{10 \cdot U_{KH3} \cdot U_{OB3}^2}{n \cdot S_{H3}} = \frac{10 \cdot 6.25 \cdot 115^2}{2 \cdot 16000} = 25.83 \text{ Ом}.$$

Розрахуємо активну і реактивну провідність блоків трансформаторів на ПС №1 та ПС №3:

$$g_{T1} = \frac{n \cdot \Delta P_{XX2} \cdot 10^{-3}}{U_{OB2}^2} = \frac{2 \cdot 14 \cdot 10^{-3}}{115^2} = 2.12 \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b_{T1} = -\frac{n \cdot I_{xx1} \cdot S_{H1} \cdot 10^{-5}}{U_{Obl}^2} = -\frac{2 \cdot 0.7 \cdot 10000 \cdot 10^{-5}}{115^2} = -10.6 \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

$$g_{T3} = \frac{n \cdot \Delta P_{xx3} \cdot 10^{-3}}{U_{Obl}^2} = \frac{2 \cdot 23 \cdot 10^{-3}}{115^2} = 3.48 \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

$$b_{T3} = -\frac{n \cdot I_{xx3} \cdot S_{H3} \cdot 10^{-5}}{U_{Obl}^2} = -\frac{2 \cdot 1.0 \cdot 16000 \cdot 10^{-5}}{115^2} = -24.2 \cdot 10^{-6} \text{ См}.$$

Знайдемо комплексну провідність блоків трансформаторів:

$$Y_1 = g_{T1} + i \cdot b_{T1} = (2.12 - 10.6i) \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

$$Y_3 = g_{T3} + i \cdot b_{T3} = (3.48 - 24.2i) \cdot 10^{-6} \text{ См}.$$

Розрахунки для всіх блоків силових трансформаторів виконуються аналогічно. Результати розрахунку наведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Параметри схем заміщення блоків силових трансформаторів

ПС	Тип трансформаторів	Опір, Ом					Провідність, См
		r_T	x_T	x_B	x_C	x_H	
1	ТДН-10000/110	3.97	69.43	-	-	-	$(2.12 - 10.6i) \cdot 10^{-6}$
2	ТДН-6300/110	7.33	220.4	-	-	-	$(1.74 - 6.669i) \cdot 10^{-6}$
3	ТДТН-16000/110	1.29	-	44.43	0	25.83	$(3.48 - 24.2i) \cdot 10^{-6}$
4	ТДТН-16000/110	1.29	-	44.43	0	25.83	$(3.48 - 24.2i) \cdot 10^{-6}$
5	ТДТН-25000/110	1.48	-	56.87	0	35.71	$(4.69 - 26.47i) \cdot 10^{-6}$
6	ТДТН-16000/110	1.29	-	44.43	0	25.83	$(3.48 - 24.2i) \cdot 10^{-6}$

3.5 Розрахунок приведених навантажень та еквівалентних провідностей

Розрахунок приведених навантажень наведемо для ПС №1 та ПС №3.

Визначимо коефіцієнт завантаження трансформаторів, які встановлені на ПС №1:

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\beta_1 = \frac{S_1 \cdot 10^3}{n \cdot S_{H1}} = \frac{\sqrt{9^2 + (-6.516)^2} \cdot 10^3}{2 \cdot 10000} = 0.556.$$

Коефіцієнт завантаження силових трансформаторів на ПС №3 складе:

$$\beta_{BH3} = \frac{S_{BH3} \cdot 10^3}{n \cdot S_{H3}} = \frac{\sqrt{15^2 + (-9.713)^2} \cdot 10^3}{2 \cdot 16000} = 0.558;$$

$$\beta_{CH3} = \frac{S_{CH3} \cdot 10^3}{n \cdot S_{H3}} = \frac{\sqrt{11^2 + (-6.817)^2} \cdot 10^3}{2 \cdot 16000} = 0.404;$$

$$\beta_{HH3} = \frac{S_{HH3} \cdot 10^3}{n \cdot S_{H3}} = \frac{\sqrt{4^2 + (-2.896)^2} \cdot 10^3}{2 \cdot 16000} = 0.154.$$

Розраховуємо втрати потужності в блоку силових трансформаторів, які встановлені на ПС №1:

$$\Delta P_{tz1} = n \cdot \Delta P_{K3} \cdot \beta_1^2 = 2 \cdot 0.556^2 \cdot 60 = 37.04 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{tz1} = -n \cdot S_{H1} \cdot \beta_1^2 \cdot U_{K1} \cdot 10^{-2} = -2 \cdot 10000 \cdot 0.556^2 \cdot 10.5 \cdot 10^{-2} = -648.156 \text{ кВар}.$$

Втрати потужності в блоку силових трансформаторів встановлених на ПС №3 складуть:

$$\Delta P_{tz3} = \frac{n \cdot \Delta P_{K3}}{2} \cdot (\beta_{BH3}^2 + \beta_{CH3}^2 + \beta_{HH3}^2) = \frac{2 \cdot 100}{2} \cdot (0.15^2 + 0.4^2 + 0.558^2) = 49.84 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{tz3} = -n \cdot S_{H3} \cdot (\beta_{BH3}^2 \cdot U_{KB3} + \beta_{CH3}^2 \cdot U_{KC3} + \beta_{HH3}^2 \cdot U_{KH3}) \cdot 10 = -2 \cdot 16000 \cdot (0.15^2 \cdot 10.75 + 0.4^2 \cdot 0 + 0.558^2 \cdot 6.25) \cdot 10 = -1118.72 \text{ кВар}.$$

Отже, значення приведенного навантаження на ПС №1 та ПС №3 складе:

$$\dot{S}_{np1} = \dot{S}_{зд1} + \Delta \dot{S}_{tz1} \cdot 10^{-3} = 9 - 6.516i + (37.04 - 648.16i) \cdot 10^{-3} = 9.04 - 7.16i \text{ МВА};$$

$$\dot{S}_{np3} = \dot{S}_{зд3} + \Delta \dot{S}_{tz3} \cdot 10^{-3} = 15 - 9.71i + (49.839 - 1118.72i) \cdot 10^{-3} = 15.05 - 10.832i \text{ МВА}.$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок приведених навантажень інших підстанцій виконується аналогічно. Результати розрахунку наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Приведенні навантаження ПС

ПС	$\dot{S}_{\text{зад}}, \text{ МВА}$	$\Delta \dot{S}_{\text{tz}}, \text{ МВА}$	$\dot{S}_{\text{пр}}, \text{ МВА}$
1	9-6.52i	0.04-0.65i	9.037-7.164i
2	6-4.344i	0.03-0.45i	6.03-4.801i
3	15-9.71i	0.05-1.12i	15.05-10.832i
4	18-11.99i	0.69-1.76i	18.069-13.751i
5	27-17.46i	0.09-2.32i	27.093-19.786i
6	16-10.54i	0.05-1.34i	16.055-11.883i

Знайдемо еквівалентні провідності пунктів мережі. Приклад розрахунку наведемо для пункту 1:

$$Y_1 = 0.5 \cdot (Y_{0-1} + Y_{1-2} + Y_{1-6}) + Y_{T1} = 0.5 \cdot (56.87i + 36.06i + 53.79i) \cdot 10^{-6} + (2.1 - 62.76i) \cdot 10^{-6} = (2.12 + 62.763i) \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

Результат розрахунку для решти пунктів мережі наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Результат розрахунку еквівалентних провідностей

№ пункту	$Y_i, \text{ См}$
0	$142.8i \cdot 10^{-6}$
1	$(2.12 + 62.76i) \cdot 10^{-6}$
2	$(1.74 + 47.416i) \cdot 10^{-6}$
3	$(3.48 + 98.565i) \cdot 10^{-6}$
4	$(3.48 + 54.664i) \cdot 10^{-6}$
5	$(6.5 + 47.57i) \cdot 10^{-6}$
6	$(3.48 + 55.495i) \cdot 10^{-6}$

3.6 Розрахунок режиму максимальних навантажень

Розрахунки режимів роботи районних мереж проводять ітераційними методами. Розрахувати сталий режим роботи електричної мережі означає визначити потоки потужностей по ділянках мережі, напруги в усіх пунктах схеми та сумарні втрати потужностей в Z і Y-елементах схеми заміщення.

Розрахунок усіх режимів будемо вести методом вузлових потенціалів із застосуванням методу Зейделя.

