

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації енергосистем

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.І. Толочко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“11” червня 2020 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії)

на тему: «Розробка еталонної схеми з повним спектром обмежень для задач комплексної оптимізації режимів»

Виконав: студент IV курсу, групи ЕК-зг61-01

(шифр групи)

_____ Мельниченко Максим Дмитрович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник _____ к.т.н., доц. Банін Д.Б. _____

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

(підпис)

Консультант _____ з питань алгоритмізації та програмування _____

(назва розділу)

_____ с.н.с Банін М.Д. _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, 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 – 2020 року

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повна назва)

Кафедра автоматизації енергосистем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.І. Толочко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«11» червня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Мельниченку Максиму Дмитровичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Розробка еталонної схеми з повним спектром обмежень для задач комплексної оптимізації режимів» _____,

керівник проекту Банін Дмитро Борисович, к.т.н, доц. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «28» 04 2020 р. №1050 – с

2. Термін подання студентом проекту «11» 06 2020 р. _____

3. Вихідні дані до проекту технічна документація по промисловому комп'ютерному комплексу РАОТВ; вихідні дані підстанції 110/35/10 кВ; загальна мережа енергосистеми 330/110/35 кВ; пакет лабораторних робіт по курсу «Алгоритмізація та програмування електроенергетичних задач». _____

4. Зміст пояснювальної записки: розрахунок струмів короткого замикання та релейного захисту підстанції 110/35/10 кВ; реалізація розрахунків з моделювання, аналізу та оптимізації електричних мереж; підвищення ефективності розрахунків режиму методом Ньютона.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) однолінійна схема підстанції 110/35/10 кВ; релейний захист трьохобмоткового трансформатору та кабельної лінії 10 кВ; результати розрахунків, аналізу та оптимізації електричного режиму; підвищення ефективності розрахунків режимів методом Ньютона.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-2	Банін М.Д., с.н.с		

7. Дата видачі завдання

28.04.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Робота з методичним матеріалом	06.03.2020	
2	Розробка розрахункової схеми	20.03.2020	
3	Розрахунок режиму в РАОТВ, L_APEZ	27.03.2020	
4	Оптимізація режиму	11.03.2020	
5	Розрахунок струмів к.з.	17.04.2020	
6	Аналіз принципальних алгоритмічних рішень	08.05.2020	
7	Вибір системи тех. та реж. обмежень	15.05.2020	
8	Розробка еталонного прикладу OPTIM QT	22.05.2020	
9	Оформлення пояснювальної записки та листів	29.05.2020	
10	Попередній захист	11.06.2020	

Студент

(підпис)

М.Д. Мельниченко

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Д.Б. Банін

(ініціали, прізвище)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	141.5110.001.ДБ	Пояснювальна записка	68	
3	A1	141.5110.001.ТК1	Однолінійна схема - підстанція 110/35/10 кВ	1	
4	A1	141.5110.001.ТК2	Розрахунок та оптимізація режиму	1	
5	A1	141.5110.001.ТК3	Системний розрахунок токів короткого замикання.	1	
6	A1	141.5110.001.ТК4	Еталонна схема з повним спектром обмежень	1	

					141.5110.001.ДБ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість дипломного проекту	Літ.	Арк.	Акрушіє	
Розроб.		Мельниченко М.Д.					3	1	
Перевір.		Банін М.Д.				КПІ ім.. Ігоря Сікорського, ФЕА, гр. ЕК-3261-01			
Реценз.									
Н. Контр.		Настенко Д.В.							
Затверд.		Толочко О.І.							

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

на тему: «Розробка еталонної схеми з повним спектром обмежень для задач комплексної оптимізації режимів»

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 68 аркушів та містить 39 рисунки, 8 таблиць, 4 листи графічної частини та 10 літературних посилань .

Актуальність теми – Дослідження еталонної схеми с повним спектром обмежень для задач комплексної оптимізації.

Мета дослідження - Розробка еталонної схеми с повним спектром обмежень.

Об'єктами дослідження є індивідуальна підстанція 110/35/10 кВ, розподільча та постачальна мережа схеми 330/110/35/10 кВ, промислові розрахункові схеми великого обсягу з різних регіонів України.

Предметом дослідження є невідомі режимні характеристики (напруги, регулюючі значення реактивної потужності, втрати, струми короткого замикання та інше), а також параметри розрахункових моделей синусоїдального струму, матриць провідностей і опору, методи еквівалентування, методи рішення нелінійних енергетичних рівнянь та інше.

Результати роботи – Успішно розроблена еталонна схема з повним спектром обмежень для задач комплексної оптимізації.

Перелік ключових слів: РОЗРАХУНОК УСТАЛЕНОГО РЕЖИМУ, МЕТОД НЬЮТОНА, ОПТИМІЗАЦІЯ(КОМПЕНСАЦІЯ) РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, МАТРИЦІ ЯКОБІ, ГЕСЕ, ПРОВІДНОСТЕЙ ТА ОПОРУ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, ГРАФІК НАВАНТАЖЕНЬ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА РЕЖИМНІ ОБМЕЖЕННЯ, ОПЕРАТОР СИСТЕМИ З РОЗПОДІЛУ (ОСР), ОПЕРАТОР СИСТЕМИ З ПЕРЕДАЧІ (ОСП),ДИСКРЕТНИЙ СПУСК.

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The diploma project is made on 69 sheets and contains 24 figures, 8 tables and 4 letters of the graphic part.

Relevance of the topic - Research of the reference scheme with a full range of constraints for complex optimization problems.

The aim - Development of a reference scheme with a full range of limitations.

The objects of the study are an individual substation 110/35/10 kV, distribution and supply network of the 330/110/35/10 kV scheme, large-scale industrial settlement schemes from different regions of Ukraine.

Subject of research is unknown mode characteristics (voltages, regulating values of reactive power, losses, short-circuit currents, etc.), as well as parameters of calculated models of sinusoidal current, conduction and resistance matrices, equivalence methods, methods for solving nonlinear energy equations and more.

The results of the work - Successfully developed reference scheme with a full range of constraints for complex optimization problems.

Key words: NORMAL MODE CALCULATION, NEWTON'S METHOD, OPTIMIZATION (COMPENSATION) REACTIVE POWER JACOBI MATRIX, HESE, CONDUCTIVITY AND RESISTANCE, SHORT CIRCUIT, GRAPHICS LOADS, TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL LIMITATION, SYSTEM OPERATORS WITH DISTRIBUTION (SRF), SYSTEM OPERATOR WITH TRANSFERS (OSP), DISCRETE DOWNHILL.

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 РОЗРАХУНОК, АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ.....	10
1.1 Розробка індивідуальної розрахункової схеми 330/110/35/10/0,4 кВ (ESPS19_3). Індивідуальне завдання.....	10
1.2 Розрахунковий апарат-лабораторний комплекс L-APEZ.ZN.....	19
1.3 Розрахунок режиму методом Ньютона	25
1.4 Оптимізація режиму методом другого порядку	32
1.5 Метод розрахунку трифазного к.з. в середовищі Z-режиму	38
Висновки	41
2 РОЗРОБКА ЕТАЛОННОЇ СХЕМИ ДЛЯ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ	42
2.1 Системна компенсація реактивних потужностей. Бар'єрні функції, варіанти обмежень	42
2.2 Промисловий комплекс OPTIM_QT. Інтерфейсні формати.....	49
2.3 Контрольна оптимізація індивідуальної схеми ESPS19_3. Варіантні дослідження функції $\Delta P = f(Q)$	53
2.4 Розробка еталонного прикладу з повним спектром технологічних режимних обмежень(U,T,N,P,Ø,D).....	55
2.5 Розрахунок і аналіз оптимального режиму еталонної схеми	58
Висновки	66
ВИСНОВКИ.....	67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	68

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВН – висока напруга;
ЕЕС – електроенергетична система;
КЗ – коротке замикання;
МСЗ – максимальний струмовий захист;
НН – низька напруга;
ПК – програмний комплекс;
ПС – підстанція;
ПУЕ – правила улаштування електроустановок;
РАОТВ – розрахунок, аналіз та оптимізація технологічних втрат;
РЗ – релейний захист;
РП – розподільчий пункт;
СВ – струмова відсічка;
СН – середня напруга;
ТН – трансформатор напруги;
ТП – трансформаторний пункт;
ТС – трансформатор струму;
ШЗВ – шиноз'єднувальний вимикач;
ОСП – оператор системи з передачі;
ОСР – оператор системи з розподілу.

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В управлінні електроенергетикою України можна виокремити характерні для диспетчерського, технологічного та економічного напрямків спектрів задач, які в теперішній час, вирішуються тільки на основі використання потужних промислових комп'ютерних комплексів. До цих задач відносяться оцінка стану мережі, моделювання усталеного режиму, розрахунок струмів короткого замикання та вибір параметрів релейного захисту, прогнозування оптимальних режимів та визначення відповідних їм рівнів компенсації реактивних потужностей та регулювання напруг засобами РПН трансформаторів. Ці задачі вирішуються в даній бакалаврській роботі на рівні моделювання електроенергетичних об'єктів (ПС, розподільчі та живлячі мережі) та реалізації задач розрахунку режиму, його оптимізації, визначення струмів короткого замикання та інше з використанням сучасних математичних методів та ефективного обчислювального апарату. Результати цієї розрахункової частини розглянуто в розділах 1 та 2.

Комп'ютерні розрахункові комплекси повинні працювати на одній загальній інформаційній базі з, як правило, загальним процесом попередньої обробки інформації (синтаксичний контроль розрахункових схем, побудова алгоритмічних моделей, еквівалентування фрагментів мережі і т.д.). Дослідна частина даної бакалаврської роботи присвячена розробці та реалізації ряду таких задач, зокрема еквівалентуванню нульових зон та паралельних ліній та трансформаторів. В розділі компактно викладено алгоритмічні рішення, програмна реалізація яких дозволила підвищити ефективність основних обчислювальних процесів. Аналіз виконувався на базі промислових розрахункових схем регіонів України.

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 РОЗРАХУНОК, АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ

1.1 Еталонна розрахункова схема ESPS19. Індивідуальне завдання

Еталонна розрахункова схема ESPS19, якої представлена конфігурація, параметри устаткування і задані режимні характеристики (навантаження і напруга балансуєчих вузлів), має режим в допустимій області по напрузі, по завантаженню трансформаторів і ліній.

Має балансуєчі вузли (БП1, БП2), їх заданою напругою 340 кВ та 345 кВ відповідно. Електрична мережа складається з двох частин: ОСП та ОСР. Системна частина (аналог ОСП) – Л1 та Л2 – лінії 330 кВ, Л3-Л7 – транзит 110 кВ, Т1 та Т2 – системні автотрансформатори. Розподільна частина (аналог ОСР) складається з ліній 110, 35 кВ (Л7, Л8) та споживаючих підстанцій ПС1, ПС2, ПС3 та ПС4. Еталонна схема ESPS19 і її режим ілюструються:

Рис. 1.1 Живляча мережа та її зв'язок з розрахунковими схемами ПС110/35/10(6) кВ

Рис. 1.2 Параметри обладнання розрахункової схеми ESPS19_3

Рис. 1.3 Файл UZL схеми ESPS19_3

Рис. 1.4 Файл VET схеми ESPS19_3

Рис. 1.5 Графіка розрахункової схеми ESPS19_3

Еталонна розрахункова схема ESPS19 є основою для розробки індивідуальної розрахункової схеми :

ESPS19_3: Відключити ШЗВ на шинах 110 кВ ПС1, створюючи роздільного живлення Т3 і Т4 від різних вузлів системної частини схеми по лініях 8-100 і 7-101. У системній частині лінії Л7 стала двох-ланцюговою тобто, введена в дію паралельна лінія з ідентичними параметрами;

Результати початкового режиму індивідуальної схеми **ESPS19_3** ілюструються на рис. 1.6.

					141.5110.001.ДБ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок, аналіз та оптимізація електричних режимів	Літ.	Арк.	Акрушіє	
Розроб.		Мельниченко М.Д.							
Перевір.		Банін М.Д.					10	31	
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕА, гр. ЕК-361-01			
Н. Контр.		Настенко Д.В.							
Затверд.		Толочко О.І.							

Індивідуальний режим знаходиться в допустимій області. Втрати в порівнянні з еталонним режимом знизилися на:

$$\Delta P = 12.187 - 9.263 = 2.924 \text{ МВт.}$$

Інтерактивний розрахунок режиму індивідуальної схеми **ESPS19_3**, оптимізація режиму по реактивній потужності, розрахунок струму короткого замикання виконується в пакеті L_APEZ_ZN. Експорт індивідуальної схеми з форматів PAO_TV реалізується за планом:

- Створити директорію L_APEZ_ZN;
- Скопіювати стандартний зміст цієї директорії;
(AP_AKEY,AP_DIN,AP_DSP...EKLAB.EXE...);
- Викликати файл UZL індивідуальної схеми;
- Виконати операцію C/W → реалізувати траєкторію в директорії → ENTER;
- В розділі L_APEZ_ZN повинні сформуватися файли вузлів з розширенням .PNT та гілок з розширенням .LIN та їх текстові копії UZL,VET.

Розрахунок режиму, що встановився виконується відповідно лабораторної роботи №11. Результат розрахунку вихідного режиму індивідуальної схеми оформлюється у вигляді рис. 1.6.

1.Індивідуальний варіант для інтерактивного розрахунку режиму визначається за допомогою таблиці:

Таблиця 1.1 Ключі для інтерактивного розрахунку режиму

№ вар	NPZ	NV1	NV2	Nitep
<u>3</u>	<u>2</u>	<u>6</u>	<u>8</u>	<u>2</u>

2.Індивідуальний варіант для інтерактивної оптимізації по реактивній потужності визначається за допомогою таблиці:

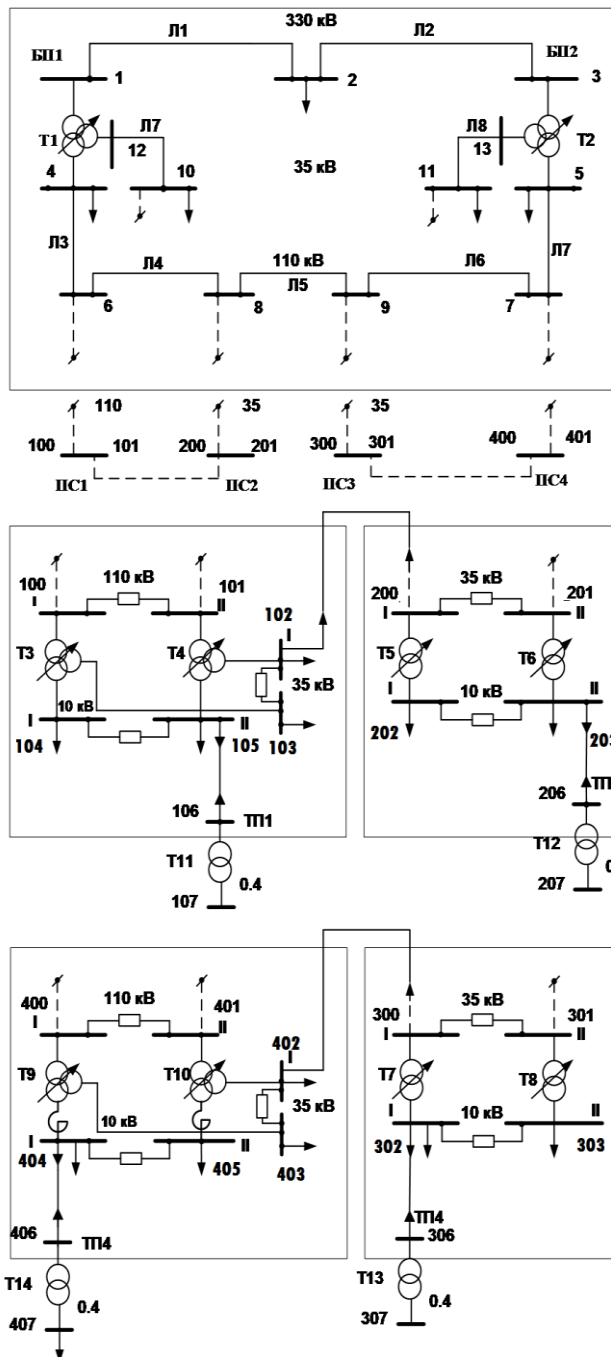
Таблиця 1.2 Ключі для інтерактивної оптимізації

№вар	Key0	Eps	KiTo	Kg	Вузли
<u>3</u>	<u>1</u>	<u>0,01</u>	<u>50</u>	<u>0,01</u>	<u>302,203</u>

3.Індивідуальний варіант для розрахунку с.к.з визначається за допомогою таблиці:

Таблиця 1.3 Ключі для розрахунку струмів короткого замикання.

№вар	KeyZ	KZ1	KZ2	KZ3
<u>3</u>	<u>1</u>	<u>303</u>	<u>0</u>	<u>0</u>



Живляча мережа

330/110/35 кВ:

Балансуючі вузли 1,3;
Лінії 330 кВ – Л1, Л2;
Лінії 110 кВ – Л3 - Л7;
Лінії 35 кВ – Л8, Л9;

Індивідуальний об'єкт

ПС1

110.1 – 100
110.2 – 101
35.1 – 102
35.2 – 103
10.1 – 104
10.2 – 105

ПС2

35.1 – 200
35.2 – 201
10.1 – 202
10.2 – 203

Живлення

10.1 – 104
10.2 – 105
Ср.Т – 113,114

102 - 200
10 - 201

Живлення

8-100
7-101

Індивідуальний об'єкт

ПС4

110.1 – 400
110.2 – 401
35.1 – 402
35.2 – 403
10.1 – 404
10.2 – 405
Ср.Т – 115,116
Живлення
4 - 400
5 - 401

ПС3

35.1 – 300
35.2 – 301
10.1 – 302
10.2 – 303

Живлення

11 - 301
402 - 300

Рисунок 1.1 – Живляча мережа та її зв'язок з розрахунковими схемами ПС

110/35/10(6) кВ схеми ЕСПС19_3

					141.5110.001.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.4 Параметри зв'язку з індивідуальними об'єктами

ПС1	Л:	20 х	ПС2	Л:	10 х
	6 - 100	АС-185		101 - 200	А0СБ - 150
	Л:	30 х		Л: 10	15 х
	9 - 101	АС-150		- 201	А0СБ – 150
ПС4	Л:	25 х	ПС3	Л:	10 х
	7 - 400	АС-150		401 - 300	А0СБ – 120
	Л:	25 х		Л: 11	10 х
	8 - 401	АС-150		- 301	А0СБ – 120

Таблиця 1.5 Параметри індивідуальних підстанцій

С1	Трансформатори	ТДТНГ	ВН – РПН П-17-
	Т3,Т4	40500/112/38,5/10,5	9-1,5
С2	Трансформатори	ТДНС	ВН – РПН П-17-
	Т5,Т6	16000/36,75/10,5	9-1,5
С3	Трансформатори	ТДНС	ВН – РПН П-17-
	Т7,Т8	10000/36,75/10,5	9-1,5
С4	Трансформатори	ТДТНГ	ВН – РПН П-17-
	Т9,Т10	40500/112/38,5/10,5	9-1,5

Таблиця 1.6 Параметри ліній електропередач

Лінії 330 кВ		Лінії 110 кВ		Лінії 35 кВ	
Л1	100 х АС2-400	Л3	60 х АС0-240	Л8	15 х АС0-185
Л2	170 х АС2-400	Л4	65 х АС-240	Л9	10 х АС-185
Т1	АТДЦТН – 200000/330/115/38,5 СН-РПН-П-13-7-2	Л5	30 х АС-185	Т2	АТДЦТН – 200000/330/115/38,5 СН-РПН-П-13-7-2
		Л6	40 х АС-240		
		Л7	50 х АС0-240		

Нормальна комутація	ШСВ на СН и НН відключені	
Наявність субабонента	Має трансформаторні пункти ТП1,2,3,4	
Трансформатори Т11,Т12,Т13,Т14	ТМ1250/1010,4	ВН-ПБВ-П-5-3-25
Живлячі КЛ	105-106	1 х АСБ – 70
	203-206	2 х АСБ – 95
	302-306	3 х АСБ – 95
	404-406	4 х АСБ – 120

Рисунок 1.2 –Параметри обладнання розрахункової схеми ESPS19_3

					141.5110.001.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

№ п/п	№	№ узла	П	Рнаг	Qнаг	Рген	Qген	Гш	Вш	I' наг	I'' наг	Uм	Uрасч	Угол
1		1 b				252,952	91,70736						340	340
2		2		200	120					0,582302	-0,37679	330	336,2853	-1,94161
3		3 b				216,211	136,0474						345	345
4		4		55	36					0,444421	-0,33544	110	118,0571	-3,83794
5		5		55	42					0,433211	-0,38214	110	119,7959	-4,04924
6		6		10	7					0,082229	-0,07201	110	111,6747	-6,21857
7		7		9	6					0,073599	-0,06293	110	111,7024	-6,84131
8		8		9	6					0,075478	-0,0673	110	106,9602	-8,03356
9		9		12	7					0,100938	-0,07914	110	108,3105	-7,84245
10		10		4	1					0,105244	-0,0491	35	35,50257	-10,9756
11		11		4	1					0,104721	-0,04414	35	36,28129	-8,81845
12		12		12	5					0,303852	-0,16473	35	37,61198	-5,84453
13		13		11	5					0,278881	-0,16048	35	37,55321	-5,47387
14		111										330	325,993	-3,8654
15		112										330	324,6011	-4,09335
16		100										110	105,0208	-8,38777
17		101										110	109,7521	-7,35569
18		102		10,5	6,5					0,253361	-0,24885	35	34,77352	-12,7256
19		103		9	5,5					0,206179	-0,18539	35	38,0407	-10,5309
20		104		3,5	2,5					0,301868	-0,32168	10	9,750162	-11,2822
21		105		3,5	1,5					0,305238	-0,1968	10	10,4848	-9,61308
22		113										110	104,041	-11,2977
23		114										110	111,8872	-9,62666
24		106										10	10,42432	-9,42481
25		107		1,2	0,9					2,486552	-2,77358	0,4	0,402684	-11,2534
26		200										35	34,3532	-12,286
27		201										35	34,3532	-12,286
28		202		5,5	3,5					0,445384	-0,47756	10	9,98323	-14,5253
29		203		6,5	2,5					0,56111	-0,41603	10	9,969999	-15,5171
30		206										10	9,866032	-15,2834
31		207		1,3	0,8					2,557248	-2,95891	0,4	0,390308	-17,5572
32		400										110	116,8576	-4,35885
33		401										110	116,8576	-4,35885
34		402		7,5	4,5					0,181202	-0,15339	35	36,84118	-9,28491
35		403		7	5					0,165969	-0,15075	35	38,3664	-6,71215
36		404		5,5	3,5					0,485186	-0,40842	10	10,27934	-7,61903
37		405		4,5	2,5					0,398967	-0,28004	10	10,56099	-6,0105
38		415										110	109,7158	-7,64418
39		416										110	112,6972	-6,02366
40		406										10	10,22658	-7,41731
41		407		1	0,9					2,14611	-2,64467	0,4	0,395011	-8,95391
42		300										35	35,92654	-9,15061
43		301										35	35,92654	-9,15061
44		302		5,5	2,5					0,487778	-0,36632	10	9,903891	-12,4626
45		303		5,5	3,5					0,471626	-0,45892	10	9,906739	-11,7466
46		306										10	9,849238	-12,3669
47		307		1,4	0,7					3,003369	-2,65126	0,4	0,390709	-14,8718

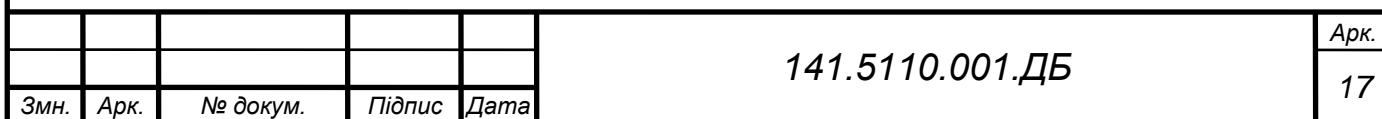
Рисунок 1.3 Файл UZL схеми ESPS19_3

					141.5110.001.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

№ п/п	N нач.	N кон.	k	R	X	G	B	Kт'	Кт ном	Марка
1	1	2		3,7	32,1	2,3	-352			100000*AC2-400
2	2	3		6,29	54,57	3,91	-598,4			170000*AC2-400
3	4	6		7,86	24,24		-169,2			60000*ACO-240
4	5	7		6,55	20,2		-141			50000*ACO-240
5	6	8		7,8	26,065		-185,25			65000*AC-240
6	7	9		6,24	16,36		-112,8			40000*AC-240
7	8	9		4,68	12,27		-84,6			30000*AC-185
8	12	10		3,4	7,86		-58,2			20000*ACO-185
9	13	11		3,9	9,6		-74			25000*AC-185
10	1	111		0,81675	58,53375	1,652893	9,182736	1	1	АТДЦТН-200000/330/115/38,5
11	111	4		0,81675				2,759197	2,869565	АТДЦТН-200000/330/115/38,5
12	111	12		0,81675	126,5963			8,571428	8,571428	АТДЦТН-200000/330/115/38,5
13	3	112		0,81675	58,53375	1,652893	9,182736	1	1	АТДЦТН-200000/330/115/38,5
14	112	5		0,81675				2,707137	2,869565	АТДЦТН-200000/330/115/38,5
15	112	13		0,81675	126,5963			8,571428	8,571428	АТДЦТН-200000/330/115/38,5
16	8	100		3,4	8,18	0,44	-54,8			20000*AC-185
17	7	101		6,3	12,48	0,69	-81,3			30000*AC-150
18	4	400		5,25	10,4	0,575	-67,75			25000*AC-150
19	5	401		5,25	10,4	0,575	-67,75			25000*AC-150
20	102	200		2,06	1,8	3,318	-553			10000*АОСБ-150
21	10	201		3,09	2,7	4,977	-829,5			15000*АОСБ-150
22	402	300		2,58	1,84	3,108	-518			10000*АОСБ-120
23	11	301		2,58	1,84	3,108	-518			10000*АОСБ-120
24	100	101	O							
25	102	103	O							
26	104	105	O							
27	100	113		1,166261	34,51501	11,55931	129,1454	0,955	1	ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
28	113	102		1,166261	22,425			2,909091		ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
29	113	104		1,166261				10,66667		ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
30	101	114		1,166261	34,51501	11,55931	129,1454	0,955	1	ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
31	114	103		1,166261	22,425			2,909091		ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
32	114	105		1,166261				10,66667		ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
33	105	106		0,443	0,086	1,2245	-122,45			1000*АСБ-70
34	106	107		0,55	3,203124	56,35	761,8	25	25	ТМ-2000/10/0,4
35	200	201								
36	202	203	O							
37	200	202		0,448429	8,429095	13,32778	65,15804	3,3425	3,5	ТДНС-16000/36,75/10,5
38	201	203		0,448429	8,429095	13,32778	65,15804	3,3425	3,5	ТДНС-16000/36,75/10,5
39	203	206		0,658	0,166	2,83	-283			2000*АСБ-95
40	206	207		0,55	3,203124	56,35	761,8	24,375	25	ТМ-2000/10/0,4
41	400	401	Щ							
42	402	403	O							
43	404	405	O							
44	400	415		1,166261	34,51501	11,55931	129,1454	1,015	1	ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
45	415	402		1,166261	22,425			2,909091		ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
46	415	404		1,166261				10,66667		ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
47	401	416		1,166261	34,51501	11,55931	129,1454	1,015	1	ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
48	416	403		1,166261	22,425			2,909091		ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
49	416	405		1,166261				10,66667		ТДТНГ-40500/112/38,5/10,5
50	404	406		0,443	0,086	1,2245	-122,45			4000*АСБ-120
51	406	407		0,55	3,203124	56,35	761,8	25	25	ТМ-2000/10/0,4
52	300	301								
53	302	303	O							
54	300	302		0,810337	10,77407	9,255403	44,42593	3,5	3,5	ТДНС-10000/36,75/10,5
55	301	303		0,810337	10,77407	9,255403	44,42593	3,5	3,5	ТДНС-10000/36,75/10,5
56	302	306		0,329	0,083	1,415	-141,5			3000*АСБ-95
57	306	307		0,55	3,203124	56,35	761,8	24,375	25	ТМ-2000/10/0,4

Рисунок 1.4 – Файл VET схеми ESPS19_3

					141.5110.001.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Однолінійна схема ПС 110/35/10 кВ

Для розрахунків струмів короткого замикання та параметрів релейного захисту в бакалаврському проекті обрано підстанцію 110/35/10 кВ. На рис. 2.1 наведено однолінійну схему підстанції.

На підстанції використовуються два триобмоткові трансформатори ТДТНГ - 40500/110/38.5/11. Вид з'єднань – зірка з заземленою нейтраллю на сторонах високої та середньої напруги, що дозволяє розраховувати внутрішню ізоляцію на фазну напругу, яка в $\sqrt{3}$ менша за лінійну та трикутник на стороні низької напруги, що сприяє збільшенню напруг. На сторонах 10 та 35 кВ - проглядається роздільна робота трансформаторів.

РП 110 кВ наведеної підстанції має схему що складається з двох блоків та вимикачів що супроводжується неавтоматичною перемичкою зі сторони лінії. Трансформаторна підстанція має живлення по 2-м повітряним лініям.

На напрузі 35 кВ використовується схема з однією секціонованою системою шин. Джерела живлення та лінії приєднані до збірних шин за допомогою роз'єднувачів та вимикачів.

При необхідності виведення вимикача в ремонт необхідно спочатку вимкнути вимикач, а потім роз'єднувачі – спочатку лінійні, а потім шинні. Недоліком схеми є те, що при випадку відключення однієї секції, споживачі що живляться з обох секцій залишаються без резерву. Перевага – дешевизна, простота та висока надійність.

На напрузі 10 кВ використано схему з подвійною секціонованою системою шин.

Також встановлено вимірювальні трансформатори напруги. На стороні 35 кВ це трансформатор НОМ-35 (приєднання №16), на стороні 10 кВ – НОМ-10 (приєднання №14).

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

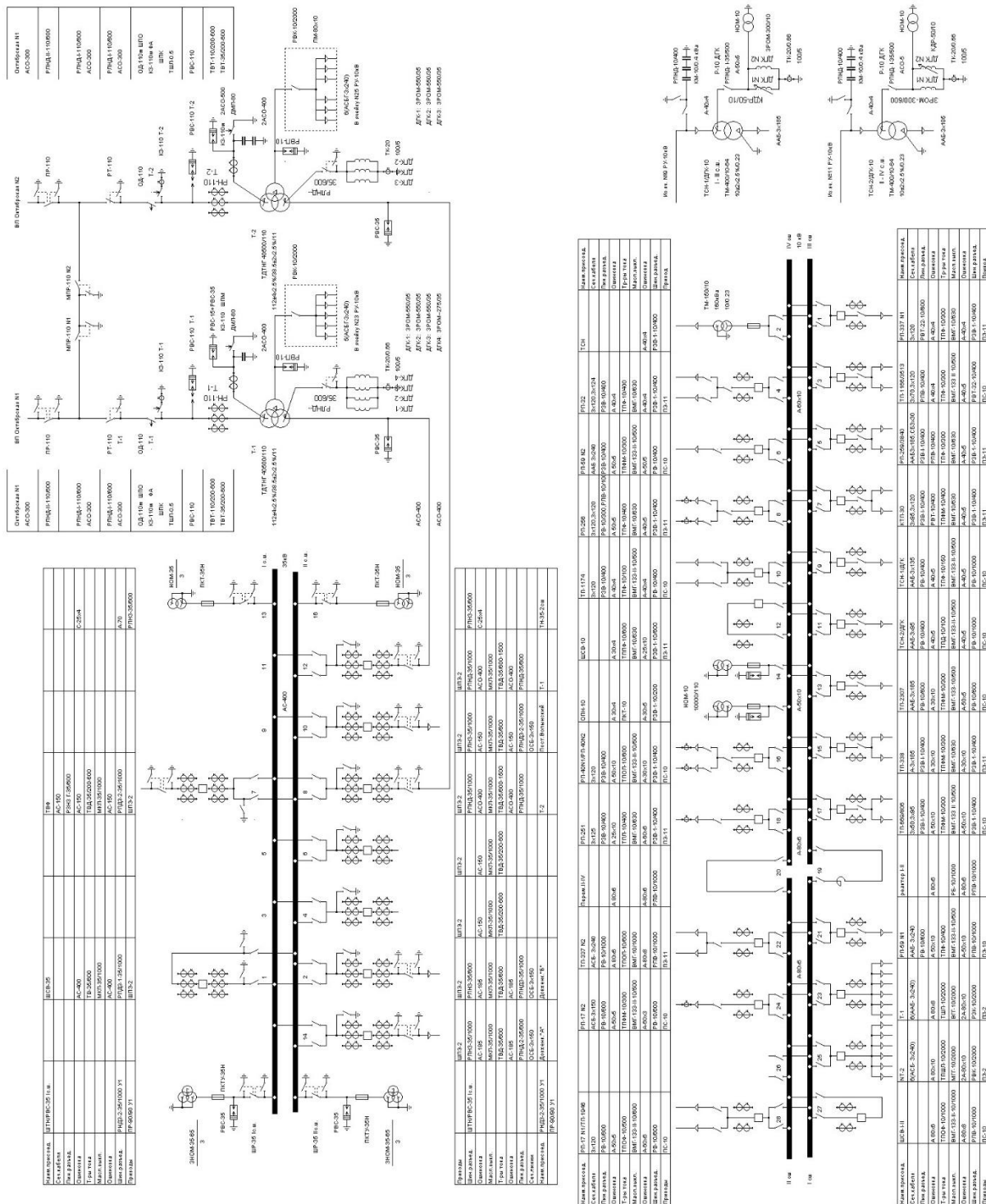


Рисунок 1.7 – Однолинейна схема підстанції

1.2 Розрахунковий апарат - лабораторний комплекс L_APEZ_ZN

В L_APEZ_ZN реалізовано інтерактивний обрахунок режиму методом Ньютона та оптимізацію режиму по реактивній потужності методом спрощеної матриці Гесе. Попередньо в програмний комплекс експортується розрахункова схема з компонентами: «Лабораторна робота 11: Розрахунок режиму методом Ньютона» та «Лабораторна робота 12: Оптимізація реактивних потужностей». Структура файлу ключів зображена на рис. 1.8.