В якості підготовчого етапу знайдемо взаємні провідності:

$$\underline{y}_{0-1} = \frac{1}{z_{0-1}} = \frac{1}{2.4+8i} = 0.034 - 0.115i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{0-3} = \frac{1}{z_{0-3}} = \frac{1}{7.808+12.8i} = 0.035 - 0.057i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{0-4} = \frac{1}{z_{0-4}} = \frac{1}{3.36+11.2i} = 0.025 - 0.082i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{0-5} = \frac{1}{z_{0-5}} = \frac{1}{2.64+8.8i} = 0.031 - 0.104i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{1-2} = \frac{1}{z_{1-2}} = \frac{1}{5.908+5.6i} = 0.089 - 0.085i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{2-3} = \frac{1}{z_{2-3}} = \frac{1}{11.816+11.2i} = 0.045 - 0.042i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{3-4} = \frac{1}{z_{3-4}} = \frac{1}{13.504+12.8i} = 0.039 - 0.037i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{5-6} = \frac{1}{z_{5-6}} = \frac{1}{17.302+16.4i} = 0.03 - 0.029i \text{ См}.$$

$$\underline{y}_{5-6} = \frac{1}{z_{5-6}} = \frac{1}{17.302+16.4i} = 0.03 - 0.029i \text{ См}.$$

Виконуємо розрахунок власних провідностей:

$$\begin{aligned} \underline{y}_{11} &= -(\underline{y}_{0-1} + \underline{y}_{1-2} + \underline{y}_{1-6}) = -(0.03 - 0.115i + 0.09 - 0.085i + 0.056 - 0.09i) = \\ &= -0.179 + 0.29i \text{ См}; \end{aligned}$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\underline{y}_{22} = -(\underline{y}_{1-2} + \underline{y}_{2-3}) = -(0.089 - 0.085i + 0.045 - 0.042i) = -0.134 + 0.127i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{33} = -(\underline{y}_{3-4} + \underline{y}_{2-3} + \underline{y}_{0-3}) = -(0.039 - 0.037i + 0.045 - 0.042i + 0.035 - 0.057i) = -0.118 + 0.136i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{44} = -(\underline{y}_{0-4} + \underline{y}_{3-4}) = -(0.025 - 0.082i + 0.039 - 0.037i) = -0.064 + 0.119i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{55} = -(\underline{y}_{5-6} + \underline{y}_{0-5}) = -(0.03 - 0.03i + 0.03 - 0.1i) = -0.06 + 0.13i \text{ См};$$

$$\underline{y}_{66} = -(\underline{y}_{5-6} + \underline{y}_{1-6}) = -(0.03 - 0.03i + 0.06 - 0.09i) = -0.09 + 0.12i \text{ См};$$

Перша ітерація.

Задамося початковими наближеннями значень рівнів напруг в пунктах та рівнем напруги в балансуєчому пункті:

$$U_0 = 115 \text{ кВ};$$

$$U_1 = 110 \text{ кВ};$$

$$U_2 = 110 \text{ кВ};$$

$$U_3 = 110 \text{ кВ};$$

$$U_4 = 110 \text{ кВ};$$

$$U_5 = 110 \text{ кВ};$$

$$U_6 = 110 \text{ кВ}.$$

Знайдемо значення рівнів напруг на першій ітерації за формулою:

$$U_i^{(n)} = \frac{1}{y_{ii}} \left(U_1^{(n)} y_{i1} + U_2^{(n)} y_{i2} + \dots + U_{i-1}^{(n)} y_{i(i-1)} + \dots + U_M^{(n-1)} y_{iM} - \frac{\dot{S}_i}{U_i^{*(n-1)}} \right)$$

$$U_1^{(1)} = \frac{1}{y_{11}} \left(U_0^{(0)} y_{01} + U_2^{(0)} y_{12} + U_6^{(0)} y_{16} - \frac{\dot{S}_{\text{np1}}}{U_1^{*(0)}} \right) = 111.406 - 0.558i;$$

$$U_2^{(1)} = \frac{1}{y_{22}} \left(U_1^{(1)} y_{12} + U_3^{(0)} y_{23} - \frac{\dot{S}_{\text{np2}}}{U_2^{*(0)}} \right) = 110.559 - 0.405i;$$

$$U_3^{(1)} = \frac{1}{y_{33}} \left(U_4^{(0)} y_{34} + U_2^{(1)} y_{23} + U_0^{(0)} y_{03} - \frac{\dot{S}_{\text{np3}}}{U_3^{*(0)}} \right) = 111.12 - 0.64i;$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_4^{(1)} = \frac{1}{y_{44}} \left(U_0^{(0)} y_{04} + U_3^{(1)} y_{34} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}4}}{U_4^{*(0)}} \right) = 112.219 - 1.368i;$$

$$U_5^{(1)} = \frac{1}{y_{55}} \left(U_0^{(0)} y_{05} + U_6^{(0)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}5}}{U_5^{*(0)}} \right) = 111.853 - 1.535i;$$

$$U_6^{(1)} = \frac{1}{y_{66}} \left(U_1^{(1)} y_{16} + U_5^{(1)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}6}}{U_6^{*(0)}} \right) = 110.413 - 1.184i.$$

Аналогічним чином знайдемо рівні напруг на 2 ітерації:

$$U_1^{(2)} = \frac{1}{y_{11}} \left(U_0^{(0)} y_{01} + U_2^{(1)} y_{12} + U_6^{(1)} y_{16} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}1}}{U_1^{*(1)}} \right) = 111.769 - 1.016i;$$

$$U_2^{(2)} = \frac{1}{y_{22}} \left(U_1^{(2)} y_{12} + U_3^{(1)} y_{23} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}2}}{U_2^{*(1)}} \right) = 111.174 - 0.922i;$$

$$U_3^{(2)} = \frac{1}{y_{33}} \left(U_4^{(1)} y_{34} + U_2^{(2)} y_{23} + U_0^{(0)} y_{03} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}3}}{U_3^{*(1)}} \right) = 112.05 - 1.13i;$$

$$U_4^{(2)} = \frac{1}{y_{44}} \left(U_0^{(0)} y_{04} + U_3^{(2)} y_{34} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}4}}{U_4^{*(1)}} \right) = 112.653 - 1.407i;$$

$$U_5^{(2)} = \frac{1}{y_{55}} \left(U_0^{(0)} y_{05} + U_6^{(1)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}5}}{U_5^{*(1)}} \right) = 112.105 - 1.764i;$$

$$U_6^{(2)} = \frac{1}{y_{66}} \left(U_1^{(2)} y_{16} + U_5^{(2)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}6}}{U_6^{*(1)}} \right) = 110.732 - 1.57i.$$

Зробимо перевірку збіжності ітераційного процесу:

$$\Delta U_1^{(2)} = \left| U_1^{(2)} - U_1^{(1)} \right| = 0.584;$$

$$\Delta U_2^{(2)} = \left| U_2^{(2)} - U_2^{(1)} \right| = 0.804;$$

$$\Delta U_3^{(2)} = \left| U_3^{(2)} - U_3^{(1)} \right| = 1.052;$$

$$\Delta U_4^{(2)} = \left| U_4^{(2)} - U_4^{(1)} \right| = 0.436;$$

$$\Delta U_5^{(2)} = \left| U_5^{(2)} - U_5^{(1)} \right| = 0.34;$$

$$\Delta U_6^{(2)} = \left| U_6^{(2)} - U_6^{(1)} \right| = 0.501.$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки різниця напруг на сусідніх ітераціях перевищує 0.01, продовжуємо ітераційний процес. Зведемо його результати до табл. 3.10:

Таблиця 3.10 – Результати розрахунку режиму напруги в схемі мережі

Ітерація	U ₁ , кВ	U ₂ , кВ	U ₃ , кВ	U ₄ , кВ	U ₅ , кВ	U ₆ , кВ	ΔU _{max} , кВ
1	111.406- 0.558i	110.559- 0.405i	111.116- 0.642i	112.219- 1.368i	111.853- 1.535i	110.413- 1.184i	2.607
2	111.769- 1.016i	111.174- 0.922i	112.047- 1.131i	112.653- 1.407i	112.105- 1.764i	110.732- 1.57i	1.052
3	112.13- 1.259i	111.727- 1.246i	112.381- 1.216i	112.795- 1.395i	112.232- 1.827i	111.021- 1.77i	0.641
...	...	...	...	...	...	...	...
10	112.911- 1.393i	112.476- 1.358i	112.723- 1.202i	112.927- 1.346i	112.927- 1.346i	111.664- 1.882i	0.014
11	112.917- 1.388i	112.482- 1.353i	112.725-1.2i	112.927- 1.344i	112.519- 1.808i	112.519- 1.808i	0.0082

Оскільки найбільша різниця між значеннями відповідних напруг на 10 та 11 ітераціях менше за 0.01, приймаємо за результат розрахунку режиму напруги значення напруг на 11-й ітерації.

Зробимо розрахунок струмового навантаження ділянок. Розрахуємо струм в режимі максимальних навантажень мережі для лінії 0-1:

$$I_{01} = \frac{U_0 - U_1}{\sqrt{3}Z_{01}} 10^3 = \frac{115 - (112.917 - 1.388i)}{\sqrt{3}(2.4 + 8i)} 10^3 = 133.251 - 110.327i \text{ A};$$

$$|I_{01}| = 172.997 \text{ A}.$$

Струмові навантаження решти ділянок схеми розраховуються аналогічно. Результати розрахунку представлені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Струмові навантаження ділянок схеми в режимі максимальних навантажень

Ділянка	Переріз F, мм ²	Струмове навантаження I, А	Тривалий допустимий струм I _{доп} , А
0-1	1*240	172.997	610
0-3	1*240	99.035	610
0-4	1*240	121.99	610
0-5	1*240	192.91	610
1-2	1*70	30.991	265
2-3	1*70	10.207	265
3-4	1*70	7.701	265
5-6	1*70	20.649	265
1-6	1*120	82.616	390

Струмові навантаження всіх ділянок схеми в режимі максимальних навантажень не перевищують тривало допустимих значень струмів для відповідних перерізів проводів, що свідчить про правильний вибір перерізів проводів ПЛ схеми районної електричної мережі.

Знайдемо поточкорозподіл по ділянках схеми, для чого перемножимо знайдені струми на середньолінійні напруги цих ділянок: дорівнюватимуть:

$$U_{01} = \frac{U_0 + U_1}{2} 10^3 = \frac{115 + (112.917 - 1.388i)}{2} 10^3 = 113.959 - 0.694i \text{ А};$$

$$U_{03} = \frac{U_0 + U_3}{2} 10^3 = \frac{115 + (112.725 - 1.2i)}{2} 10^3 = 113.964 - 0.672i \text{ А};$$

$$U_{04} = \frac{U_0 + U_4}{2} 10^3 = \frac{115 + (112.927 - 1.344i)}{2} 10^3 = 113.76 - 0.904i \text{ А};$$

$$U_{05} = \frac{U_0 + U_5}{2} 10^3 = \frac{115 + (112.519 - 1.808i)}{2} 10^3 = 113.76 - 0.904i \text{ А};$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$U_{12} = \frac{U_1 + U_2}{2} 10^3 = \frac{(112.917 - 1.388i) + (112.482 - 1.353i)}{2} 10^3 = 113.959 - 0.694i \text{ A};$$

$$U_{23} = \frac{U_2 + U_3}{2} 10^3 = \frac{(112.482 - 1.353i) + (112.725 - 1.2i)}{2} 10^3 = 113.959 - 0.694i \text{ A};$$

$$U_{34} = \frac{U_3 + U_4}{2} 10^3 = \frac{(112.725 - 1.2i) + (112.927 - 1.344i)}{2} 10^3 = 113.959 - 0.694i \text{ A};$$

$$U_{56} = \frac{U_5 + U_6}{2} 10^3 = \frac{(112.519 - 1.808i) + (111.669 - 1.878i)}{2} 10^3 = 113.959 - 0.694i \text{ A};$$

$$U_{16} = \frac{U_1 + U_6}{2} 10^3 = \frac{(112.917 - 1.388i) + (111.669 - 1.878i)}{2} 10^3 = 113.959 - 0.694i \text{ A}.$$

Отже, потужності, що протікають у ділянках схеми дорівнюють, МВА:

$$S_{01} = \overline{U_{01}} I_{01} 10^{-3} = (113.96 - 0.7i)(230.8 - 191.1i) 10^{-3} = 26.4 - 21.6i;$$

$$S_{03} = \overline{U_{03}} I_{03} 10^{-3} = (113.9 - 0.6i)(147.3 - 87.8i) 10^{-3} = 16.8 - 9.9i;$$

$$S_{04} = \overline{U_{04}} I_{04} 10^{-3} = (114 - 0.7i)(161.1 - 136.8i) 10^{-3} = 18.4 - 15.5i;$$

$$S_{05} = \overline{U_{05}} I_{05} 10^{-3} = (113.8 - 0.9i)(266.1 - 202.1i) 10^{-3} = 30.5 - 22.7i;$$

$$S_{12} = \overline{U_{12}} I_{12} 10^{-3} = (112.7 - 1.4i)(35.9 - 39.9i) 10^{-3} = 4.1 - 4.4i;$$

$$S_{23} = \overline{U_{23}} I_{23} 10^{-3} = (112.6 - 1.3i)(-17.3 + 3.5i) 10^{-3} = -2 + 0.4i;$$

$$S_{34} = \overline{U_{34}} I_{34} 10^{-3} = (112.8 - 1.3i)(-2.5 + 13.1i) 10^{-3} = -0.3 + 1.5i;$$

$$S_{56} = \overline{U_{56}} I_{56} 10^{-3} = (112.1 - 1.8i)(27.9 - 22.4i) 10^{-3} = 3.2 - 2.5i;$$

$$S_{16} = \overline{U_{16}} I_{16} 10^{-3} = (112.3 - 1.6i)(114 - 86.4i) 10^{-3} = 12.9 - 9.5i.$$

Сумарне навантаження в мережі:

$$S_{\Sigma} = S_{\text{пр1}} + S_{\text{пр2}} + S_{\text{пр3}} + S_{\text{пр4}} + S_{\text{пр5}} + S_{\text{пр6}} = 12.9 - 9.5i \text{ МВА}.$$

Сумарні втрати потужності в мережі:

$$\Delta S_{\Sigma} = S_{01} + S_{03} + S_{04} + S_{05} + U_0^2 y_0 - S_{\Sigma};$$

$$\Delta S_{\Sigma} = 26.4 - 21.6i + 16.8 - 9.9i + 18.4 - 15.5i + 30.5 - 22.7i - 1.9i - (91.3 - 68.2i) = 0.829 - 3.428i \text{ МВА}.$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Представимо результати розрахунку режиму на рис.3.5.

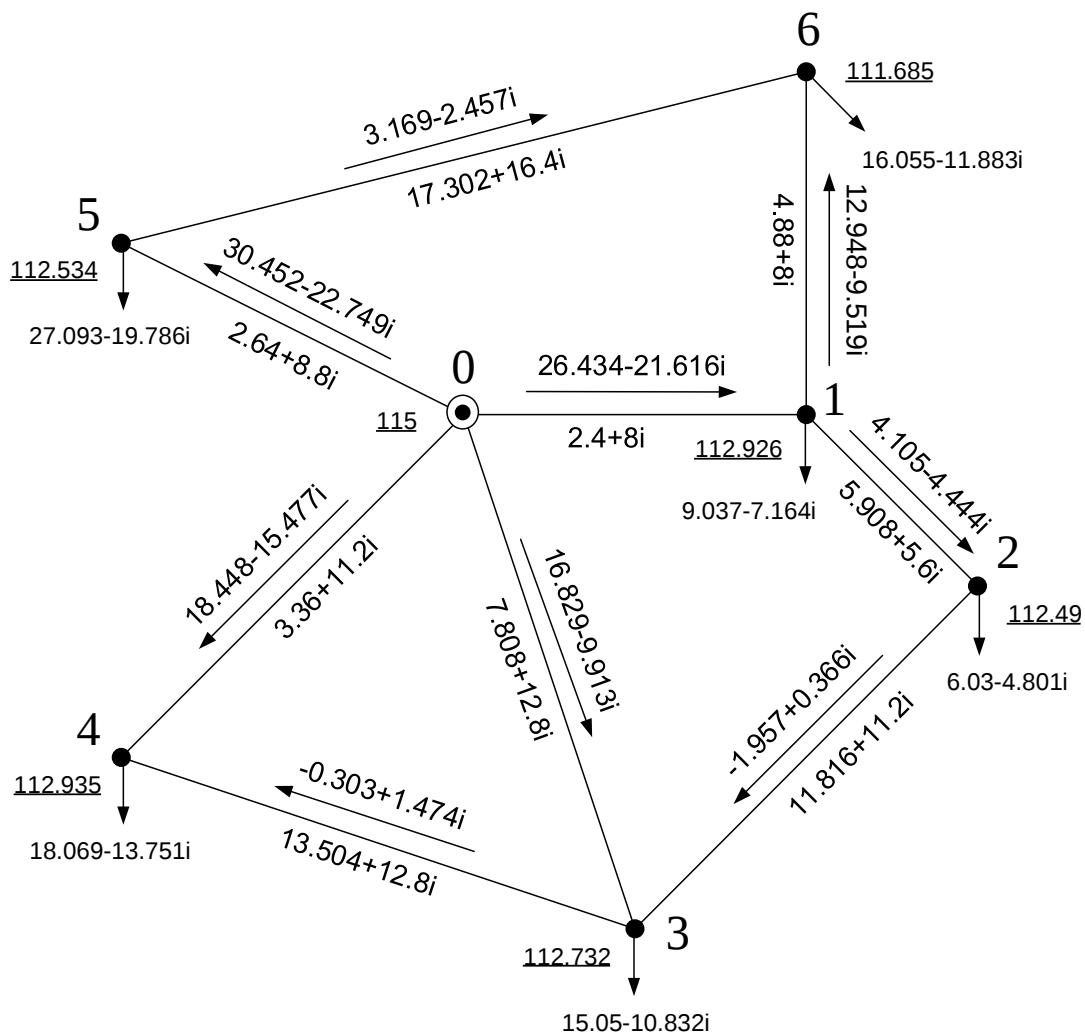


Рисунок.3.5 – Результат розрахунку мережі в режимі максимальних навантажень

3.7 Розрахунок режиму мінімальних навантажень

Розрахунок цього режиму також вестимемо методом контурних струмів.