AP_AKEY.PAS						
KEYf	KEYs	KEYy	KEYt	EPSr	KITr	KITt
0	0	0	1	0.0001	100	1
=====						
LAB11		KEYn	Npz	Nv1	Nv2	Niter
режим N		1	6	4	8	2
=====						
LAB12		kEYo	EPSo	KITo	KD	
оптимизация Q		1	0.01	50	0.01	
=====						
LAB13		KEYz	kz1	kz2	kz3	
т.к.з. Z		1	107	0	0	

Рисунок 1.8 – файл ключів навчального комплексу L_APEZ_ZN

EPSr, KITr – точність розрахунків і максимальна кількість ітерацій;

Для лабораторної роботи № 11 використовуються наступні ключі:

KEYn – ключ для обрахунку режиму методом Ньютона. При KEYn = 0 розрахунок проводиться автоматично. При KEYn = 1 використовується лабораторна робота “Розрахунок режиму методом Ньютона”; **Npz** – номер вузла схеми, для якого буде обчислений діагональний елемент, рядок и стовпець матриці Якобі; **Nv1, Nv2** – гілка, для якої розраховуються значення недіагональних елементів матриці;

Niter – номер ітерації для інтерактивного розрахунку режиму.

Відповідно до ключів, на другій ітерації розпочинається інтерактивний розрахунок режиму. Для цього необхідно самостійно розрахувати діагональний елемент матриці Якобі для заданого вузла (D11...D22), обрахувати елементи верхньої та нижньої трикутних матриць для раніше заданої гілки (V11...V22, H11...H22), обрахувати нове значення напруги та нев'язку заданого рядку рівняння стану мережі (Um, Tet – значення напруги, F1, F2 – нев'язки).

Структуру матриці Якобі та вектори поправок та нев'язок зображено на рис. 1.9

$$\begin{pmatrix}
 \dots & & & & & \\
 \dots & D_{11} & D_{12} & \dots & V_{11} & V_{12} & \dots \\
 \dots & D_{21} & D_{22} & \dots & V_{21} & V_{22} & \dots \\
 \dots & & & & & & \\
 \dots & H_{11} & H_{12} & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & H_{21} & H_{22} & \dots & \dots & \dots & \dots
 \end{pmatrix}
 \times
 \begin{pmatrix}
 \dots \\
 \Delta U \\
 \Delta Tet \\
 \dots \\
 \dots
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 \dots \\
 F_1 \\
 F_2 \\
 \dots \\
 \dots
 \end{pmatrix}$$

Матриця Якобі
вектор
вектор

поправок
нев'язок

Рисунок 1.9 – Матриця Якобі в матричному рівнянні Ньютона

Для вирішення заданих проблем в програмному комплексі L_APEZ_ZN виконуються наступні дії:

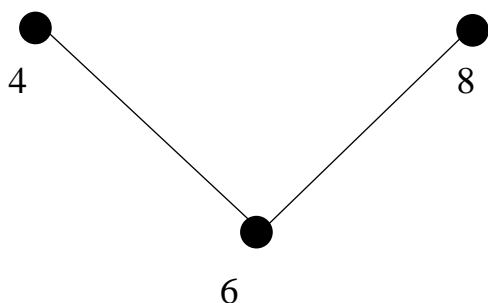
1. Заповнення керуючого файлу AP_AKEY.PAS;
2. Після запуску програмного комплексу, ввести номер лабораторної роботи – 11 та назву розрахункової схеми – ESPS19_3:
 - ✓ запустити «EKLAB.EXE»;
 - ✓ в NLAB ввести «11»;
 - ✓ в «FILE name (.PAS)» ввести ESPS19_3.
3. Запустити програму, яка збирає вихідні дані lab.exe;
4. Обрати та вивести файл AP_ADAN.

AP_ADAN.PAS					
10.000000	7.000000	-0.022642	0.072364	Ps_Qs_Gs_Bs	
113.397440	-7.305215	0.014093	1.078613	Us_Tet_dU_dTet	
2	6	2			
	4		8		
0.012104	0.010537	Ya			
-0.037329	-0.035212	Yr			
117.852721	106.083126	Ua			
-7.899052	-15.015287	Ur			

Рисунок 1.10 – Вихідні дані

У вихідних даних можна побачити наступні характеристики та параметри:

- Навантаження вузла : $P_6 + jQ_6 = 10 + j7$;
- Вихідна напруга вузла(модуль) : $U_6 = 113.39744$;
- Кут вектору напруги вузла : $\text{Tet}_6 = -7.305215$;
- Власна провідність матриці Y_{66} : $Y_{66} = -0.022642 + j0.072364$;
- Напруга схемних вузлів (4,8) : U_4, U_8 ;
- Взаємні провідності матриці : Y_{64}, Y_{68} ;
- Поправка до модуля напруги : $dU_6 = 0.014093$
- Поправка до вектору напруги : $d\text{Tet}_6 = 1.078613$



$$U_4 = 117.8527 - j 7.8991$$

$$U_8 = 106.0831 - j 15.0153$$

$$Y_{46} = Y_{64} = 0.012104 - j 0.037329$$

$$Y_{48} = Y_{84} = 0.010537 - j 0.035212$$

Рисунок 1.11 – Дані ярусу вузла 6

5. Вибрати та вивести файл AP_APEZ.RES. В ньому міститься інформація про ітераційний процес. В ньому замість невідомих величин введена «маска» 9999.9999. Загальний вигляд цього файлу зображено на рис. 1.12.

6. Отримати вихідні дані можна з файлів:

S_s : по файлу ESPS19_3.PNT;

$U, U_m, \text{Tet}, dU, d\text{Tet}$: з файлу AP_APEZ.RES

Y_{ss}, Y_{sj} : - обрати лабораторну роботу №2, по файлу ESPS19_3.REZ

В нашому випадку деякі дані повторюються

```

@@@@@ ITER:  2    79.79190
=====
Name          D11          D12          D21          D22
=====
  6          9999.9999    9999.9999    9999.9999    9999.9999

=====
NameN  NameK  V11      V12      V21      V22      H11      H12      H21      H22
=====

Name  UM      Tet      Usa      Usr      F1      F2      dU      dTeta
=====
  6  999.999900  999.999900  111.139849 -12.125865  0.034826  0.045191  0.001111  0.008033

=====
Name      Usa      Usr
=====
  4  117.852721  -7.899052
  8  106.083126 -15.015287
=====

```

Рисунок 1.12 – Файл AP_APEZ.RES

Метод спрощеної матриці Гесе для оптимізації режиму по реактивній потужності реалізовано в LB_APEZ_ZN. Для інтерактивного розрахунку спочатку експортується розрахункова схема та редагується файл ключів (рис.1.12.1)

```

KEYf  KEYs  KEYy  KEYt  EPSr  KITr  KITt
0      0      0      1  0.0001  100    1
=====
LAB11      KEYn  Npz  Nv1  Nv2  Niter
режим N      1    6    4    8    2
=====
LAB12      kEYo  EPSo  KITo  KD
оптимизация Q      1  0.001  50  0.01
=====
LAB13      KEYz  kz1  kz2  kz3
т.к.з. Z      1  107    0    0
=====

```

Рисунок 1.12.1 – Файл ключів LB.APEZ.ZN

Значення ключів ESPr, KITr, KITt, Npz, Nv1, Nv2, Niter, KEYn, KEYy, KEYt, KEYf, описані раніше. Для оптимізації використовуються ключі:

KEY₀ – ключ для обирання режиму оптимізації. При значенні 0 оптимальні значення Q_{ky} обираються автоматично. При значенні 1 реалізується інтерактивний режим.

ESP₀, KIT₀ – точність розрахунків та максимальна кількість кроків для процесу ітераційного спуску;

KD – параметр для вибору кроку чисельного диференціювання

$$\frac{\delta \Delta P}{\delta Q} \approx \frac{\Delta P - \Delta P_i}{\Delta Q_i},$$

$$\Delta Q_i = U_H * KD$$

Для проведення оптимізації вибираємо два найбільш віддалених вузла від джерела живлення, це вузол 302 и 203 на ПС 35/10 кВ, данні вузлі мають номінальну напругу 10 кВ, заповнимо для них файли vqs и vus, зображених рисунку 1.12.2 та 1.12.3, враховуючи допустимі області значень.

Nuz	Qmin	Qmax
203	-200	200
302	-200	200

Рисунок 1.12.2 – Файл ключів ESPS19_3. vqs.

Nuz	Umin	Umax
-203	9.5	11
-302	9.5	11

Рисунок 1.12.3 – Файл ключів ESPS19_3. vus.

$$Q_{min} \leq Q \leq Q_{max}, -200 \leq 0 \leq 200$$

Суть інтерактивного режиму полягає в наступному: на кожному кроці спуску показуються певні параметри для вузла, в якому проводиться оптимізація, а саме:

Qs – значення поточної реактивної потужності;

dQt – величина кроку чисельного диференціювання;

DPT – величина втрат в цій режимній точці;

dDPT – величина втрат в цій режимній точці з виділеною змінною частиною;

dDP1 – величина втрат з виділеною змінною частиною для навантаження $Q_s + dQ_t$;

dDP2 – обсяг втрат з виділеною змінною частиною для навантаження $Q_s + 2dQ_t$;

MM – величина масштабу виділених змінних частин втрат.

На основі обрахованих програмою даних необхідно розрахувати значення реактивної потужності у вузлі Q_{nov} . На рис. 1.13 зображено сім кроків оптимізації.

Отже:

Отримано послідовність зміни Q_S для вузла 302.

$Q_{302} = 2.5000 \rightarrow -0.7000 \rightarrow -5.7400 \rightarrow \dots$

Отримано послідовність зміни Q_S для вузла 203:

$Q_{203} = 2.5000 \rightarrow -5.4000 \rightarrow -9.9600 \rightarrow \dots$

```
1 203 -5.4000 0.10000 8.5846184 0.8461841 0.8860475 0.9266101 10
2 302 -0.7000 0.10000 8.5846184 0.8461841 0.8762094 0.9065938 10
### iter= 1 0.06989 0.09100 ###

1 203 -9.9600 0.10000 8.3793708 0.7937076 0.8081770 0.8244062 10
2 302 -5.7400 0.10000 8.3793708 0.7937076 0.7983194 0.8033338 10
### iter= 2 0.01908 0.05081 ###

1 203 -10.7400 0.10000 8.3683961 0.8396131 0.8507840 0.9679100 100
2 302 -6.0800 0.10000 8.3683961 0.8396131 0.7619348 0.7977537 100
### iter= 3 0.00888 0.01020 ###

1 203 -10.7400 0.10000 8.3674766 0.7476561 0.8596618 0.9872427 100
2 302 -6.0200 0.10000 8.3674766 0.7476561 0.7836139 0.8218599 100
### iter= 4 0.01480 0.00591 ###

1 203 -11.4000 0.10000 8.3593309 0.5933091 0.6022564 0.6121823 10
2 302 -6.5000 0.10000 8.3593309 0.3309118 0.4486081 0.6359914 1000
### iter= 5 0.01012 0.00467 ###

1 203 -12.3000 0.10000 8.3525619 0.2561866 0.3139689 0.3765424 100
2 302 -6.5000 0.10000 8.3525619 0.5618656 0.7230361 0.9059207 1000
### iter= 6 0.00739 0.00273 ###

1 203 -13.4700 0.10000 8.3484033 0.4033266 0.5299125 0.7030877 1000
2 302 -6.7000 0.10000 8.3484033 0.4033266 0.4806164 0.5377034 1000
### iter= 7 0.00204 0.00535 ###
```

Рисунок 1.13 – Результати діалогу

Отримано зміну втрат:

$\Delta P = 9.263 \rightarrow 8.585 \rightarrow 8.379$

Отримано збіжність процесу:

$\text{grad} = 0.16088 \rightarrow 0.06989 \rightarrow 0.01908 \rightarrow \dots$

1.3 Розрахунок режиму методом Ньютона

При розрахунку режиму використовуючи метод Ньютона використовують загальне рівняння зв'язку струмів та напруг електричної мережі.

$$[\dot{Y}] \cdot [\dot{U}] - [\dot{I}] = [F] \quad (1.1)$$

Для будь-якого вектору $[\dot{U}]$ кожне рівняння виразу має нев'язка \dot{F}_i , які в точній точці рішення дорівнюють нулю. Якщо помножити обидві частини загального рівняння (1.1) на діагональні елементи матриці спряжених напруг, то отримаємо:

$$\mathbf{d}[\hat{\mathbf{U}}] \cdot [\dot{\mathbf{Y}}] \cdot [\dot{\mathbf{U}}] = \mathbf{d}[\hat{\mathbf{U}}] \cdot [\dot{\mathbf{i}}] = [\dot{\hat{\mathbf{S}}}] \quad (1.2)$$

Для окремих рядків системи в алгебраїчній формі рівняння стану мають вигляд:

$$\hat{\mathbf{S}}_i - \sum \hat{\mathbf{U}}_i \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{ij} \cdot \dot{\mathbf{U}}_j = \dot{\mathbf{F}}_i \quad (1.3)$$

Рішення нелінійної системи методом Ньютона в комплексному просторі має вигляд:

$$[\mathbf{J}] \cdot [\Delta \dot{\mathbf{X}}] = -[\dot{\mathbf{F}}] \quad (1.4)$$

де $[\mathbf{J}]$ – матриця Якобі, в якій містяться частинні похідні $\partial \dot{\mathbf{F}}_i / \partial \dot{\mathbf{U}}_i$,
 $[\Delta \dot{\mathbf{X}}] = [\Delta \dot{\mathbf{U}}]$

Розглянута комплексна функція є неаналітичною (похідні не можуть бути розраховані) і лінеаризована система представляється некоректною. Доводиться переходити в дійсну область подвоєної розмірності і записувати рівняння за дійсною і уявною складовою окремо. Позначимо похідні комплексних чисел:

$$\widehat{\mathbf{U}}_i \cdot \dot{\mathbf{U}}_j \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{ij} = \mathbf{p}_{ij} + j\mathbf{q}_{ij}, \text{ де } i \neq j. \quad (1.5)$$

Після виділення складових при $i = j$ та враховуючи від'ємний знак Q_i отримаємо

наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} P_i - U_i^2 G_{ii} - \sum p_{ij} = F_i \\ Q_i + U_i^2 B_{ii} + \sum q_{ij} = F_i^* \end{cases} \quad (1.6)$$

Вхідні в систему комплексні змінні мають вигляд:

$$\begin{aligned} U_i^2 &= U a_i^2 + U r_i^2 \\ \dot{\mathbf{Y}}_{ij} &= \dot{\mathbf{G}}_{ij} + j\dot{\mathbf{B}}_{ij} \end{aligned} \quad (1.7)$$

$$\begin{aligned} \widehat{\mathbf{U}}_i &= U a_i - jU r_i = U_i (\cos \theta_i - j \sin \theta_i) \\ \dot{\mathbf{U}}_j &= U a_j + jU r_j = U_j (\cos \theta_j - j \sin \theta_j) \end{aligned}$$

Після виконання ряду математичних перетворень можна отримати з системи другу форму рівнянь стану мережі, де в явному виді використовуються змінні U та Θ :

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{cases} P_i - U_i^2 G_{ii} - \sum U_i U_j \alpha_{ij} = 0 = F_i \\ Q_i + U_i^2 B_{ii} - \sum U_i U_j \beta_{ij} = 0 = F_i^*, \end{cases} \quad (1.8)$$

де $\alpha_{ij} = G_{ij} \cdot \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \cdot \sin(\theta_i - \theta_j)$,

$\beta_{ij} = G_{ij} \cdot \sin(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \cdot \cos(\theta_i - \theta_j)$

Перша форма більш економічна при обчисленнях, так як не потребує окремого обчислення функцій косинусу та синусу. І перша, і друга форми використовують полярні координати.

Лінеаризоване рівняння Ньютона в дійсному просторі подвоєної розмірності представляється в наступному вигляді:

$$[J] \cdot [\Delta X] = -[F], \quad (1.9)$$

в якому елементи векторів та матриць є блочними структурами:

$$J_{ij} = \begin{bmatrix} \partial F_i / \partial U_j & \partial F_i / \partial \theta_j \\ \partial F_i^* / \partial U_j & \partial F_i^* / \partial \theta_j \end{bmatrix}; \quad \Delta X_j = \begin{bmatrix} \Delta U \\ \Delta \theta \end{bmatrix}; \quad F_i = \begin{bmatrix} F_i \\ F_i^* \end{bmatrix}. \quad (1.10)$$

Зв'язок між формами можна представити у наступних виразах:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(\widehat{U}_i \dot{U}_j \dot{Y}_{ij}) &= p_{ij} = U_i U_j \alpha_{ij} \\ \operatorname{Im}(\widehat{U}_i \dot{U}_j \dot{Y}_{ij}) &= q_{ij} = -U_i U_j \beta_{ij} \end{aligned} \quad (1.11)$$

Формули для розрахунку похідних показані на рис. 1.14.

Згідно блокової факторизації матриця Якобі розміщується в векторах:

- діагональ:

$$D_{11} = -2 \cdot G_s \cdot U^2 - \sum p_{ij}; \quad D_{12} = \sum q_{ij};$$

$$D_{21} = 2 \cdot B_s \cdot U^2 + \sum q_{ij}; \quad D_{22} = \sum p_{ij};$$

- верхня трикутна матриця

$$V_{11} = -p_{ij}; \quad V_{12} = -q_{ij}; \quad V_{21} = q_{ij}; \quad V_{22} = -p_{ij};$$

- нижня трикутна матриця:

$$H_{11} = -p_{ji}; \quad H_{12} = -q_{ji}; \quad H_{21} = q_{ji}; \quad H_{22} = -p_{ji};$$

- нев'язки:

$$F = P_s - G_s \cdot U^2 - \sum p_{ij}; \quad F^* = Q_s + B_s \cdot U^2 - \sum q_{ij}$$

					141.5110.001.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Для обох форм часткові похідні мають вигляд, проілюстрований на рис. 1.14. Матричне представлення рівняння Ньютона для розмірності 3x3 в першій формі зображено на рис. 1.15

Форма 2	Форма 1
$\frac{\partial F_i}{\partial U_j}(i=j) = -2G_{ii}U_i - \sum U_j\alpha_{ij}$	$= 1/U_i(-2U_i^2G_{ii} - \sum p_{ij})$
$\frac{\partial F_i}{\partial U_j}(i \neq j) = -U_i\alpha_{ij}$	$= \frac{1}{U_i} \cdot p_{ij}$
$\frac{\partial F_i^*}{\partial U_j}(i=j) = 2B_{ii}U_i - \sum U_j\beta_{ij}$	$= 1/U_i(-2U_i^2B_{ii} + \sum q_{ij})$
$\frac{\partial F_i^*}{\partial U_j}(i \neq j) = -U_i\beta_{ij}$	$= \frac{1}{U_i} \cdot q_{ij}$
$\frac{\partial F_i}{\partial \theta_j}(i=j) = \sum U_iU_j\beta_{ij}$	$= \sum q_{ij}$
$\frac{\partial F_i}{\partial \theta_j}(i \neq j) = -U_iU_j\beta_{ij}$	$= -q_{ij}$
$\frac{\partial F_i^*}{\partial \theta_j}(i=j) = \sum U_iU_j\alpha_{ij}$	$= \sum p_{ij}$
$\frac{\partial F_i^*}{\partial \theta_j}(i \neq j) = -U_iU_j\alpha_{ij}$	$= -p_{ij}$

Рисунок 1.14 – Розрахункові формули часткових похідних для методу Ньютона (перша та друга форма)

$(-2G_{11}U_1^2 - \sum p_{1j})/U_1$	$\sum q_{1j}$	$-p_{12}/U_2$	$-q_{12}$	$-p_{13}/U_3$	$-q_{13}$
$(2B_{11}U_1^2 + \sum q_{1j})/U_1$	$\sum p_{1j}$	q_{12}/U_2	$-p_{12}$	q_{13}/U_3	$-p_{13}$
$-p_{21}/U_1$	$-q_{21}$	$(-2G_{22}U_2^2 - \sum p_{2j})/U_2$	$\sum q_{2j}$	$-p_{23}/U_3$	$-q_{23}$
q_{21}/U_1	$-p_{21}$	$(2B_{22}U_2^2 + \sum q_{2j})/U_2$	$\sum p_{2j}$	q_{23}/U_3	$-p_{23}$
$-p_{31}/U_1$	$-q_{31}$	$-p_{32}/U_2$	$-q_{32}$	$(-2G_{33}U_3^2 - \sum p_{3j})/U_3$	$\sum q_{3j}$
q_{31}/U_1	$-p_{31}$	q_{32}/U_2	$-p_{32}$	$(2B_{33}U_3^2 + \sum q_{3j})/U_3$	$\sum p_{3j}$

Рисунок 1.15 – Блочно-матричне подання матриці Якобі

Із структури видно, що елементи похідних dF/dU діляться на модуль U_i . Завдяки цьому можна представити матрицю у вигляді добутку спрощеного варіанту цієї матриці на діагональну блочні матрицю, яка має вигляд:

$$D = \begin{bmatrix} U_i^{-1} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Тоді лінеаризована система зі спрощеною матрицею Якобі має вигляд:

$$[J^*] \cdot [D] \cdot [\Delta X] = [J^*] \cdot [\Delta X^*] = -[F]$$

					141.5110.001.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Спрощена матриця Якобі має вигляд, показаний на рис. 1.16.

$(-2G_{11}U_1^2 - \sum p_{1j})$	$\sum q_{1j}$	$-p_{12}/U_2$	$-q_{12}$	$-p_{13}/U_3$	$-q_{13}$
$(2B_{11}U_1^2 + \sum q_{1j})$	$\sum p_{1j}$	q_{12}/U_2	$-p_{12}$	q_{13}/U_3	$-p_{13}$
$-p_{21}/U_1$	$-q_{21}$	$(-2G_{22}U_2^2 - \sum p_{2j})$	$\sum q_{2j}$	$-p_{23}/U_3$	$-q_{23}$
q_{21}/U_1	$-p_{21}$	$(2B_{22}U_2^2 + \sum q_{2j})$	$\sum p_{2j}$	q_{23}/U_3	$-p_{23}$
$-p_{31}/U_1$	$-q_{31}$	$-p_{32}/U_2$	$-q_{32}$	$(-2G_{33}U_3^2 - \sum p_{3j})$	$\sum q_{3j}$
q_{31}/U_1	$-p_{31}$	q_{32}/U_2	$-p_{32}$	$(2B_{33}U_3^2 + \sum q_{3j})$	$\sum p_{3j}$

Рисунок 1.16 – Структура спрощеної матриці Якобі

Для обчислення використано алгоритм (конспект лекцій, ст. 115, 116). Проведено розрахунок значень елементів матриці Якобі (діагональні, верхньої та нижньої трикутних матриць), правої частини лінеаризованого рівняння (нев'язки F1, F2) та нові значення напруги (U_M , Tet). Обрахунок проводиться відповідно до завдання для другої ітерації, для 6-го вузла, для гілки 6-100.

Розрахунок проводиться наступним чином:

1.3.1 Розрахунок модуля напруги вузла 6 (U_M): $U'_6 = U^{(t-1)} - U^{(t-1)} \cdot dU^{(t-1)} = 113.219974 - (113.219974 \cdot 0.015389) = 111.477632$ кВ

1.3.2 Кут заданого вузла (Tet):

$$Tet'_6 = Tet^{(t-1)} + dTet^{(t-1)} = -8.308548 + 1.276874 = -7.031674$$

1.3.3 Напруга заданого вузла (U_{sa} , U_{sr})

$$\dot{U}_6 = 111.477632 \angle -7.031674 = 110.639455 - j13.647546 \text{ кВ}$$

1.3.4 Розрахунок $p_{ij} + jq_{ij} = \hat{U}_i \cdot \dot{U}_j \cdot \dot{Y}_{ij}$

$$\begin{aligned} p_{6-4} + jq_{6-4} &= \hat{U}_6 \cdot \dot{U}_4 \cdot \dot{Y}_{6-4} = \\ &= (110.639455 + j13.647546) \cdot (120.519938 - j7.384071) \cdot (0.012104 - j0.037329) = 193.520000 - j491.496000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{4-6} + jq_{4-6} &= \hat{U}_4 \cdot \dot{U}_6 \cdot \dot{Y}_{4-6} = \\ &= (120.519938 + j7.384071) \cdot (110.639455 - j13.647546) \cdot (0.012104 - j0.037329) = 131.716000 - j511.536000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_{6-8} + jq_{6-8} &= \hat{U}_6 \cdot \dot{U}_8 \cdot \dot{Y}_{6-8} = \\
 &= (110.639455 + j13.647546) \cdot (108.26042 - j15.89669) \\
 &\cdot (0.010537 - j0.035212) = 118.591000 - j432.368000
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_{8-6} + jq_{8-6} &= \hat{U}_8 \cdot \dot{U}_6 \cdot \dot{Y}_{8-6} = \\
 &= (108.26042 + j15.89669) \cdot (110.639455 + j13.647546) \\
 &\cdot (0.010537 - j0.035212) = 138.402000 - j426.440000
 \end{aligned}$$

1.3.5 Розрахунок сум $\sum p_{ij}, \sum q_{ij}$:

$$\sum p_{6-j} = p_{6-4} + p_{6-8} = 193.52 + 118.591 = 312.111$$

$$\sum q_{6-j} = q_{6-4} + q_{6-8} = (-491.496) + (-432.368) = -923.864$$

1.3.6 Розрахунок правої частини системи рівнянь:

$$\begin{aligned}
 F_6 &= P_6 - G_6 \cdot U_6^2 - \sum p_{6-j} = \\
 &= 15 - (-0.065969 \cdot 111.478^2) - 312.111 = 522.709
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F'_6 &= Q_6 + B_6 \cdot U_6^2 + \sum q_{6-j} = 7 + 0.176577 \cdot 111.478^2 + \\
 &+ (-923.864) = 1277.519
 \end{aligned}$$

1.3.7 Сформуємо на основі виконаних розрахунків блок діагонального елемента та блоки трикутних матриць для заданої в завданні гілки:

$$D = \begin{matrix} D_{11} = -2G \cdot U^2 - \sum p_{ij} & D_{12} = \sum q_{ij} \\ D_{21} = 2B_s \cdot U^2 + \sum q_{ij} & D_{22} = \sum p_{ij} \end{matrix} \quad V, H = \begin{matrix} -p & -q \\ q & -p \end{matrix}$$

1.3.8 Перепишемо еталонний формат результату з файлу AP_APEZ.ETA в порожній файл пропонованого результату AP_APEZ.REZ. Структура файлу показана на рис. 1.17

					141.5110.001.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

R	Name	D11	D12	D21	D22
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

NameN	NameK	V11	V12	V21	V22	H11	H12	H21	H22
0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Name	F1	F2	UM	Teta
0	0	0.0000	0.0000	0.0000

Рисунок 1.17 – Вигляд еталонного файлу AP_APEZ.ETA

1.3.9 Заповнимо цей файл результатами розрахунків. Вміст цього файлу (AP_APEZ.REZ) проілюстровано на рис. 1.18

R	Name	D11	D12	D21	D22
0	10	1382.6860	-3346.3084	3329.5379	1406.6673

NameN	NameK	V11	V12	V21	V22	H11	H12	H21	H22
0	10	9	-259.4999	655.4997	-655.4997	-259.4999	-283.8329	645.3363	-645.3363

Name	F1	F2	UM	Tet
0	10	0.0094	0.0147	118.5131

Рисунок 1.18 - Файл AP_APEZ.REZ

1.3.10 Якщо в AP_APEZ.RES зникає маскування невідомих величин. Нове значення цього файлу приведено на рис. 1.19. Кінцевий результат розрахунку приведено на рис. 1.20.

```
!!!! ITER: 3 4.24003
```

Name	D11	D12	D21	D22
6	755.5752	-2069.5682	2055.5685	785.5730

NameN	NameK	V11	V12	V21	V22	H11	H12	H21	H22
-------	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Name	UM	Tet	Usa	Usr	F1	F2	dU	dTeta
6	108.077838	-8.602297	106.862004	-16.165740	0.001092	0.000126	0.000011	-0.000011

Рисунок 1.19 – Результат інтерактивного розрахунку режиму


```

***** (N_REGIM_S) File= esps19_3/ iter= 5/ EPS=0.000100 *****
1      -3071.60000
2       87.01323
3       4.24003
4       0.02756
.....
END= 5      0.00000
=====
Nnn  Name  UM      Tet      Usa      Uss      Pss      Qss      Pgs      Qgs      Pbs      Qbs      prb
=====
1    1 340.000  0.000  340.000   0.000 -234.399 -68.451   0.324 -19.284 -256.907 -98.834   1
2    2 336.285 -1.942  336.092 -11.394  200.000 120.000   0.351 -53.739   0.000   0.000   0
=====
SUMMA :  465.900  273.300   1.728 -116.216 -478.058 -225.265
BALANS:                                10.430   68.182
DP=      12.157652

```

Рисунок 1.20 – Результат розрахунку режиму

1.3.11 Виконаємо оптимізацію режиму, для обчислення користуючись алгоритмом згідно конспекту лекцій.

1.4 Оптимізація режиму методом другого порядку

При проведенні оптимізації цільової функції методом спуску важливою є питання формалізації вибору кроку спуску і динаміки його зміни в оптимізаційному процесі. Обсяг кроку спуску обирається користувачем, що призводить до більших витрат часу та більшої відповідальності персоналу.

Оптимізація з використанням методу спуску за антиградієнтом, коли попередньо відомо, що критерій оптимальності є квадратичною формою, має наступний загальний вигляд процесу:

1. Стандартний математичний вираз має вигляд:

$$[\mathbf{X}]^{(k+1)} = [\mathbf{X}]^{(k)} + \lambda \left[\frac{\partial F}{\partial \mathbf{X}} \right]^{(k)}, \quad (1.12)$$

де $[\mathbf{X}]^{(k)}, [\mathbf{X}]^{(k+1)}$ - вектори невизначених до та після k-го кроку оптимізації;

F – квадратична форма критерію оптимальності;

$\left[\frac{\partial F}{\partial \mathbf{X}} \right]^{(k)}$ – вектор-градієнт у цій точці простору.

λ – оптимальний або обраний крок спуску.

2. Наведений вираз можна розглядати у формі з поправками координат

$$[\mathbf{X}]^{(k+1)} = [\mathbf{X}]^{(k)} + [\Delta \mathbf{X}]^{(k)} \quad (1.13)$$

Оптимальне виправлення $\Delta X_i^{\text{опт}}$ можна визначити завдяки тому що для квадратичної форми функція $f[\frac{\partial F}{\partial X}]$ являється за кожною координатою незалежно лінійною. Це забезпечує рух за окремими координатами до точки глобального оптимуму:

$$\Delta X_i^{\text{опт}} = X_i + \Delta X_i^{\text{опт}} \quad (1.14)$$

3. Маючи $\Delta X_i^{\text{опт}}$, можна запропонувати оптимізаційний процес:

$$[X]^{(k+1)} = [X]^{(k)} + d[\omega][\Delta X_i^{\text{опт}}]^{(k)} \quad (1.15)$$

де $d[\omega]$ - діагональна матриця коефіцієнтів, яку обчислюють для кроків спуску по різних координатах квадратичної форми.