Коефіцієнт навантажень в мінімальному режимі $K_{\min}=0,65$. Оскільки в мінімальному режимі навантаження зменшені, перерахуємо приведенні навантаження, результати розрахунків наведені у табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Результати розрахунку приведених навантажень

ПС	$\dot{S}_{\text{зад}}, \text{MBA}$	$\dot{S}_{\text{пр}}, \text{MBA}$
1	9-6.52i	5.874-4.657i
2	6-4.344i	3.92-3.121i
3	15-9.71i	9.782-7.041i
4	18-11.99i	11.745-8.938i
5	27-17.46i	17.611-12.861i
6	16-10.54i	10.436-7.724i

Перша ітерація.

Задаємо початкові наближення значень рівнів напруг в пунктах та рівень напруги в балансуєчому пункті:

$$U_0 = 115 \text{ кВ};$$

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

Знайдемо значення рівнів напруг на першій ітерації аналогічно попередньому режиму:

$$U_1^{(1)} = \frac{1}{y_{11}} \left(U_0^{(0)} y_{01} + U_2^{(0)} y_{12} + U_6^{(0)} y_{16} - \frac{\dot{S}_{\text{пр1}}}{U_1^{*(0)}} \right) = 111.508 - 0.522i;$$

$$U_2^{(1)} = \frac{1}{y_{22}} \left(U_1^{(1)} y_{12} + U_3^{(0)} y_{23} - \frac{\dot{S}_{\text{пр2}}}{U_2^{*(0)}} \right) = 110.759 - 0.369i;$$

$$U_3^{(1)} = \frac{1}{y_{33}} \left(U_4^{(0)} y_{34} + U_2^{(1)} y_{23} + U_0^{(0)} y_{03} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}3}}{U_3^{*(0)}} \right) = 111.5 - 0.55i;$$

$$U_4^{(1)} = \frac{1}{y_{44}} \left(U_0^{(0)} y_{04} + U_3^{(1)} y_{34} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}4}}{U_4^{*(0)}} \right) = 112.84 - 1.062i;$$

$$U_5^{(1)} = \frac{1}{y_{55}} \left(U_0^{(0)} y_{05} + U_6^{(0)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}5}}{U_5^{*(0)}} \right) = 112.49 - 1.182i;$$

$$U_6^{(1)} = \frac{1}{y_{66}} \left(U_1^{(1)} y_{16} + U_5^{(1)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}6}}{U_6^{*(0)}} \right) = 111.056 - 0.898i.$$

Аналогічним чином знайдемо рівні напруг на 2 ітерації:

$$U_1^{(2)} = \frac{1}{y_{11}} \left(U_0^{(0)} y_{01} + U_2^{(1)} y_{12} + U_6^{(1)} y_{16} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}1}}{U_1^{*(1)}} \right) = 112.137 - 0.861i;$$

$$U_2^{(2)} = \frac{1}{y_{22}} \left(U_1^{(2)} y_{12} + U_3^{(1)} y_{23} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}2}}{U_2^{*(1)}} \right) = 111.68 - 0.777i;$$

$$U_3^{(2)} = \frac{1}{y_{33}} \left(U_4^{(1)} y_{34} + U_2^{(2)} y_{23} + U_0^{(0)} y_{03} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}3}}{U_3^{*(1)}} \right) = 112.71 - 0.88i;$$

$$U_4^{(2)} = \frac{1}{y_{44}} \left(U_0^{(0)} y_{04} + U_3^{(2)} y_{34} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}4}}{U_4^{*(1)}} \right) = 113.358 - 1.018i;$$

$$U_5^{(2)} = \frac{1}{y_{55}} \left(U_0^{(0)} y_{05} + U_6^{(1)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}5}}{U_5^{*(1)}} \right) = 112.884 - 1.283i;$$

$$U_6^{(2)} = \frac{1}{y_{66}} \left(U_1^{(2)} y_{16} + U_5^{(2)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}6}}{U_6^{*(1)}} \right) = 111.612 - 1.175i.$$

Зробимо перевірку збіжності ітераційного процесу:

$$\Delta U_1^{(2)} = \left| U_1^{(2)} - U_1^{(1)} \right| = 0.715;$$

$$\Delta U_2^{(2)} = \left| U_2^{(2)} - U_2^{(1)} \right| = 1.008;$$

$$\Delta U_3^{(2)} = \left| U_3^{(2)} - U_3^{(1)} \right| = 1.252;$$

$$\Delta U_4^{(2)} = \left| U_4^{(2)} - U_4^{(1)} \right| = 0.519;$$

$$\Delta U_5^{(2)} = \left| U_5^{(2)} - U_5^{(1)} \right| = 0.408;$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U_6^{(2)} = |U_6^{(2)} - U_6^{(1)}| = 0.621.$$

Оскільки різниця напруг на сусідніх ітераціях перевищує 0.01, продовжуємо ітераційний процес. Зведемо його результати до таблиці 3.13:

Таблиця 3.13 – Результати розрахунку режиму напруги в схемі мережі

Ітерація	U ₁ , кВ	U ₂ , кВ	U ₃ , кВ	U ₄ , кВ	U ₅ , кВ	U ₆ , кВ	ΔU _{max} , кВ
1	111.508- 0.522i	110.759- 0.369i	111.501- 0.548i	112.84- 1.062i	112.49- 1.182i	111.056- 0.898i	3.032
2	112.137- 0.861i	111.68- 0.777i	112.707- 0.884i	113.358- 1.018i	112.884- 1.283i	111.612- 1.175i	1.252
3	112.67- 1.005i	112.439- 0.984i	113.129- 0.898i	113.524- 0.969i	113.524- 0.969i	112.043- 1.298i	0.787
...	...	...	...	...	...	...	...
10	113.655- 0.915i	113.374- 0.892i	113.534- 0.786i	113.665- 0.876i	113.405- 1.181i	112.855- 1.233i	0.017
11	113.661- 0.908i	113.38- 0.886i	113.536- 0.783i	113.666- 0.874i	113.407- 1.177i	112.86- 1.227i	0.0097

Оскільки найбільша різниця між значеннями відповідних напруг на 10 та 11 ітераціях менше за 0.01, приймаємо за результат розрахунку режиму напруги значення напруг на 11-й ітерації.

Зробимо розрахунок струмового навантаження ділянок. Розрахуємо струм в режимі максимальних навантажень мережі для лінії 0-1:

$$I_{01} = \frac{U_0 - U_1}{\sqrt{3}Z_{01}} 10^3 = \frac{115 - (113.661 - 0.908i)}{\sqrt{3}(2.4 + 8i)} 10^3 = 86.678 - 70.613i \text{ A};$$

$$|I_{01}| = 111.8 \text{ A}.$$

Струмові навантаження решти ділянок схеми розраховуються аналогічно. Результати розрахунку представлені в табл. 3.14.

Таблиця 3.14 – Струмові навантаження ділянок схеми в режимі максимальних навантажень

Ділянка	Переріз F, мм ²	Струмове навантаження I, А	Тривалий допустимий струм I _{доп} , А
0-1	1*240	111.8	610
0-3	1*240	63.932	610
0-4	1*240	78.76	610
0-5	1*240	124.451	610
1-2	1*70	20.026	265
2-3	1*70	6.632	265
3-4	1*70	4.934	265
5-6	1*70	13.299	265
1-6	1*120	53.12	390

Струмові навантаження всіх ділянок схеми в режимі максимальних навантажень не перевищують тривало допустимих значень струмів для відповідних перерізів проводів, що свідчить про правильний вибір перерізів проводів ПЛ схеми районної електричної мережі.