На кожному кроці спуску обраховуються часткові похідні $\partial \Delta P / \partial Q_i$. Основуючись на тому, що явна функція для розрахунку втрат для складної ел. мережі відсутня (загальне математичне рішення доволі велике за обсягом), доцільно користуватися методом чисельного диференціювання. Для цього необхідно використовувати швидкодіючу програму для розрахунку усталеного режиму, яка розрахувати значення втрат з достатньо високою точністю ($10^{-5} \div 10^{-7}$). Це може бути програма розрахунку методом Ньютона. Завдяки високій розрахунковій точності можливо задіяти найпростіші варіанти чисельного диференціювання на підставі двох близько розташованих точок функції критерію $\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_i} \approx (\Delta P - \Delta P_i) / \Delta Q_i$, де ΔQ_i - зростання реактивної потужності до значення Q_i ; $\Delta P, \Delta P_i$ - значення втрат та нове значення втрат (з урахуванням збільшення ΔQ_i). Величина Q_i може бути обрана автоматично залежно від номінального рівня напруги в точці регулювання. $\Delta Q_i^{\text{опт}}$ можна розрахувати за кожною координатою. Для цього необхідно формалізувати обчислення коефіцієнтів для лінійного рівняння $y = ax + b$ за двома точками, що задані $[x_1, y_1], [x_2, y_2]$.

1 крок. Запускаємо EKLAB.exe, задаємо $N_{\text{лаб}}=12$, схема = ESPS19_3

- Маємо таблицю даних для першого кроку оптимізації

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.7 – Дані для першого кроку оптимізації

Вузол	Q	dQt	dPt	dDPt	dD1	dD2	MM
302	2.5	0,1	9.2629875	0.6298746	0.7372104	0.8457565	10
203	2.5	0,1	9.2629875	0.6298746	0.6834228	0.7377192	10

❖ Розрахунок похідних: Вузол 302:

$$GR1 = \frac{(dDPt - dD1)}{dQt} = \frac{0.6298746 - 0.7372104}{0.1} = -1.0734$$

$$GR2 = \frac{(dD1 - dD2)}{dQt} = \frac{0.7372104 - 0.8457565}{0.1} = -1.0855$$

Вузол 203:

$$GR1 = \frac{(dDPt - dD1)}{dQt} = \frac{0.6298746 - 0.6834228}{0.1} = -0.5355$$

$$GR2 = \frac{(dD1 - dD2)}{dQt} = \frac{0.6834228 - 0.7377192}{0.1} = -0.5429$$

❖ Розрахунок оптимальних приростів:

Вузол 203:

$$\Delta Q^{\text{опт}} = \frac{GR1 \cdot dQt}{(GR1 - GR2)} = \frac{(-0.10734) \cdot 0.1}{(-0.10734) - (-0.10855)} = -8.87$$

Вузол 302:

$$\Delta Q^{\text{опт}} = \frac{GR1 \cdot dQt}{(GR1 - GR2)} = \frac{(-0.05355) \cdot 0.1}{(-0.05355) - (-0.05429)} = -7.16$$

❖ Розрахунок коефіцієнт кроку:

$$SGR = \sum GR1^2 = 1.199$$

При розрахунку SGR значення GR1 повинно бути в одному масштабі MM.

$$\text{Вузол 203: } \omega = \frac{|GR1|}{\sqrt{SGR}} = 0.895$$

$$\text{Вузол 302: } \omega = \frac{|GR1|}{\sqrt{SGR}} = 0.446$$

❖ Обрахунок нових значень $Q_{\text{нов}} = Q_s + \omega \cdot \Delta Q^{\text{опт}}$

$$\text{Вузол 203: } 2.5 + 0.895 \cdot (-8.87) = -5,436$$

$$\text{Вузол 302: } 2.5 + 0.446 \cdot (-7.24) = -0,695$$

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

❖ Контроль збіжності $\sum |GR1| = 0.157$

Аналогічно реалізуються кроки 2, 3, 4, ... Відповідно до заданої точності було необхідно 7 кроків спуску.

$$Q_{\text{кувузла302}} = 6,7 \text{ МВАр}$$

$$Q_{\text{кувузла203}} = 13,4 \text{ МВАр}$$

Результати повного процесу спуску наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Результат всього процесу спуску

Nnn	Name	Qs	dQt	DPT	dDPT	dDP1	dDP2	MM
1	203	2.5000	0.10000	9.2629875	0.6298746	0.7372104	0.8457565	10
2	302	2.5000	0.10000	9.2629875	0.6298746	0.6834228	0.7377192	10
### iter= 0 0.16088 0.16088 ###								
1	203	-5.4000	0.10000	8.5846184	0.8461841	0.8860475	0.9266101	10
2	302	-0.7000	0.10000	8.5846184	0.8461841	0.8762094	0.9065938	10
### iter= 1 0.06989 0.09100 ###								
1	203	-9.9600	0.10000	8.3793708	0.7937076	0.8081770	0.8244062	10
2	302	-5.7400	0.10000	8.3793708	0.7937076	0.7983194	0.8033338	10
### iter= 2 0.01908 0.05081 ###								
1	203	-10.7400	0.10000	8.3683961	0.8396131	0.8507840	0.9679100	100
2	302	-6.0800	0.10000	8.3683961	0.8396131	0.7619348	0.7977537	100
### iter= 3 0.00888 0.01020 ###								
1	203	-10.7400	0.10000	8.3674766	0.7476561	0.8596618	0.9872427	100
2	302	-6.0200	0.10000	8.3674766	0.7476561	0.7836139	0.8218599	100
### iter= 4 0.01480 0.00591 ###								
1	203	-11.4000	0.10000	8.3593309	0.5933091	0.6022564	0.6121823	10
2	302	-6.5000	0.10000	8.3593309	0.3309118	0.4486081	0.6359914	1000
### iter= 5 0.01012 0.00467 ###								
1	203	-12.3000	0.10000	8.3525619	0.2561866	0.3139689	0.3765424	100
2	302	-6.5000	0.10000	8.3525619	0.5618656	0.7230361	0.9059207	1000
### iter= 6 0.00739 0.00273 ###								
1	203	-13.4700	0.10000	8.3484033	0.4033266	0.5299125	0.7030877	1000
2	302	-6.7000	0.10000	8.3484033	0.4033266	0.4806164	0.5377034	1000
### iter= 7 0.00204 0.00535 ###								

Таким чином економія витрат склала

$$\Delta DP = 9.262975 - 8.348033 = 0.914942 \text{ МВт}$$

З ціллю економічного розміщення реактивної потужності на ПС-2 розмістимо сумарну потужність 13.4 МВАр на шинах 10 кВ :

$$Q_{202} = 6 \text{ МВАр}$$

$$Q_{203} = 7.4 \text{ МВАр}$$

					141.5110.001.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Аналогічно зробимо такий розділ и для ПС-3 на шинах 10 кВ :

$$Q_{302} = 3 \text{ МВАр}$$

$$Q_{303} = 3.7 \text{ МВАр}$$

Занесемо данні в файл uzl для схеми РАОТП,при цьому розрахуємо новий режим в структурі РАОТП и отримаємо втрати $P = 8,326 \text{ МВт}$

Однак у мережі 110/35/10 маємо завищену напругу у вузлах 103,403, 206, 207, 202,203 ,що говорить нам про знаходження режиму не в допустимій області.

Щоб перевести режим в допустиму область регулюємо РПН на трансформаторах:

- На трансформаторах 401-416,400-415 переводимо с положення 10 в положення 11
- На трансформаторах 200-202,201-203 переводимо с положення 6 в положення 9
- На трансформаторах 100-113,101-114 переводимо с положення 6 в положення 9

В результаті розрахував режим в даних умовах, отримаємо $P = 8.170 \text{ МВт}$

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

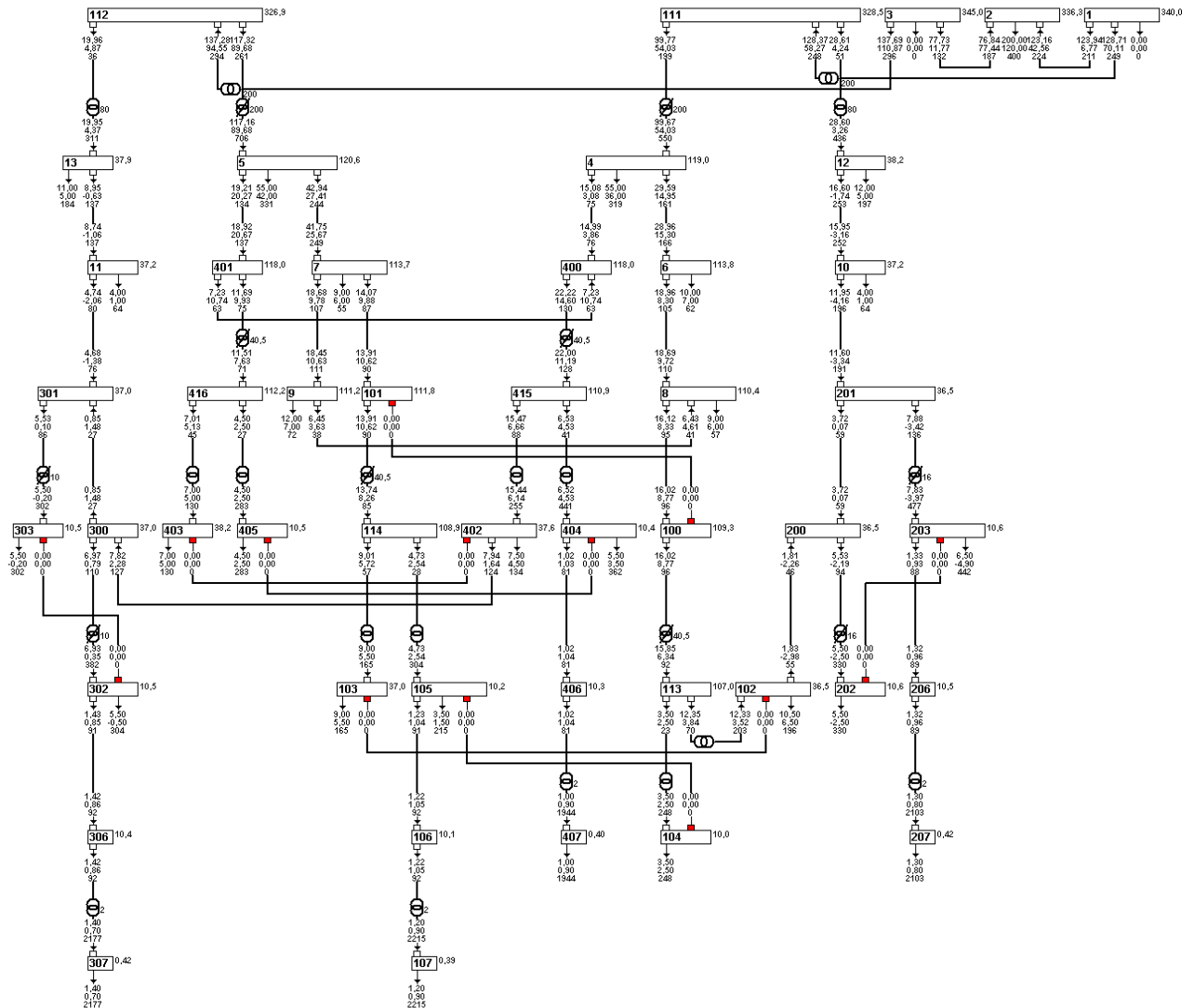


Рисунок 1.21 – Розрахункова схема оптимізованого режиму, що знаходиться допустимій області

Схема : ESPS19_3 (Дата расчета: 02.04.2020 17:19:19)
 Узлов=47 Ветвей=57 Контуров=5 БП=2 Φ M=0

Точность расчета : 1E-6
 Невязка по напряжению : 0,000000, узел: 113
 Невязка по конт.токам : 0,000000
 Количество итераций : 14, время расчета: 0.212 сек

Потребление : 459.9000000 МВт 282.8000000 МВАр
 Генерация : -468.0700323 МВт -219.6234437 МВАр
 Балансная мощность : 0.0000000 МВт 0.0000000 МВАр
 Потери в схеме : 8.1700323 МВт -63.1765562 МВАр
 Нагрузочные потери : 6.3251858 МВт 53.1820105 МВАр
 от актив.перетоков: 5.0366676 МВт
 от реакт.перетоков: 1.2885181 МВт
 Потери холост.хода : 1.8448466 МВт -116.3585667 МВАр
 шунтирующие реакт.: 0.0000000 МВт 0.0000000 МВАр
 конденсатор. уст. : 0.0000000 МВт 0.0000000 МВАр
 Небаланс в схеме : -0.0000001 МВт -0.0000000 МВАр

Рисунок 1.22 – Розрахунки схеми оптимізованого режиму, що знаходиться допустимій області

1.5 Метод розрахунку трифазного к.з. в середовищі Z-режиму

Для визначення струмів короткого замикання розрахункову схему приводять до одного рівня напруги та перетворюють до $X_{\text{екв}}$. Щоб отримати струмозподіл у повній схемі виконують обернений розворот еквівалентного опору до вихідної схеми. Алгоритми розрахунку струмів короткого замикання стандартних програм для розрахунку режиму базуються на електротехнічній залежності струмів і напруг через матрицю опорів:

$$[Y] \cdot [U] = [I].$$

В результаті обчислення струмів короткого замикання отримаємо напругу всіх вузлів, завдяки якій можна розрахувати струмозподіл струмів короткого замикання і вузловий струм короткого замикання заданого вузла.

Використовуючи розрахунковий комплекс EKLAV можна отримати значення струмів короткого замикання. Для цього у файлі ключів програми (AP_AKEY.PAS) необхідно занулити поперечні провідності та навантаження, додати в якості балансуєвих пунктів вузли, де присутнє коротке замикання, обчислити струми в гілках та нормальний режим:

$$I_{\text{кз}} = (U_{\text{поч}} - U_{\text{кін}}) / (\sqrt{3} \cdot Z_{\text{л}})$$

Отже, налаштування файлу ключів такі:

- **KEYz** – ключ для обрахунку струмів короткого замикання. (значення = 1)
- **KEYy** – ключ для відімкнення поперечних провідностей. (значення = 1)
- **KEYs** – ключ для відімкнення навантажень. (значення = 1)
- **kz1, kz2, kz3** – номери вузлів, в яких одночасно відбувається коротке замикання.

На рис. 1.23 наведено результати розрахунку короткого замикання у вузлі 302, на рис. 1.24 - струморозподіл при короткому замиканні у вузлі 302.

Nnn	Name	UM	Tet	Usa	Usr	Nnn	NameN	NameK	TKZ
1	1	340.000	0.000	340.000	0.000	1	1	2	-0.033
2	2	341.852	-0.000	341.852	-0.000	2	2	3	-0.033
3	3	345.000	0.000	345.000	0.000	3	4	6	0.014
4	4	121.726	-0.110	121.726	-0.233	4	5	7	0.023
5	5	122.542	-0.349	122.540	-0.747	5	6	8	0.014
6	6	121.136	-0.181	121.135	-0.383	6	7	9	0.023
7	7	121.708	-0.327	121.706	-0.694	7	8	9	-0.023
8	8	120.509	-0.265	120.508	-0.556	8	12	10	-0.100
9	9	121.023	-0.291	121.021	-0.615	9	13	11	0.498
10	10	40.953	-0.054	40.953	-0.038	10	1	111	0.041
11	11	28.435	1.717	28.422	0.852	11	111	4	0.053
12	12	39.466	0.032	39.466	0.022	12	111	12	-0.012
13	13	37.256	-0.879	37.252	-0.572	13	3	112	0.132
14	111	335.883	-0.122	335.882	-0.717	14	112	5	0.074
15	112	331.752	-0.367	331.746	-2.125	15	112	13	0.058
16	100	119.956	-0.259	119.954	-0.542	16	8	100	0.036
17	101	121.708	-0.327	121.706	-0.694	17	7	101	-0.000
18	102	42.009	-0.808	42.004	-0.593	18	4	400	0.133
19	103	43.808	-0.327	43.808	-0.250	19	5	401	0.179
20	104	11.576	-0.607	11.575	-0.123	20	102	200	0.100
21	105	11.948	-0.327	11.948	-0.068	21	10	201	-0.100
22	113	123.477	-0.607	123.470	-1.308	22	402	300	0.919
23	114	127.443	-0.327	127.441	-0.726	23	11	301	0.498
24	106	11.948	-0.327	11.948	-0.068	24	100	113	0.036
25	107	0.478	-0.327	0.478	-0.003	25	113	102	0.034
26	200	41.586	-0.511	41.584	-0.371	26	113	104	0.000
27	201	41.585	-0.511	41.584	-0.371	27	101	114	0.000
28	202	12.441	-0.511	12.441	-0.111	28	114	103	0.000
29	203	12.441	-0.511	12.441	-0.111	29	114	105	0.000
30	206	12.441	-0.511	12.441	-0.111	30	105	106	0.000
31	207	0.510	-0.511	0.510	-0.005	31	106	107	0.000
32	400	119.151	0.238	119.150	0.495	32	200	201	0.100
33	401	119.151	0.238	119.150	0.494	33	200	202	0.000
34	402	29.898	-1.846	29.883	-0.963	34	201	203	-0.000
35	403	40.353	0.238	40.353	0.167	35	203	206	0.000
36	404	9.298	-0.933	9.297	-0.151	36	206	207	0.000
37	405	11.005	0.238	11.005	0.046	37	400	401	-0.179
38	415	99.177	-0.933	99.164	-1.615	38	400	415	0.311
39	416	117.391	0.238	117.390	0.487	39	415	402	0.316
40	406	9.298	-0.933	9.297	-0.151	40	415	404	0.000
41	407	0.372	-0.933	0.372	-0.006	41	401	416	0.000
42	300	26.512	5.770	26.377	2.665	42	416	403	0.000
43	301	26.510	5.773	26.376	2.667	43	416	405	0.000
44	302	7.575	5.770	7.536	0.762	44	404	406	0.000
45	303	0.000	0.000	0.000	0.000	45	406	407	0.000
46	306	7.575	5.770	7.536	0.762	46	300	301	0.919
47	307	0.311	5.770	0.309	0.031	47	300	302	0.000
						48	301	303	1.417
						49	302	306	0.000
						50	306	307	0.000

Рисунок 1.23 – Результати розрахунку с.к.з.

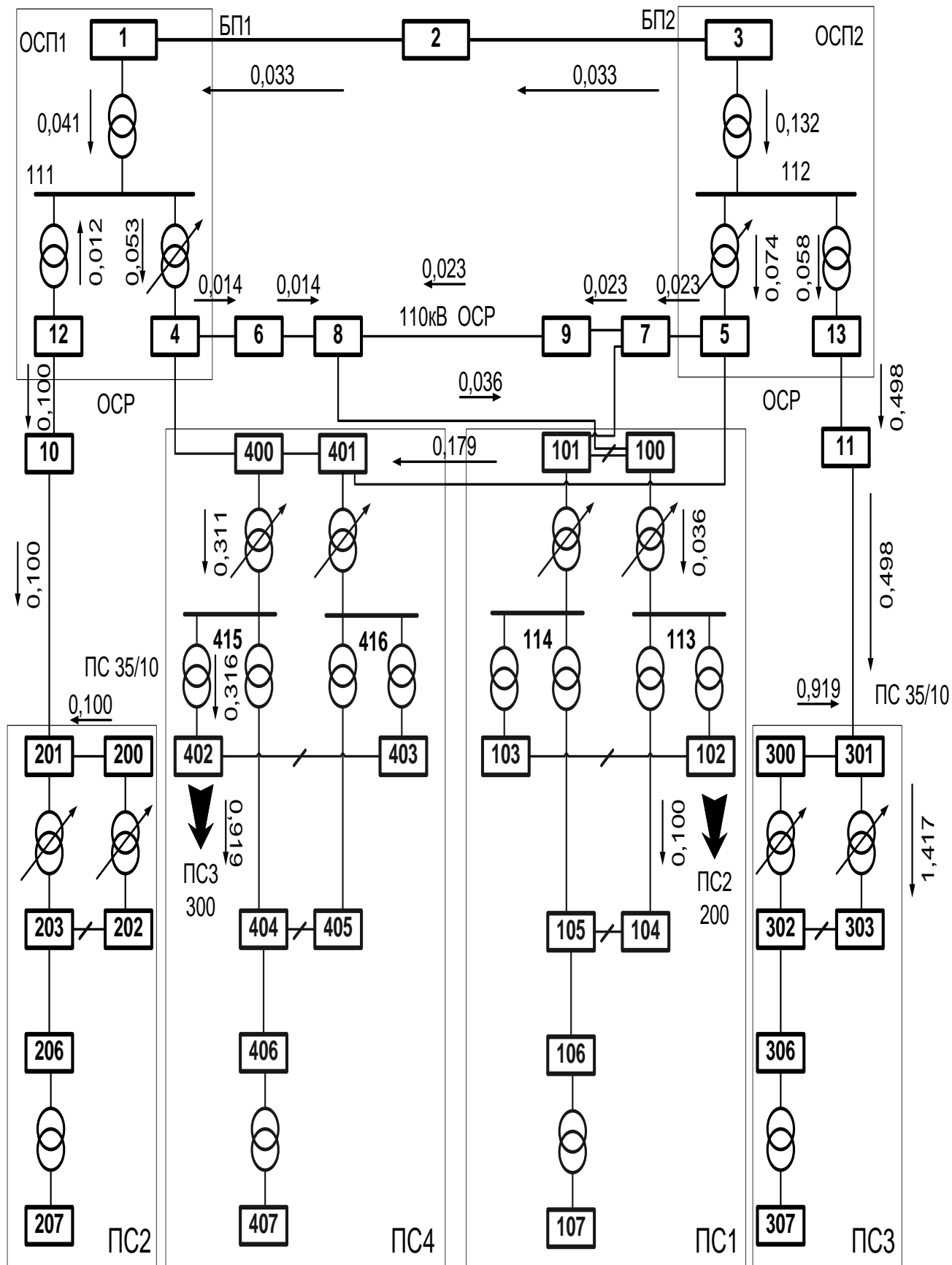


Рисунок 1.24 – Струморозподіл при короткому замиканні у вузлі 302

Висновки

В даному розділі змодельовано розрахункову схему з вузлами та гілками мережі 330/110/35/10 кВ. Розроблена індивідуальна схема має дві частини – системну (ОСП) та розподільчу (ОСР). Для цієї схеми проведено розрахунок, аналіз та оптимізацію режимів. Вивчили однолінійну схему, дізналися її побудову та об’єкти з яких вона складається.

Усталений режим обраховуємо за допомогою методу Ньютона з матрицею Якобі. Далі використовуємо градієнтний метод спуску другого порядку з діагональною матрицею Гесе. Обраховали та задали величину кроку. Для оптимізації реактивних потужностей обрані шини 302 та 203, з напругою 10 кВ підстанції 110/35/10 кВ. За допомогою РПН ввели режим в допустиму область.

При проведенні обрахунків використані як промислові (РАО_ТВ), так й учбові (LB_APEZ) програмні комплекси. В якості основи взяті матеріали з курсів «МЗЕ» та «АПЕЗ».

Розраховали струм короткого замикання та побудували на основі розрахунків струморозподіл мережі.

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ЕТАЛОННОЇ СХЕМИ ДЛЯ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

2.1 Системна компенсація реактивних потужностей. Бар'єрні функції, варіанти обмежень.

Ефективне керування режимами електричних мереж різного рівня ієрархічного підпорядкування в електроенергетиці України – магістральними мережами енергосистем (ЕС), мережами, що є розподільниками для електропередавальних організацій (ЕО) і мережами, що є технологічними для споживачів електроенергії (СЕ) вони безпосередньо пов'язані з реалізацією в мережах компенсації потоків реактивної потужності (КРП), що застосовуються з метою зниження технічних втрат для активної потужності (ТВАП) та забезпечення нормального рівня напруг згідно з нормами та вимогами щодо якості електроенергії.

Наведене твердження загальновідоме і не потребує доказів. Режими електричних мереж ЕС, ЕО та СЕ взаємопов'язані, і рішення по управлінню потоками реактивної потужності, що рекомендовані в проектних, або реалізуються в експлуатаційних варіантах для різних навантажувальних умов кожної із зазначених мережевих структур, також взаємозалежні і повинні корелюватися між собою. Ця режимна залежність може навести до висновку про доцільність, перспективність і необхідність у вирішенні задачі оптимізації режимів по реактивній потужності для всієї об'єднаної енергосистеми України в цілому на об'єднаній схемі 750/330/220/110/35/10 кВ. Необхідність таких розрахунків на сьогодні не підтримується діючими положеннями щодо взаємовідносин суб'єктів енергоринку України і не має формальної підтримки в адміністративному, технологічному, а також інформаційному забезпеченні.

					141.5110.001.ДБ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Мельниченко М.Д.			Розробка еталонної схеми для задач комплексної оптимізації		Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Банін М.Д.						42	24
Реценз.							НТУУ«КПІ ім. І. Сікорського», ФЕА, гр. ЕК-3261-01		
Н. Контр.		Настенко Д.В.							
Затверд.		Толочко О.І.							

Першим практичним рішенням пропонується вважати необхідність виконання розрахунків з компенсації потоків реактивної потужності для мереж ЕС, ЕО та СЕ окремо (принцип діакоптики [2]) з урахуванням системних обмежень на межі балансового розділу (МБР) цих мереж [3].

Диспетчерські служби енергосистем регулярно виконують оптимізаційні розрахунки режимів магістральних мереж 750/330/220 кВ, в тому числі і по оптимальному розподілу реактивних потужностей між їх джерелами за критерієм мінімуму ТВАП. При цьому вузли зв'язку з мережами 110/35/10 кВ ЕО враховуються з еквівалентними навантаженнями. Реалізація оптимізаційних розрахунків, якщо вважати ці вузли перспективними регуляторами реактивної потужності, не становить складності. Отриманий таким чином оптимальний режим ЕС по реактивній потужності дає можливість визначити режимні обмеження по їх потокам у вузлах зв'язку з ЕО. При виконанні цих обмежень можливо вести режими, близькі до загального оптимуму в мережах ЕС та ЕО. Найбільш незабезпеченими щодо компенсації потоків реактивної потужності є мережі електропередавальних організацій 110/35/10 кВ. Можливо, такий стан довгий час визначався некоректною методичною позицією, що ця задача повинна вирішитись автоматично за рахунок компенсації споживання реактивної потужності в мережах потужних промислових споживачів, які стимулюються до цього чинною Методикою [5]. Хибність позиції доводиться балансними розрахунками для мереж ЕО, в яких жодним чином не компенсуються технічні втрати реактивної потужності (ТВРП) в елементах мереж (трансформатори, лінії, реактори), не компенсуються потоки електроенергії для малих підприємств і населення, не компенсуються транзитні перетікання, має місце з різних об'єктивних причин недокомпенсація у потужних споживачів (середній $\text{tg}\varphi \approx 0,6$), як правило, не компенсуються власні технологічні навантаження ЕО (наприклад, навантаження тягових підстанцій Укрзалізниці) та ін. Нажаль, до цього часу відсутня офіційна статистика щодо цих складових балансу реактивної потужності (електроенергії) та щодо встановлення централізованих засобів КРП в розподільчих мережах ЕО.

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Компенсація навантажувальна – для даного випадку передбачається встановлення КП в точці приєднання електроустановки споживача, як правило, під єдиний приладовий облік ($WP_{сп}$, $WQ_{сп}$, $WQ_{Г}$) та загальний комутаційний апарат. Основною метою навантажувальної компенсації являється забезпечення в точці приєднання електроустановки $\text{tg}\varphi \approx 0$ ($\cos\varphi \approx 1$). Ці рішення "завжди" забезпечують зниження втрат в електричній мережі, що живиться;

Компенсація споживча – в цьому випадку вирішується економічна зацікавленість споживача, яка полягає в компенсації власних навантажень реактивної потужності та ТВРП в елементах своєї технологічної мережі (лінії, реактори, трансформатори).

Істотним моментом є компенсація втрат неробочого ходу для силових трансформаторів. Методом реалізації, повинна бути централізована компенсація, яка полягає що КП забезпечують реактивною потужністю увесь склад електроустановок, які приєднані до відповідних секцій шин підстанції споживача. Але, транзитні перетікання реактивної потужності та частина втрат в технологічній мережі споживача, які створені цими перетіканнями, не компенсуються.

Для споживача мета для даної компенсації є мінімум плати за перетікання такої реактивної електроенергії;

Нульова компенсація – для даного випадку повинно забезпечуватися приближене до нуля перетікання реактивної потужності, що знаходиться на межі балансового розділу електричних мереж для споживача та електропередавальної організації. Звісно, повинен використовуватися метод для централізованої компенсації. Часто кажуть, що ці рішення "завжди" ефективні по відношенню до зниження втрат в живлячій електричній мережі, проте для низки режимних ситуацій кажуть, що такий рівень компенсації являється некоректним;

Системна компенсація – для даного випадку рівень генерації реактивної потужності на шинах ВН(високої напруги) підстанції пов'язаний, з

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтриманням близьких оптимальних режимів по реактивній потужності та напрузі (ТВАП min) в електричній мережі ЕО.

Оптимальний режим, який отримано в результаті вибору місця для установлення компенсаційного пристрою (КП) і завантажений оптимальними значеннями Q_{kp} , знаходиться у припустимій області, тобто виконуються режимні, балансні, технологічні обмеження.

Технологічних обмежень до них відносяться припустимі границі регуляторів режиму – такі, як реактивна потужність КП (Q_{kp}) і коефіцієнти трансформатора (K_T), тобто повинні виконуватись умови

$$Q_{min} \leq Q_{kp} \leq Q_{max}, K_{min} \leq K_T \leq K_{max}.$$

Дані обмеження мають дискретний характер.

Режимні обмеження, відносяться обмеження за припустимим завантаженням трансформаторів і ліній та припустимими рівнями напруги, тоді повинні виконуватись умови

$$U_{min} \leq U \leq U_{max}, S_{tr} \leq S_{доп}, I_l \leq I_{доп}.$$

В першу чергу ці обмеження забезпечуються елементами комплексно (КСК) (1), проте обов'язково повинно бути проконтрольоване та реалізоване виконання щодо режимних обмежень всіх вузлів схеми, як приклад, за рахунок регулювання трансформаторами, що є системними.

Балансні обмеження до них відносяться вимоги, щодо жаданих рівнів перетікань реактивної потужності, для вузлів зв'язку з енергосистемою (визначає ЕС), для мереж 10 кВ районів або філій (визначає ЕО), та для мереж інших електропередавальних організацій.

Для задач оптимізації по розподілу реактивних потужностей, так для локального випадку, при регулюванні реактивної потужності в певній точці, автоматично виникає вплив на режимні характеристики схеми в цілому.

Виділимо складові цього впливу: по-перше, це зміна сумарних втрат активної

потужності: $\Delta P_s = f(Q_{kp}) \Rightarrow \frac{\partial \Delta P}{\partial Q} \Rightarrow \Delta P_{smin}$ - стандартний випадок для

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимізації розподілу реактивних потужностей за критерієм мінімуму втрат потужності.

Компенсаційний пристрій впливає на потужність яка протікає по живильному трансформатору, на напругу для прилеглих вузлів, впливає та змінює струми та потоки в лініях.

Щодо критерію оптимальності, то рівняння для втрат дуже складне. Воно представляє собою квадратичну форму з потужностями в комплексному виді та матрицею опору. Щоб знайти оптимальні втрати

треба розрахувати окремі похідні $\frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta Q}$ та розв'язати рівняння

прирівнявши до нуля, забезпечивши при цьому мінімум втрат. Складність можна обійти, якщо застосовувати чисельні методи для вирішення задачі оптимізації режиму.

Окрім цього, вплив на струми лінії, на потужність потоків в трансформаторі, на напругу потребують врахування режимних обмежень, які ніяким іншим методом, крім як бар'єрними функціями не можуть обмежуватись.

В задачі локальної оптимізації використовуємо методи чисельного диференціювання, квадратичної апроксимації та бар'єрні функція для врахування обмежень .

Представлена постановка по бар'єрним функціям:

$Q_U^-, Q_U^+ \leq |Q^U| \leq f(U) \leq U_{min}, U_{max}$ — відомі реактивні обмеження

$Q_T^{max} \leq |Q^T| \leq f(S_T) \leq S_T^{доп}$

$Q_L^{max} \leq |Q^L| \leq f(I_L) \leq I_L^{доп}$

Маючи такі функції, підставивши в них відомі режимні обмеження U_{min} , U_{max} , $S_T^{доп}$, $I_L^{доп}$ отримаємо допустимі реактивні потужності, що відповідають режимним обмеженням.

Також є технологічні обмеження, що розраховуються достатньо легко шляхом нерівностей. На рис. 2.1 ми можемо бачити загальну структура врахування обмежень разом з врахуванням бар'єрних функцій.