Знайдемо поточкорозподіл по ділянках схеми, для чого перемножимо знайдені струми на середньолінійні напруги цих ділянок: дорівнюватимуть:

$$U_{01} = \frac{U_0 + U_1}{2} 10^3 = \frac{115 + (113.661 - 0.908i)}{2} 10^3 = 114.331 - 0.454i \text{ А;}$$

$$U_{03} = \frac{U_0 + U_3}{2} 10^3 = \frac{115 + (113.536 - 0.783i)}{2} 10^3 = 114.268 - 0.391i \text{ А;}$$

$$\begin{aligned}
U_{04} &= \frac{U_0 + U_4}{2} 10^3 = \frac{115 + (113.666 - 0.874i)}{2} 10^3 = 114.333 - 0.437i \text{ A;} \\
U_{05} &= \frac{U_0 + U_5}{2} 10^3 = \frac{115 + (113.407 - 1.177i)}{2} 10^3 = 114.204 - 0.589i \text{ A;} \\
U_{12} &= \frac{U_1 + U_2}{2} 10^3 = \frac{(113.661 - 0.908i) + (113.38 - 0.886i)}{2} 10^3 = 113.52 - 0.897i \text{ A;} \\
U_{23} &= \frac{U_2 + U_3}{2} 10^3 = \frac{(113.38 - 0.886i) + (113.536 - 0.783i)}{2} 10^3 = 113.458 - 0.834i \text{ A;} \\
U_{34} &= \frac{U_3 + U_4}{2} 10^3 = \frac{(113.536 - 0.783i) + (113.666 - 0.874i)}{2} 10^3 = 113.601 - 0.828i \text{ A;} \\
U_{56} &= \frac{U_5 + U_6}{2} 10^3 = \frac{(113.407 - 1.177i) + (112.86 - 1.227i)}{2} 10^3 = 113.134 - 1.202i \text{ A;} \\
U_{16} &= \frac{U_1 + U_6}{2} 10^3 = \frac{(113.661 - 0.908i) + (112.86 - 1.227i)}{2} 10^3 = 113.261 - 1.067i \text{ A.}
\end{aligned}$$

Отже, потужності, що протікають у ділянках схеми дорівнюють, МВА:

$$\begin{aligned}
S_{01} &= \overline{U_{01}} I_{01} 10^{-3} = (114.3 - 0.45i)(150.1 - 122.3i) 10^{-3} = 17.2 - 13.92i; \\
S_{03} &= \overline{U_{03}} I_{03} 10^{-3} = (114.27 - 0.39i)(95.4 - 56.19i) 10^{-3} = 10.93 - 6.38i; \\
S_{04} &= \overline{U_{04}} I_{04} 10^{-3} = (114.33 - 0.44i)(104.4 - 87.8i) 10^{-3} = 11.97 - 9.99i; \\
S_{05} &= \overline{U_{05}} I_{05} 10^{-3} = (114.2 - 0.59i)(172.5 - 129.23i) 10^{-3} = 19.8 - 14.7i; \\
S_{12} &= \overline{U_{12}} I_{12} 10^{-3} = (113.5 - 0.9i)(23.3 - 25.7i) 10^{-3} = 2.7 - 2.9i; \\
S_{23} &= \overline{U_{23}} I_{23} 10^{-3} = (113.5 - 0.8i)(-11.3 + 2i) 10^{-3} = -1.3 + 0.2i; \\
S_{34} &= \overline{U_{34}} I_{34} 10^{-3} = (113.6 - 0.83i)(-1.69 + 8.38i) 10^{-3} = -0.2 + 0.95i; \\
S_{56} &= \overline{U_{56}} I_{56} 10^{-3} = (113.1 - 1.2i)(18.1 - 14.3i) 10^{-3} = 2.1 - 1.6i; \\
S_{16} &= \overline{U_{16}} I_{16} 10^{-3} = (113.3 - 1.1i)(73.6 - 55.2i) 10^{-3} = 8.4 - 6.2i.
\end{aligned}$$

Сумарне навантаження в мережі:

$$S_{\Sigma} = S_{\text{пр1}} + S_{\text{пр2}} + S_{\text{пр3}} + S_{\text{пр4}} + S_{\text{пр5}} + S_{\text{пр6}} = 59.367 - 44.341i \text{ МВА.}$$

Сумарні втрати потужності в мережі:

$$\Delta S_{\Sigma} = S_{01} + S_{03} + S_{04} + S_{05} + U_0^2 y_0 - S_{\Sigma};$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$\Delta S_{\Sigma} = 17.2 - 13.9i + 10.9 - 6.4i + 12 - 10i + 19.8 - 14.7i - 1.9i - (59.4 - 44.3i) = 0.532 - 2.497i \text{ MBA.}$$

Представимо результати розрахунку режиму на рис.3.6.

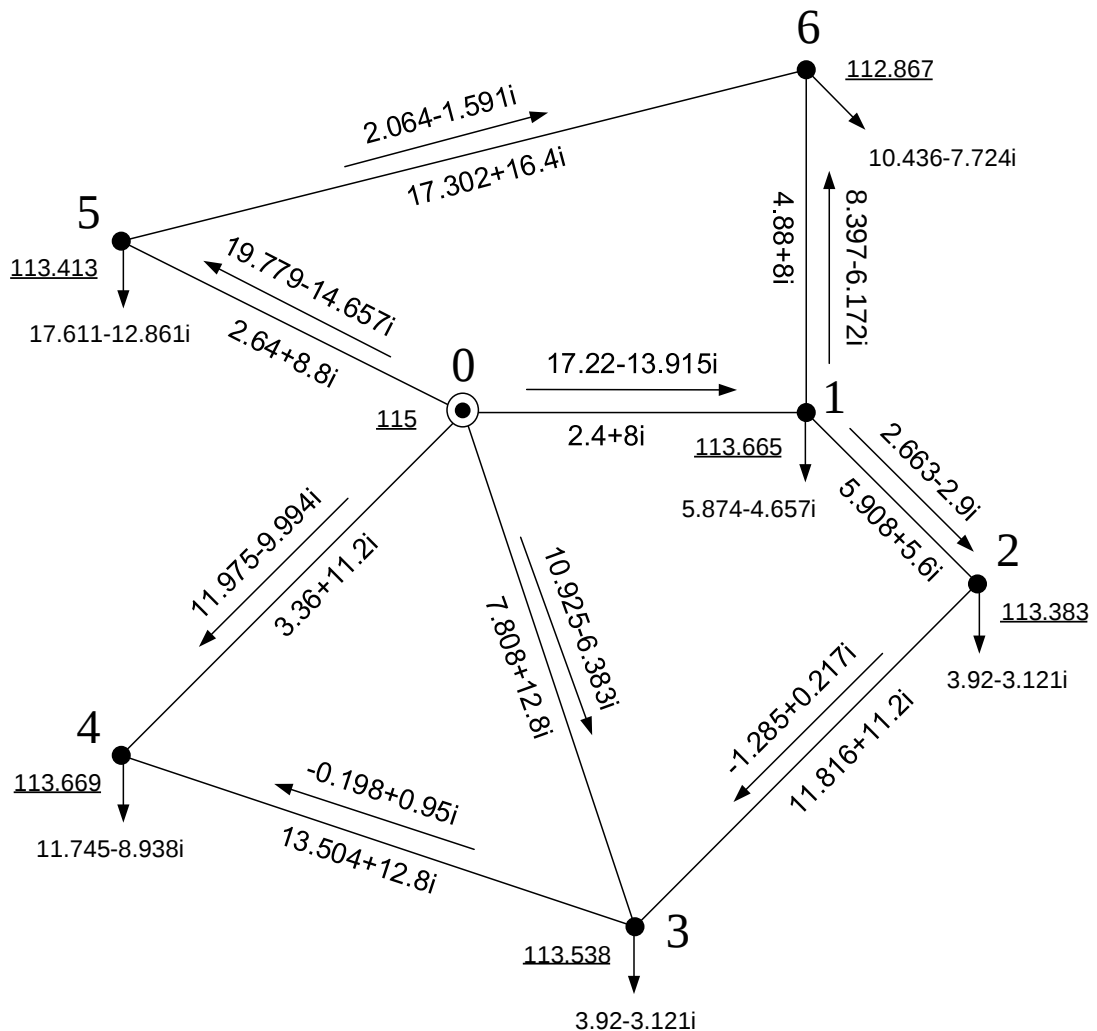


Рисунок.3.6 – Результат розрахунку мережі в режимі мінімальних навантажень

3.8 Розрахунок післяаварійного режиму

Оскільки в післяаварійному режиму не працює лінія 0-5, то змінюється взаємна провідність у пункті 5:

$$Y_{05}=0 \text{ См}$$

$$Y_{55}=-(Y_{56}+Y_{05})=-(0.03-0.029i+0)=-0.03+0.029i \text{ См.}$$

Перша ітерація.

Задамося початковими наближеннями значень рівнів напруг в пунктах та рівнем напруги в балансуючому пункті:

$$U_0=115 \text{ кВ;}$$

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

Знайдемо значення рівнів напруг на першій ітерації:

$$U_1^{(1)} = \frac{1}{y_{11}} \left(U_0^{(0)} y_{01} + U_2^{(0)} y_{12} + U_6^{(0)} y_{16} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}1}}{U_1^{*(0)}} \right) = 111.406 - 0.558i;$$

$$U_2^{(1)} = \frac{1}{y_{22}} \left(U_1^{(1)} y_{12} + U_3^{(0)} y_{23} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}2}}{U_2^{*(0)}} \right) = 110.559 - 0.405i;$$

$$U_3^{(1)} = \frac{1}{y_{33}} \left(U_4^{(0)} y_{34} + U_2^{(1)} y_{23} + U_0^{(0)} y_{03} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}3}}{U_3^{*(0)}} \right) = 111.12 - 0.64i;$$

$$U_4^{(1)} = \frac{1}{y_{44}} \left(U_0^{(0)} y_{04} + U_3^{(1)} y_{34} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}4}}{U_4^{*(0)}} \right) = 112.219 - 1.368i;$$

$$U_5^{(1)} = \frac{1}{y_{55}} \left(U_0^{(0)} y_{05} + U_6^{(0)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}5}}{U_5^{*(0)}} \right) = 102.789 - 0.927i;$$

$$U_6^{(1)} = \frac{1}{y_{66}} \left(U_1^{(1)} y_{16} + U_5^{(1)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{пр}6}}{U_6^{*(0)}} \right) = 107.85 - 1.501i.$$

Аналогічним чином знайдемо рівні напруг на 2 ітерації:

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_1^{(2)} = \frac{1}{y_{11}} \left(U_0^{(0)} y_{01} + U_2^{(1)} y_{12} + U_6^{(1)} y_{16} - \frac{\dot{S}_{\text{np1}}}{U_1^{*(1)}} \right) = 110.967 - 1.111i;$$

$$U_2^{(2)} = \frac{1}{y_{22}} \left(U_1^{(2)} y_{12} + U_3^{(1)} y_{23} - \frac{\dot{S}_{\text{np2}}}{U_2^{*(1)}} \right) = 110.639 - 0.986i;$$

$$U_3^{(2)} = \frac{1}{y_{33}} \left(U_4^{(1)} y_{34} + U_2^{(2)} y_{23} + U_0^{(0)} y_{03} - \frac{\dot{S}_{\text{np3}}}{U_3^{*(1)}} \right) = 111.87 - 1.17i;$$

$$U_4^{(2)} = \frac{1}{y_{44}} \left(U_0^{(0)} y_{04} + U_3^{(2)} y_{34} - \frac{\dot{S}_{\text{np4}}}{U_4^{*(1)}} \right) = 112.59 - 1.445i;$$

$$U_5^{(2)} = \frac{1}{y_{55}} \left(U_0^{(0)} y_{05} + U_6^{(1)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{np5}}}{U_5^{*(1)}} \right) = 100.125 - 2.424i;$$

$$U_6^{(2)} = \frac{1}{y_{66}} \left(U_1^{(2)} y_{16} + U_5^{(2)} y_{56} - \frac{\dot{S}_{\text{np6}}}{U_6^{*(1)}} \right) = 106.812 - 2.427i.$$

Зробимо перевірку збіжності ітераційного процесу:

$$\Delta U_1^{(2)} = \left| U_1^{(2)} - U_1^{(1)} \right| = 0.706;$$

$$\Delta U_2^{(2)} = \left| U_2^{(2)} - U_2^{(1)} \right| = 0.586;$$

$$\Delta U_3^{(2)} = \left| U_3^{(2)} - U_3^{(1)} \right| = 0.919;$$

$$\Delta U_4^{(2)} = \left| U_4^{(2)} - U_4^{(1)} \right| = 0.379;$$

$$\Delta U_5^{(2)} = \left| U_5^{(2)} - U_5^{(1)} \right| = 3.055;$$

$$\Delta U_6^{(2)} = \left| U_6^{(2)} - U_6^{(1)} \right| = 1.391.$$

Оскільки різниця напруг на сусідніх ітераціях перевищує 0.01, продовжуємо ітераційний процес. Зведемо його результати до табл. 3.15:

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.15 – Результати розрахунку режиму напруги в схемі мережі

Ітерація	U ₁ , кВ	U ₂ , кВ	U ₃ , кВ	U ₄ , кВ	U ₅ , кВ	U ₆ , кВ	ΔU _{max} , кВ
1	111.406- 0.558i	110.559- 0.405i	110.559- 0.405i	112.219- 1.368i	102.789- 0.927i	107.85- 1.501i	7.271
2	110.967- 1.111i	110.639- 0.986i	111.868- 1.171i	112.59- 1.445i	112.59- 1.445i	106.812- 2.427i	3.055
3	110.72- 1.593i	110.726- 1.481i	110.726- 1.481i	112.678- 1.486i	112.678- 1.486i	112.678- 1.486i	1.505
...	...	...	...	...	...	...	...
13	110.562- 2.639i	110.698- 2.34i	110.698- 2.34i	112.747- 1.599i	97.715- 4.937i	105.87- 4.312i	0.014
14	110.566- 2.643i	110.7-2.344i	110.7-2.344i	112.747- 1.599i	97.72-4.944i	105.874- 4.316i	0.0087

Оскільки найбільша різниця між значеннями відповідних напруг на 10 та 13 ітераціях менше за 0.01, приймаємо за результат розрахунку режиму напруги значення напруг на 14-й ітерації.

Зробимо розрахунок струмового навантаження ділянок. Розрахуємо струм для лінії 0-1:

$$I_{01} = \frac{U_0 - U_1}{\sqrt{3}Z_{01}} 10^3 = \frac{115 - (110.566 - 2.643i)}{\sqrt{3}(2.4 + 8i)} 10^3 = 263.085 - 241.107i \text{ A};$$

$$|I_{01}| = 356.856 \text{ A}.$$

Струмові навантаження решти ділянок схеми розраховуються аналогічно. Результати розрахунку представлені в табл. 3.16.

Таблиця 3.16 – Струмові навантаження ділянок схеми в режимі максимальних навантажень

Ділянка	Переріз F, мм ²	Струмове навантаження I, А	Тривалий допустимий струм I _{доп} , А
0-1	1*240	356.856	610
0-3	1*240	128.819	610
0-4	1*240	136.401	610
1-2	1*70	23.302	265
2-3	1*70	55.13	265
3-4	1*70	20.142	265
5-6	1*70	198.054	265
1-6	1*120	306.888	390

Струмові навантаження всіх ділянок схеми в режимі максимальних навантажень не перевищують тривало допустимих значень струмів для відповідних перерізів проводів, що свідчить про правильний вибір перерізів проводів ПЛ схеми районної електричної мережі.

Знайдемо поточкорозподіл по ділянках схеми, для чого перемножимо знайдені струми на середньолінійні напруги цих ділянок: дорівнюватимуть:

$$U_{01} = \frac{U_0 + U_1}{2} 10^3 = \frac{115 + (110.566 - 2.643i)}{2} 10^3 = 112.783 - 1.322i \text{ A};$$

$$U_{03} = \frac{U_0 + U_3}{2} 10^3 = \frac{115 + (112.102 - 1.672i)}{2} 10^3 = 113.551 - 0.836i \text{ A};$$

$$U_{04} = \frac{U_0 + U_4}{2} 10^3 = \frac{115 + (112.747 - 1.599i)}{2} 10^3 = 113.76 - 0.904i \text{ A};$$

$$U_{12} = \frac{U_1 + U_2}{2} 10^3 = \frac{(110.566 - 2.643i) + (110.7 - 2.344i)}{2} 10^3 = 110.633 - 2.493i \text{ A};$$

$$U_{23} = \frac{U_2 + U_3}{2} 10^3 = \frac{(110.7 - 2.344i) + (112.102 - 1.672i)}{2} 10^3 = 111.401 - 2.008i \text{ A};$$

$$U_{34} = \frac{U_3 + U_4}{2} 10^3 = \frac{(112.102 - 1.672i) + (112.747 - 1.599i)}{2} 10^3 = 112.425 - 1.635i \text{ A};$$

$$U_{56} = \frac{U_5 + U_6}{2} 10^3 = \frac{(97.72 - 4.944i) + (105.874 - 4.316i)}{2} 10^3 = 101.797 - 4.63i \text{ A};$$

$$U_{16} = \frac{U_1 + U_6}{2} 10^3 = \frac{(110.566 - 2.643i) + (105.874 - 4.316i)}{2} 10^3 = 108.22 - 3.48i \text{ A}.$$

Отже, потужності, що протікають у ділянках схеми дорівнюють, МВА:

$$S_{01} = \overline{U_{01}} I_{01} 10^{-3} = (112.8 - 1.3i)(455.7 - 417.6i) 10^{-3} = 51.9 - 46.5i;$$

$$S_{03} = \overline{U_{03}} I_{03} 10^{-3} = (113.6 - 0.8i)(195.8 - 106.9i) 10^{-3} = 22.3 - 12i;$$

$$S_{04} = \overline{U_{04}} I_{04} 10^{-3} = (113.9 - 0.8i)(186.3 - 145.2i) 10^{-3} = 21.3 - 16.4i;$$

$$S_{12} = \overline{U_{12}} I_{12} 10^{-3} = (110.6 - 2.5i)(-37.3 - 15.3i) 10^{-3} = -4.1 - 1.8i;$$

$$S_{23} = \overline{U_{23}} I_{23} 10^{-3} = (111.4 - 2i)(-90.9 + 29.3i) 10^{-3} = -10.2 + 3.1i;$$

$$S_{34} = \overline{U_{34}} I_{34} 10^{-3} = (112.4 - 1.6i)(-27.8 + 21i) 10^{-3} = -3.2 + 2.3i;$$

$$S_{56} = \overline{U_{56}} I_{56} 10^{-3} = (101.8 - 4.6i)(-266.3 + 216.2i) 10^{-3} = -28.1 + 20.8i;$$

$$S_{16} = \overline{U_{16}} I_{16} 10^{-3} = (108.2 - 3.5i)(413.2 - 334.4i) 10^{-3} = 45.9 - 34.8i.$$

Сумарне навантаження в мережі:

$$S_{\Sigma} = S_{\text{пр1}} + S_{\text{пр2}} + S_{\text{пр3}} + S_{\text{пр4}} + S_{\text{пр5}} + S_{\text{пр6}} = 91.334 - 68.217i \text{ МВА}.$$

Сумарні втрати потужності в мережі:

$$\Delta S_{\Sigma} = S_{01} + S_{03} + S_{04} + U_0^2 y_0 - S_{\Sigma};$$

$$\Delta S_{\Sigma} = 51.9 - 46.5i + 22.3 - 12i + 21.3 - 16.4i - 1.9i - (91.3 - 68.2i) =$$

$$= 4.273 - 8.535i \text{ МВА}.$$

Представимо результати розрахунку режиму на рис.3.7.