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для даного випадку, по осі реактивної потужності за рахунок оптимальних значень проставляються обмежувальні $Q_U^-, Q_U^+, Q_T^{max}, Q_L^{max}$. Даний діапазон вузлових рішень заштрихований.

Методи розрахунку бар'єрних функцій зображені на рис. 2.2.

Використаємо метод квадратичної апроксимації. Нам

потрібно мати 3 заміри: Q^+, Q_T, Q^- кожному значенню визначені по 3

значення напруг, втрат, струмів в лінії, потоків трансформаторів. За допомогою

цієї функції маємо квадратичні трьохчлени для бар'єрної

функції за формулами 1 та 2:

$$\Delta P = A_2 Q^2 + A_1 Q + A_0 \quad (1)$$

$$Q^U = A_2 U^2 + A_1 U + A_0 \quad (2)$$

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

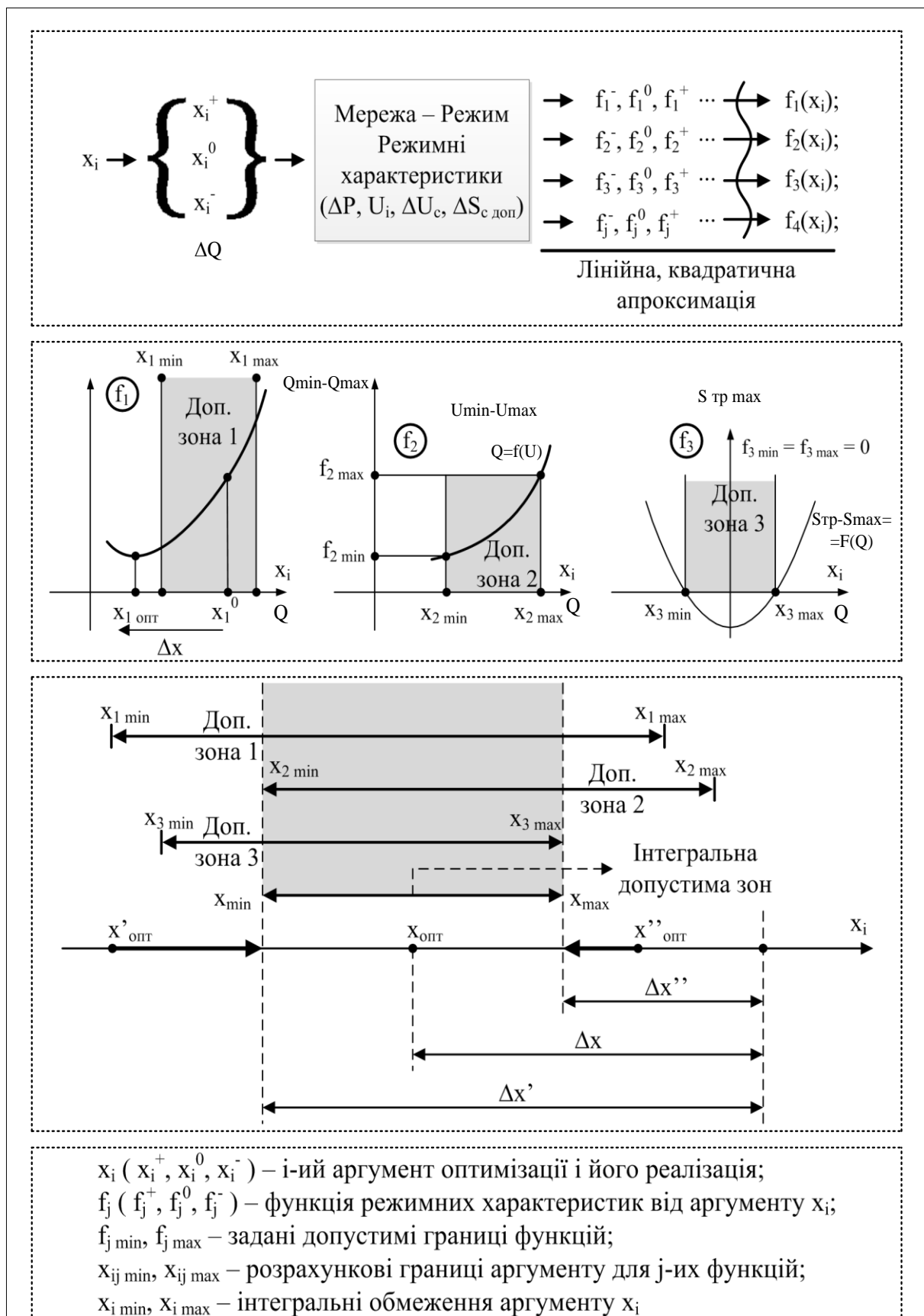


Рисунок 2.1 - Загальна структура врахування обмежень з врахуванням бар'єрних функцій.

2.2 Промисловий комплекс OPTIM_QT. Інтерфейсні формати.

Комп'ютерний комплекс OPTIM_QT вирішує задачу комплексної (сумісної) оптимізації розподілення реактивних потужностей и вибору відгалужень РПН трансформаторів. Комплекс в основному для оптимізації режимів розподільних електричних мереж та організацій, що передають енергію 110/35/10/0,4 кВ, тобто для операторів системи по розподіленню електроенергії ОСР.

Методично комплекс використовує алгоритм спуску другого порядку, де використовується матриця Гессе и враховуються обмеження по Лагранжу, но в простішому випадку можливе використання координатного спуску с діагональною матрицею другої частної похідної сумарних втрат активної потужності по вузловій реактивній потужності регулятора $\partial^2 \Delta P / \partial Q_i^2$.

Технологічно комплекс автоматизує широкий спектр послуг: полегшує автоматичний вибір місць установки компенсуючих пристроїв, но при цьому враховує рекомендації користувача, реалізує адресний підхід к градуємому рівню вузлової компенсації (навантажувальна, споживча, нульова, системна), при виборі коефіцієнтів K_{tr} трансформаторів використовується принцип зустрічного регулювання РПН, згідно положення КСК і інших.

Інтерфейс користувача комплексу реалізується через командний (ключовий) файл AQ_AKEY.PAS тут керуюча інформація згрупована в 5 розділах :

1. Ключі режиму, обмежень и методу. Наприклад : KeyS=0(тільки режим), KeyS=1(оптимізація тільки Q_{ky}), KeyS=2(оптимізація тільки K_{tr}), KeyS=3(компоненти оптимізації), NitQ(межа ітерацій), EPS(точність) і т.д.;
2. Процесуальні ключі і вивід результатів. Наприклад : Kprint(професійний або споживчий), Kret(формування схеми є результатом оптимізації) і т.д;
3. Параметри моделювання навантажень. Тут розміщені ключі KeyP і KeyTg(0-нет, 1-да) запускають алгоритм важкості режиму або

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшення навантаження відповідно коефіцієнтам для класів напруг;

4. Параметри обмежень по напрузі U_{min} - U_{max} для класів напруг. Використовується, якщо ввімкнені дозволені ключі KL_{qu}, KL_{tu} (0-нет, 1-да);
5. Параметри економічної оцінки. Тут задаються дійсний тариф на електроенергію (Tar_{it}), вартість 1кВар реактивної потужності $Q_{ky}(Sky_kvar)$, відносні втрати потужності БСК (DP_{ky}) і т.д.

Загальна структура ключового файлу и інші коментарі приведені на рис.2.2.

AQ_AKEY.PAS											
KEYs	NitQ	EPS	KD_Q	KD_T	KLqu	KLtu	KLts	KLqb	VarOPT	KLsp	NLAB
3	100	1e-3	0	1	1	1	1	0	0	0	3
Kprint	Kret	EERMLim1	EERMLim2	EERMLim3	Nspek	Nstep	KeyE	KeyQz			
1	1	0.01	0.01	0.01	25	30	2.3	1			
KeyP	110	35	10	0.4	KeyTg	110	35	10	0.4		
0	0.6	0.6	0.6	0.6	0	0.5	0.5	0.5	0.5		
Umin	110	35	10	0.4	Umax	110	35	10	0.4		
7	7	5	5		10	10	10	10			
Y	E	Aa	Ae	Sky_kvar	DPky	Tarif	Tay	LIMokp			
0.01	0.0775	0.08	0.02	600.00	0.002	1.700	5000	2			

Рисунок 2.2 - Ключовий файл комплексу ОПТИМ_QT.Схема ТМ1.

- NLAB – ключ методу оптимізації. 1 – координатний спуск 2-го порядку, 2- метод з матрицею Гессе і врахуванням обмежень по Лагранжу, чисельно визначає кількість уточнень матриці Гессе;
- KeyE – ключ варіантів графічного виводу ЕЕРМ. Має дві складові KeyE і NFil. KeyE=1 – графіки ЕЕРМ не розраховуються, 2 - розраховуються тільки для регуляторів Q, 3 - тільки для вузлів 110кВ и вище, 4 - тільки для вузлів класу 35кВ,

5 – тільки для 10кВ и нижче, 6 – для всіх вузлів. NFil = 1 – 9 – індекс індивідуалізації графіку ЕЕРМ;

- EERMLim1, EERMLim2, EERMLim3 – обмежувачі вибору елементів КСК в якості регуляторів Q відповідно по 1 і 2 похідній $\partial \Delta P / \partial Q$, а також обмежувачі неефективного руху до оптимуму;
- KeyQ – ключ дозволу враховувати вимоги користувача на вибір регулятора Q або Kтр;
- KD_Q, KD_T(облік дискретності), KLqu, KLtu, KLts, KLqb(обмеження по напрузі, по потужності, по Qb).

На рис 2.3 представлені можливі варіанти рівнів компенсації реактивної потужності:

- 1) Навантажувальна – Q_{ky} дорівнює конкретному реактивно вузловому навантаженню;
- 2) Споживча – Q_{ky} захоплює компенсацію усіх навантажень споживача з врахуванням втрат в живлючим трансформаторі;
- 3) Нульова – споживчий рівень доповнюється компенсацією реактивної потужності можливих транзитних потоків, тобто на шинах живлючого ОСР маємо реактивний перетік, який дорівнює 0;
- 4) Системна – встановлюються БСК, які забезпечують реактивну потужність найближчих споживачів по критерію мінімуму втрат в розподільчій мережі.

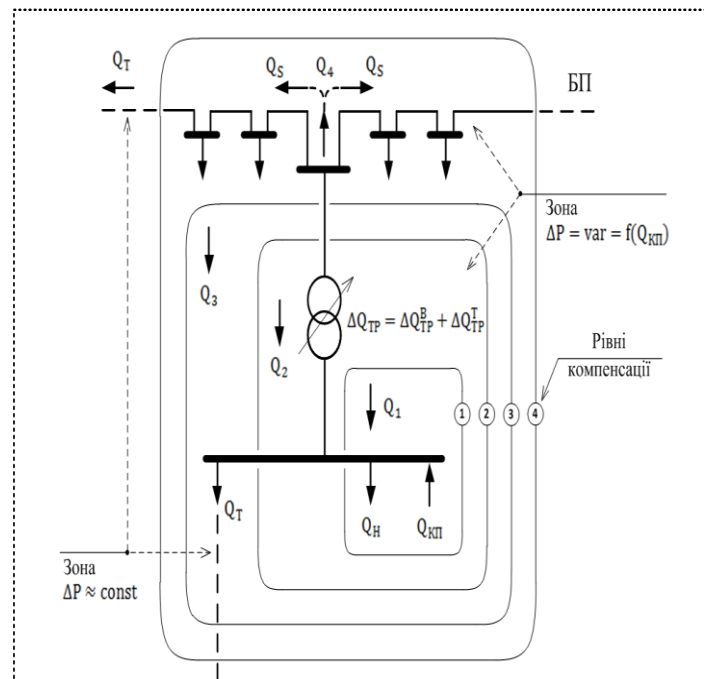
Відповідний признак рівня(1, 2, 3, 4) встановлений в колонці вузла REG_Q дозволяє програмі вибирати тільки цей варіант, якщо по значенню ЕЕРП доцільно встановлювати Q_{ky}. Признак(5, 6, 7, 8) встановлюється для цих рівнів, якщо користувач питання о доцільності вирішив самостійно, тобто обмеження обов'язкове.

Документація процесу оптимізації оформлюється в наступних файлах:

- ✓ name_END.txt – кінцеві відомості о результаті оптимізації;

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ✓ name_0.PNT,LIN – розрахункова схема з оптимальними результатами;
- ✓ name_T.rez – детальна документація ітераційного процесу;
- ✓ ttt – загальна документація ітераційного процесу.



- | | | |
|--------------------------------|--|---|
| ① Компенсація навантажувальна: | $Q_{\text{КП}} \approx Q_{\text{H}};$ | $Q_1 \approx Q_{\text{T}} + \Delta Q_{\text{TP}};$ |
| ② Компенсація споживча: | $Q_{\text{КП}} \approx Q_{\text{H}} + \Delta Q_{\text{TP}}^{\text{В}};$ | $Q_2 \approx Q_{\text{T}} + \Delta Q_{\text{TP}}^{\text{T}};$ |
| ③ Компенсація нульова: | $Q_{\text{КП}} \approx Q_{\text{H}} + Q_{\text{T}} + \Delta Q_{\text{TP}};$ | $Q_3 \approx 0;$ |
| ④ Компенсація системна: | $Q_{\text{КП}} \approx Q_{\text{H}} + Q_{\text{T}} + \Delta Q_{\text{TP}} + Q_{\text{S}}; - \text{оптимум } \Delta P;$ | |

• Q_H – власне навантаження електроустановок споживача;

- Q_T – транзитна реактивна потужність;

- $\Delta Q_{\text{ТР}} (\Delta Q_{\text{ТР}}^{\text{В}}, \Delta Q_{\text{ТР}}^{\text{Т}})$ – втрати реактивної потужності в трансформаторі та її власна і транзитна складові;

- $Q_{\text{КП}}$ – потужність компенсуючого пристрою;

- Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 – перетоки реактивної потужності по рівням компенсації;

- Q_S – реактивна потужність оптимальної системної компенсації.

REG_Q (Ознака)	Варіанти вибору регуляторів Q в вузлах розрахункової схеми	Рівень компенсації
0	Дозвіл на автоматичний вибір регулятора Q та його рівня компенсації	_____
1	Дозвіл на автоматичний вибір регулятора Q відповідного рівня компенсації	Навантажувальний
2		Споживчий
3		Нульовий
4		Системний
5	Обов'язкове включення регулятора Q відповідного рівня компенсації	Навантажувальний
6		Споживчий
7		Нульовий
8		Системний
9	Заборона на вибір регулятора Q	_____
10	Дозвіл на регулювання $Q_{\text{БП}}$	_____

Індивідуальні ознаки регулювання REG_Q







REG_TP	Дозвіл, вмикання, заборона	Ознака
1	Заборона на регулювання	
2	Обов'язкове регулювання в вузлі КП	
3	Обов'язкове паралельне регулювання	
4	Обов'язкове зустрічне регулювання	
5	Обов'язкове ...	
6	Обов'язкове регулювання напруги	

Рисунок 2.3 - Рівні компенсації. Технологічні ознаки регулювання.

Вихідна схема зберігається в стандартних файлах Z_REGIM: name.PNT, name.LIN – вузли та вітки розрахункової схеми.

Коментарі до форматів результатів знаходяться в тексті розділів 2.3, 2.5 при аналізі розрахунків конкретних схем.

2.3 Контрольна оптимізація індивідуальної схеми ESPS19_3.

Варіантні дослідження функції $\Delta P = f(Q)$.

Результати ручної оптимізації реактивної потужності вказаної схеми розглянуті в розділі 1.3.

Для вузлів 202, 203, 302, 303 встановлені БСК відповідно $Q_{ky} = 6.0, 7.4, 3.0, 3.7$ МВАр. Після ручного вводу режиму в допустиму область отриманні оптимальні втрати $\Delta P = 8.17$ МВт.

Задачею першого експерименту поставимо визначення в мережі 10кВ усіх підстанцій ESPS19_1, ESPS19_2, ESPS19_3, ESPS19_4. Встановимо обмеження $EERPM_{max} = 0.05$. Результати представлені на рис 2.4.