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

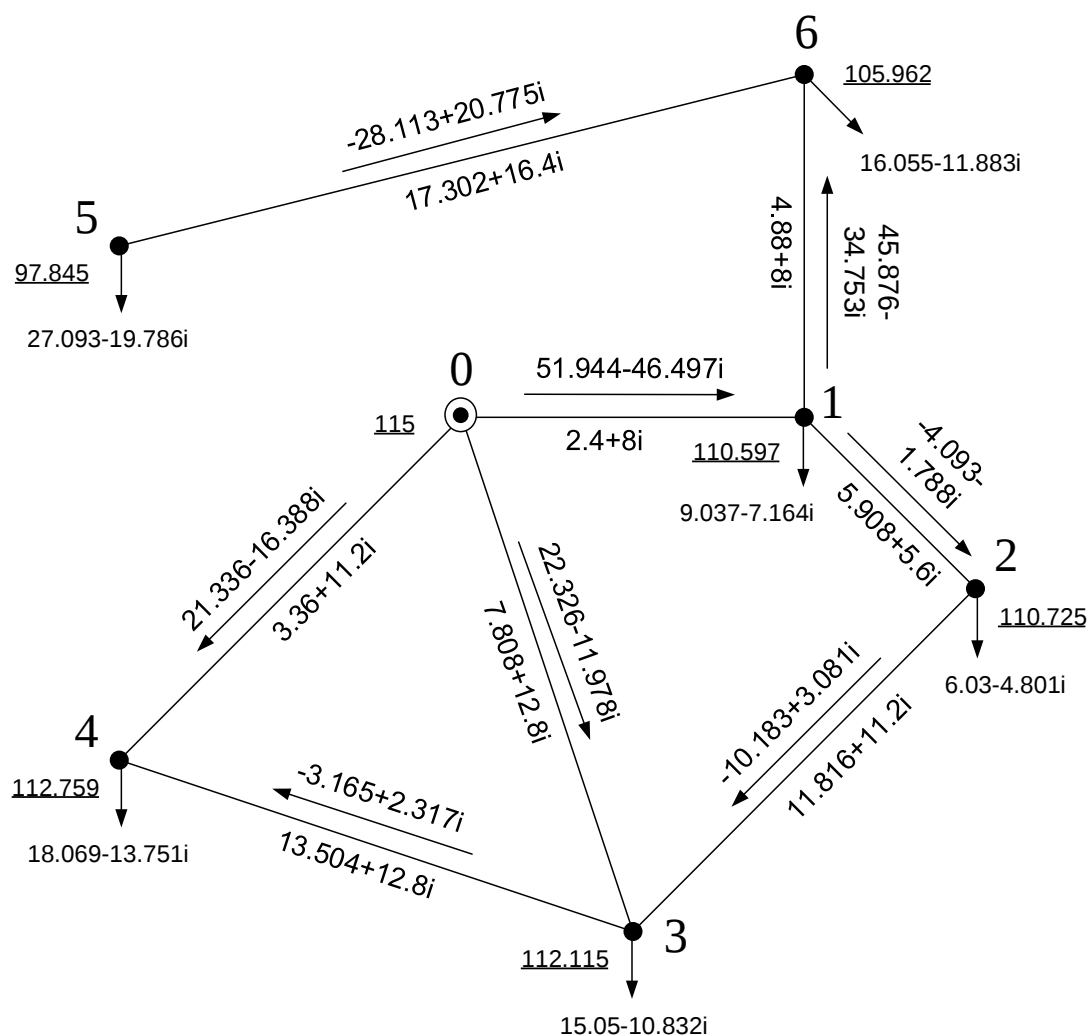


Рисунок.3.7 – Результат розрахунку мережі в режимі максимальних навантажень

3.8 Вибір регулювальних відгалужень РПН і ПБВ на силових трансформаторах вузлових підстанцій

Вибір положення відгалужень РПН є завданням для регулювання напруги дво- і триобмоткових силових трансформаторів.

Двообмоткові силові трансформатори під час режиму максимальних навантажень мають бажане значення відносної кількості регулювальних витків РПН $\omega_{вж}$, яке складе:

$$\omega_{вж} = \frac{U_{пн} \cdot U_{тн}}{U_{тв} \cdot U_{ндж}} - 1, \quad (3.1)$$

де $U_{пн}$ - рівень напруги на шинах НН;

$U_{тн}, U_{тв}$ - номінальна напруга відповідно обмотки НН і ВН трансформатора, кВ;

Для двообмоткового трансформатора значення приведенного рівня напруги буде наступним:

$$U_{пн} = U_s - \Delta U_T = U_s - \frac{P_s \cdot r_{ts} - Q_s \cdot x_{ts}}{U_s}, \quad (3.2)$$

ΔU_T - втрати напруги в обмотках;

P_s та Q_s - потоки активної і реактивної потужності.

Розрахункову ступінь регулювання РПН визначають за допомогою отриманої розрахункової відносної кількості регулювальних витків РПН $\omega_{вж}$ вираховують:

$$N_B = \frac{\omega_{вж}}{\omega_{в0}}, \quad (3.3)$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де ω_{B0} - відносна кількість регулювальних витків РПН, що припадає на одну ступінь регулювання.

Розрахункову ступінь регулювання РПН округляють до найближчого цілого числа i , таким чином, визначають стандартну ступінь регулювання.

$$\omega_B^{CT} = N_B^{CT} \cdot \omega_{B0} . \quad (3.4)$$

Далі можемо визначити фактичне значення рівня напруги на шинах НН:

$$U_{нд} = \frac{U_{пн} \cdot U_{тн}}{U_{тв} \cdot (1 + \omega_B^{CT})} . \quad (3.5)$$

Ми додатково встановлюємо відгалуження ПБВ в обмотці СН для триобмоткових трансформаторів ВН.

Завдання регулювання напруги для двообмоткових трансформаторів подібне завданню для триобмоткових трансформаторів. Але ми повинні вибрати доцільну регулювальну ступінь ПБВ в обмотці СН.

Положення відгалуження ПБВ в обмотці СН трансформатора бажано має мати вигляд:

$$\omega_{сж} = \frac{U_{сж} \cdot U_{тв}(1 + \omega_B^{CT})}{U_{пс} \cdot U_{тс}} - 1 , \quad (3.6)$$

$U_{пс}$ - це рівень напруги на шинах СН в максимальному режимі роботи;

$U_{тс}$ - це номінальна напруга обмотки СН трансформатора;

$U_{пн}$ та $U_{пс}$ зв'язані між собою наступними співвідношеннями:

$$U_{пн} = U_S - \Delta U_{тв} - \Delta U_{тн} = U_S - \frac{P_B \cdot r_B - Q_B \cdot x_B}{U_S} - \frac{P_H \cdot r_H - Q_H \cdot x_H}{U_S - \Delta U_{тв}} , \quad (3.7)$$

$$U_{пс} = U_S - \Delta U_{тв} - \Delta U_{тс} = U_S - \frac{P_B \cdot r_B - Q_B \cdot x_B}{U_S} - \frac{P_C \cdot r_C - Q_C \cdot x_C}{U_S - \Delta U_{тв}} . \quad (3.8)$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункову ступінь регулювання ПБВ, N_B^{CT} і ω_B^{CT} для ПБВ в обмотці СН визначаємо за розрахунковою відносною кількістю регулювальних витків ПБВ $\omega_{СЖ}$.

Далі ми можемо визначити значення рівня напруги на шинах СН блоку триобмоткових силових трансформаторів за наступною формулою:

$$U_{cd} = \frac{U_{пс} \cdot U_{тс} (1 + \omega_B^{CT})}{U_{тв} (1 + \omega_B^{CT})}. \quad (3.9)$$

Виконаємо розрахунок для триобмоткового трансформатора пункту 4, матимемо:

$$\begin{aligned} \Delta U_{тв4} &= \frac{(P_{сн4} + P_{нн4}) \cdot r_{в4} - (Q_{сн4} + Q_{нн4}) \cdot x_{в4}}{U_{тв4}} = \\ &= \frac{(10 + 8) \cdot 1.29 - (-5.792 - 6.197) \cdot 44.428}{112.935} = 5.495 \text{ кВ} \\ \Delta U_{тн4} &= \frac{P_{нн4} \cdot r_{н4} - Q_{нн4} \cdot x_{н4}}{U_4 - \Delta U_{тв4}} = \frac{8 \cdot 1.29 - 5.792 \cdot 0}{112.935 - 5.945} = 1.489 \text{ кВ} \\ U_{пн4} &= U_4 - \Delta U_{тв4} - \Delta U_{тн4} = 112.935 - 5.495 - 1.489 = 105.952 \text{ кВ} \\ \Delta U_{тс4} &= \frac{P_{сн4} \cdot r_{с4} - Q_{сн4} \cdot x_{с4}}{U_4 - \Delta U_{тв4}} = \frac{10 \cdot 1.29 - 6.197 \cdot 0}{112.935 - 5.945} = 0.12 \text{ кВ} \\ U_{пс4} &= U_4 - \Delta U_{тв4} - \Delta U_{тс4} = 112.935 - 5.495 - 0.12 = 107.32 \text{ кВ} \end{aligned}$$

Значення відносної кількості регулювальних витків РПН буде дорівнювати:

$$\omega_{вж4} = \frac{U_{пн4} \cdot U_{тн4}}{U_{тв4} \cdot U_{ндж4}} - 1 = \frac{105.952 \cdot 11}{115 \cdot 10.5} - 1 = -0.035$$

Розрахункову ступінь регулювання РПН N_B ми визначимо як:

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{B4} = \frac{\omega_{BЖ4}}{\omega_{B0}} = \frac{-0.04}{0.0178} = -1.956 \rightarrow -2$$

Також ми можемо визначити стандартну відносну кількість регулювальних витків в РПН:

$$\omega_{B4}^{CT} = N_{B4}^{CT} \cdot \omega_{B0} = -2 \cdot 0.0178 = -0.0356$$

Тому значення напруги на шинах НН матиме наступний вигляд:

$$U_{HD4} = \frac{U_{PH4} \cdot U_{TH4}}{U_{TB4} \cdot (1 + \omega_{B4}^{CT})} = \frac{105.952 \cdot 11}{115 \cdot (1 - 0.0356)} = 10.509 \text{ кВ}$$

Розрахуємо значення положення відгалужень ПБВ в обмотці СН:

$$\omega_{CЖ4} = \frac{U_{CЖ4} \cdot U_{TB4} (1 + \omega_{B4}^{CT})}{U_{PC4} \cdot U_{TC4}} - 1 = \frac{34.5 \cdot 115 (1 - 0.0356)}{107.32 \cdot 34.5} - 1 = 0.033$$

$$N_{C4} = \frac{\omega_{CЖ4}}{\omega_{C0}} = \frac{0.033}{0.025} = 1.337 \rightarrow 2$$

$$\omega_{C4}^{CT} = N_{C4}^{CT} \cdot \omega_{C0} = 2 \cdot 0.025 = 0.05$$

Рівень напруги в пункті 1 на шинах СН блоку двообмоткових силових трансформаторів становитиме:

$$U_{CD} = \frac{U_{PC} \cdot U_{TC} (1 + \omega_{B4}^{CT})}{U_{TB} (1 + \omega_{B4}^{CT})} = \frac{107.32 \cdot 34.5 (1 + 0.05)}{115 (1 - 0.0356)} = 35.054 \text{ кВ}$$

Для наступних вузлів виконаємо такі ж розрахунки. Усі результати запишемо в табл. 3.17. Таким же чином розрахуємо величини в інших режимах. Результати розрахунків зведено в табл. 3.18 і 3.19.

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.17 – Результати вибору відгалужень РПН та ПБЗ для режиму максимальних навантажень

№ пункту	N _B	N _C	U _H , кВ	U _C , кВ
1	-1	–	10.558	–
2	-1	–	10.487	–
3	-1	2	10.486	35.054
4	-2	2	10.509	35.054
5	-2	1	10.568	34.213
6	-2	2	10.491	34.875

Аналогічно розрахуємо і приведемо результати для післяаварійного режиму в таблиці 3.18.

Таблиця 3.18 – Результати вибору відгалужень РПН та ПБЗ для післяаварійного режиму

№ пункту	N _B	N _C	U _H , кВ	U _C , кВ
1	-2	–	10.516	–
2	-2	–	10.494	–
3	-1	2	10.423	34.52
4	-2	2	10.49	34.993
5	-9	1	10.58	34.342
6	-5	2	10.469	34.844

Аналогічно розрахуємо і приведемо результати для режиму мінімальних навантажень в таблиці 3.19.

Таблиця 3.19 – Результати вибору відгалужень РПН та ПБЗ для режиму мінімальних навантажень

№ пункту	N _B	N _C	U _H , кВ	U _C , кВ
1	0	–	10.45	–
2	-1	–	10.578	–
3	-1	1	10.568	34.163
4	-2	1	10.586	34.465

Продовження таблиці 3.19

5	-1	2	10.467	34.708
6	-1	2	10.422	34.639

Виконаємо перевірку допустимості використання обраних відгалужень РПН за умовами перезбудження живильної обмотки силових трансформаторів для підстанції пункту 1 в режимі максимальних навантажень мережі:

$$N_{в.предм.1} = \left(\frac{U_1 - \Delta U_{TB1}}{1,05 \cdot U_{TB}} - 1 \right) \cdot \omega_{\epsilon 0} = \left(\frac{112,9 - 4,481}{1,05 \cdot 115} - 1 \right) \cdot \omega_{\epsilon 0} = -5,737 \text{ кВ}$$

Очевидно, що для трансформаторів пункту 1 в режимі максимальних навантажень електричної мережі умова виконується, оскільки $-5 > -9$.

Аналогічним чином виконують перевірку виконання умови для трансформаторів інших підстанцій схеми в усіх режимах роботи, що розглядаються. Результати перевірки представлені в табл. 3.20.

Таблиця 3.20 – Результати перевірки допустимості використання відгалужень РПН за умовами перезбудження живильної обмотки силових трансформаторів.

№ пункта	Режим максимальних навантажень		Післяаварійний режим		Режим мінімальних навантажень	
	N _{в.ст}	N _{в.пред}	N _{в.ст}	N _{в.пред}	N _{в.ст}	N _{в.пред}
1	-1	-6	-2	-7	0	-5
2	-1	-6	-2	-7	-1	-6
3	-1	-6	-1	-6	-1	-5
4	-2	-6	-2	-6	-2	-6
5	-2	-6	-9	-13	-1	-6
6	-2	-6	-5	-9	-1	-6

Умови перезбудження виконуються в усіх режимах роботи електричної мережі.

Висновки до розділу

У розділі проведено розрахунок районної електричної мережі 110 кВ.

На основі розрахунків L-схеми мережі було проведено техніко-економічне порівняння і остаточно обраний варіант для реалізації мережі. Після цього прораховано Z-схему мережі, її стан в робочому та післяаварійному режимах та розраховані необхідні для цих режимів відгалуження РПН та ПБЗ.

В усіх режимах струми та напруги знаходяться в допустимих межах.

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Під час виконання даної бакалаврської роботи спроектовано розімкнуту електричну мережу 110 кВ. Методом поконтурної оптимізації здійснено вибір оптимальної мережі.

Досліджено функції дисконтованих сумарних витрат для таких перерізів проводів як 70 мм², 120 мм², і 240 мм². Також для кожного з перерізів визначили інтервали активної потужності. Ми апроксимували їх методом найменших квадратів для спрощення використання цих функцій та отримали лінійну функцію виду

$$Z(P) = 57.655 \cdot 10^3 + 96.446 \cdot 10^3 \cdot P \text{ [грн]}.$$

Також було виконано ітераційний розрахунок режимів роботи мережі, по результатам якого встановлено, що відхилення напруги в усіх режимах у вузлах не перевищує норму.

Було отримано такі значення сумарних втрат потужностей:

$$\Delta \dot{S}_{\max} = 0.829 - 3.428i \text{ МВА},$$

$$\Delta \dot{S}_{\min} = 0.532 - 2.497i \text{ МВА},$$

$$\Delta \dot{S}_{\text{av}} = 4.273 - 8.535i \text{ МВА}.$$

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Электрические системы и сети./ Буслова Н.В., Винославский В.Н., Денисенко Г.И., Перхач В.С. - К.: Вища шк, 1986. – 584 с.
2. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimpowerSystems и Simulink./ И.В. Черных - Москва: ДМК Прес, 2008. – 288 с.
3. Справочник по проектированию электрических систем/ Рокотян С.С., Шапиро И.М. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 352 с.
4. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» з тематики районних електричних мереж/ В.М. Сулейманов, В.В. Чижевський - К: ІВЦ «Видавництво Політехніка», 2007. - 100 с.
5. Охрана труда в электроустановках / Под ред. Б.А.Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
6. Электробезопасность на промышленных предприятиях: Справочник / Р.В.Сабарно, А.Г.Степанов и др. – Киев: Техніка, 1985. – 288 с.
7. Конституція України. Закон України «Про охорону праці».

					ДП 6104.141.002 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		