N	Name	Nstep	Qsn	Qsk	Qky	Notv	Um	(EERM-EERM_max)	TP-TOP	KTopt	Notv
1	102(1)	0%	6.500	11.116	4.616 (0.00)		38.00	0.0000	113- 102	2.909	
2	103(1)	0%	5.500	-4.352	-9.852 (0.00)		38.23	0.0000	114- 103	2.909	
3	104(1)	0%	2.500	-16.354	-18.854 (0.00)		10.64	0.0000	113- 104	10.667	
4	105(1)	0%	1.500	-4.209	-5.709 (0.00)		10.35	0.0000	114- 105	10.667	
5	107(1)	0%	0.900	-0.078	-0.978 (0.00)		0.41	0.0000	106- 107	25.000 (3.00)	
6	202(0)	0%	3.500	-1.332	-4.832 (0.00)		10.83	0.0000	200- 202	3.500	
7	203(0)	0%	2.500	-1.748	-4.248 (0.00)		10.84	0.0000	201- 203	3.500 (9.00)	
8	207(1)	0%	0.800	-0.088	-0.888 (0.00)		0.43	0.0000	206- 207	25.000 (3.00)	
9	302(1)	0%	2.500	-2.141	-4.641 (0.00)		10.92	0.0000	300- 302	3.500 (9.00)	
10	303(1)	0%	3.500	-1.855	-5.355 (0.00)		10.91	0.0000	301- 303	3.500 (9.00)	
11	307(1)	0%	0.700	-0.085	-0.785 (0.00)		0.43	0.0000	306- 307	25.000 (3.00)	
1					=(102)		38.00	+	100- 102	1.000 (9.00)	
2					=(103)		38.23	+	101- 103	1.075 (14.00)	
3					V(302)		38.27	+	400- 415	1.030 (11.00)	
4					U(5)		120.20	+	112- 5	2.759 (9.00)	
5					U(403)		38.26	+	401- 416	1.030 (11.00)	
SUMMA Qgen= -56.142 MBAp (-19.076) SUMMA Qcp = 4.616 MBAp REAL EERP 0.0312 kBt/kBAp											
E	Y	Aa	Ae	Sky	DPky	Tarif	LIMokp	Tay			
-	-	-	-	[gpn]	[kvt/kvap]	[gpn/kvt*god]	[mec]	[god]			
0.078	0.010	0.080	0.020	600.000	0.002	1.700	24.000	5000			
KAP[t.gpn]=34022 PL_minus[t.gpn]=14909 PL_plus[t.gpn]=1672 B[t.gpn]=3402											
!!!!!!! TIME_okup =60.47 [mec]											
YES LIMIT UUU 1 13 Ut>Umax 38.552											
NOT LIMIT TTT											

Рисунок 2.4 – Результати розрахунків для $EERPM_{max} = 0.05$

Коментарі:

- В вихідній схемі були втрати 9.207 із них від реактивної потужності 2.14МВт(23.2%). Після оптимізації маємо втрати 7.453 із них від реактивної 0.72МВт(9.72%). Економимо 1.754МВт, тобто 19.05% втрат;
- Для цього необхідно в 11 вузлах схеми (102,103,104,105,107,202,203,207,302,303,307) встановити БСКи відрегулювати РПН на 11 трансформаторах;

					141.5110.001.ДБ		Арк.
							53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- Всього необхідно встановити 56 МВАр при цьому максимальному значенню ЕЕРП знизиться до 0.0312кВт/кВАр;
- Вартість проекту складе 34032 тис.грн, термін окупності 60 місяців ≈ 5 років

Висновок: можна рахувати результати відмінними (19%),но проект дорогий і термін окупності не сучасний. Крім того багато роботи по переключенню уставок РПН.

Для 2 експерименту встановимо ЕЕРМmax= 0.2, для того, щоб оптимізувати лише свої вузли 202,203,302,303, для яких в файлі PNT встановимо признак (8) в колонці REG_Q .Результати представлені на рис 2.5.

vvvvv

OPTION

Keys3Kl_DQ0Kl_DT1Kl_Qu1Kl_Tu1Kl_Ts1Kl_E2Kl_Qz1Kl_Qb0KeyPn0KeyTn0

EERM_max= 0.2000dEPM = 0.0100EPM_lim= 0.0100VARopt= 0

vvvvv

PROCESS

F0 = 9.207(2.14)[MBt] t.e. 23.23 % !+

FY = 8.097(1.31)[MBt] t.e. 16.14 % !!

DDP= -1.110 [MBt] t.e. 12.05 %

N

Name

Nstep

Qsn

Qsk

Qky

Notv

Um

(EERM-EERM_max)

TP-TOP

KTopt

Notv

1

202(0)

0%

3.500

-5.198

-8.698 (0.00)

10.97

0.0000

200- 202

3.500

2

203(0)

0%

2.500

-6.693

-9.193 (0.00)

10.99

0.0000

201- 203

3.500

3

302(0)

0%

2.500

-2.934

-5.434 (0.00)

10.87

0.0000

300- 302

3.500

4

303(0)

0%

3.500

-1.767

-5.267 (0.00)

10.86

0.0000

301- 303

3.500

SUMMA

Qgen=

-28.592 MBAp (-28.592)

SUMMA

Qcp =

0.000 MBAp

REAL

EEPM

0.0388 kBT/kBAp

E

Y

Aa

Ae

Sky

DPky

Tarif

LIMokp

Tay

-

-

-

-

[gpn]

[kvt/kvap]

[gpn/kvt*god]

[mec]

[god]

0.078

0.010

0.080

0.020

600.000

0.002

1.700

24.000

5000

KAP

[t.gpn] =

17327

PL_minus

[t.gpn] =

9433

PL_plus

[t.gpn] =

852

B

[t.gpn] =

1733

!!!!!!!

TIME_okup =38.60 [mec]

Рисунок 2.5 – Результати розрахунків для ЕЕРМmax= 0.02

- В вихідній схемі були втрати 9.207 із них від реактивної потужності 2.14МВт(23.2%). Після оптимізації маємо втрати 8.097 із них від реактивної 1.31МВт(16.14%). Економимо 1.11МВт, тобто 12.05% втрат;
- РПН відповідає ручним розрахункам;

- Всього встановлено 28.6МВАр;
- Термін окупності 3 роки при капіталі вкладі 17327 тис.грн.

Висновок: Нормально, хоча практично майже один і той же результат забезпечується $6.0+7.4+3.0+3.7=20.1$ МВАр при ручних розрахунках.

2.4 Розробка еталонного прикладу з повним спектром технологічних режимних обмежень(U,T,N,P,Ø,D)

Виберемо в якості прикладу фрагмент мережі електропередавальної організації (ОСР) 110/35/10/0,4 кВ. Конфігурація мережі і її параметри приведені на рис. 2.6. Вихідні навантаження і обмеження по рівню допустимої компенсації також представлені на рис 2.6. Тут у вузлі 4 (REG_Q=3) при виборі його в якості регулятора КСК допускається установка Q_{ку} до нульового рівня компенсації, коли потік реактивної потужності на вході трансформатора 3-4 починає дорівнювати нулю.

У вузлі 6 (REG_Q=1) споживачу дозволяється навантажувальна компенсація, при цьому вхідний потік реактивної потужності зменшується і буде дорівнювати лише втратам реактивної потужності трансформатора $Q = \Delta Q_T$.

У вузлі 13 (REG_Q=2) передбачається регулятор споживчої компенсації, в якому гарантується покриття $Q_n + \Delta Q_{тр}$. Оскільки транзиту цей споживач не має то на вході трансформатора 9-13 повинен бути нульовий перетік с.

Для споживача вузол 12 (REG_Q=7) аналогічно вузлу 4, передбачається обов'язкова нульова компенсація ($Q=\emptyset$)

У вузлі 11 є технологічне обмеження ($Q_{min}=0,8$).

					141.5110.001.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

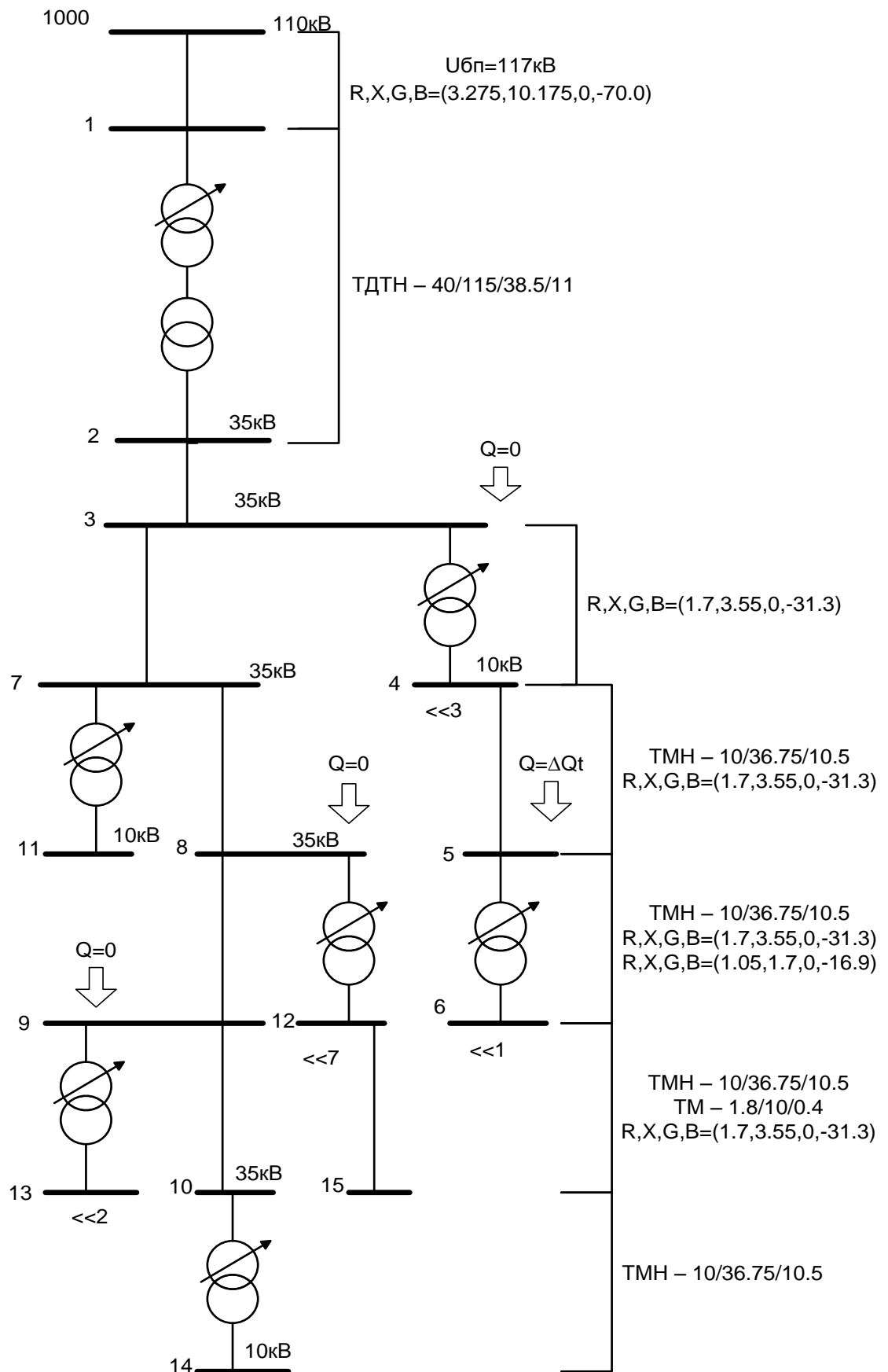


Рисунок 2.6 - Параметры розрахункової схеми ТМØ

					141.5110.001.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Напруга балансуєного вузла (1000) дорівнює 117кВ. При оптимізації звісно можуть працювати обмеження по напрузі і перевантаженню живлячих трансформаторів.

Вихідні файли у форматі PNT,LIN показані на рис 2.7 і рис 2.8. Вихідний режим має сумарні втрати $\Delta P = 3,733\text{МВт}$.

Nn	Nk	R	X	G	B	K	Ksr	Ntek	Sdop	Kod_REG
1000	1	3.27500	10.17500	0.0000	-70.0000	0.000000	0.0000	0	0	
1	100	0.82656	35.53257	3,25	18.1474	0.893200	1.0000	4	40	ВН-РПН-П-19-10-1.78
100	2	0.82656	0.00000	0.0000	0.0000	2.987013	2,99	0	40	
2	3	1.70000	3.55000	0.0000	-31.3000	0.000000	0.0000	0	0	
3	4	0.87787	10.09111	10,74	59.2346	3.318000	3,50	6	10	ВН-РПН-П-19-10-1.3
4	5	1.05000	1.70000	0.0000	-16.9000	0.000000	0.0000	0	0	
5	6	0.74074	2.96441	80.0000	810.0000	23.750000	25.0000	1	1,80	ВН-ПБВ-П-5-3-2.5
3	7	1.70000	3.55000	0.0000	-31.3000	0.000000	0.0000	0	0	
7	8	1.70000	3.55000	0.0000	-31.3000	0.000000	0.0000	0	0	
8	9	1.70000	3.55000	0.0000	-31.3000	0.000000	0.0000	0	0	
9	10	1.70000	3.55000	0.0000	-31.3000	0.000000	0.0000	0	0	
7	11	0.87787	10.09111	10,74	59.2346	3.318000	3,50	6	10	ВН-РПН-П-19-10-1.3
8	12	0.87787	10.09111	10,74	59.2346	3.227000	3,50	4	10	ВН-РПН-П-19-10-1.3
9	13	0.87787	10.09111	10,74	59.2346	3.318000	3,50	6	10	ВН-РПН-П-19-10-1.3
10	14	2.56484	22.82510	5,47	32.6531	3.166667	3,33	1	4	ВН-ПБВ-П-5-3-2.5
12	15	0.88600	0.17200	2,40	-244.9000	0.000000	0.0000	0	0	

Рисунок 2.7 – Вихідний файл PNT

Nuz	Prb	Pn	Qn	Pg	Qg	Un	Qmin	Qmax	REG
1000	1	0.00000000	0.00000000	62.538	47.728	117.000	0.000	0.000	0
1	0	25.00000000	15.00000000	0.000	0.000	110.000	0.000	0.000	0
2	0	12.00000000	9.00000000	0.000	0.000	35.000	0.000	0.000	0
3	0	2.00000000	1.00000000	0.000	0.000	35.000	0.000	0.000	0
4	0	2.00000000	1.00000000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	3
5	0	2.00000000	1.00000000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	0
6	0	1.50000000	0.60000000	0.000	0.000	0.380	0.000	0.000	1
7	0	1.00000000	0.50000000	0.000	0.000	35.000	0.000	0.000	0
8	0	1.00000000	0.50000000	0.000	0.000	35.000	0.000	0.000	0
9	0	1.00000000	0.50000000	0.000	0.000	35.000	0.000	0.000	0
10	0	0.00000000	0.00000000	0.000	0.000	35.000	0.000	0.000	0
11	0	2.00000000	1.00000000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.800	0
12	0	2.00000000	1.00000000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	7
13	0	2.50000000	1.00000000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	2
14	0	3.95000000	0.00000000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	0
15	0	1.00000000	0.50000000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	0
100	0	0.00000000	0.00000000	0.000	0.000	110.000	0.000	0.000	0

Рисунок 2.8 - Вихідний файл LIN

2.5 Розрахунок і аналіз оптимального режиму еталонної схеми

Оптимізація виконана за допомогою промислового комплексу по технології регулюючих елементів КСК. Автоматично вибрані 7 регуляторів для споживачів з живлючими шинами 2, 4, 6, 11, 12, 13, 14.

Результати приведені на наступних рисунках:

- Рис 2.9 – Функціональний результуючий файл ТМ0;
- Рис 2.10 – Контрольна схема ТМ0. Результати оптимізації режиму.
- Рис 2.11 – Файл документації ітераційного процесу
- Рис 2.12 – Таблиця режимних характеристик.
- Рис 2.13 – Узагальнений процес оптимізації(скорочений варіант)
- Рис 2.14 – Графік збіжності ітераційного процесу
- Рис 2.15 – Графік зміни втрат в процесі оптимізації

```

vvvvv  OPTION
Keys   K1_DQ  K1_DT  K1_Qu  K1_Tu  K1_Ts  K1_E  K1_Qz  K1_Qb  KeyPn  KeyTn
3       0      1      1       1       1      2       1       0       0       0
EERM_max= 0.0100          dEERM = 0.0100          EEPm_lim= 0.0100  VARopt= 0

vvvvv  PROCESS
F0 = 3.733( 1.01)[MBt] t.e. 26.96 % !!
FY = 2.741( 0.08)[MBt] t.e. 2.97 % !!
DDP= -0.992 [MBt] t.e. 26.57 %

N  Name Nstep  Qsn  Qsk  Qky  Notv  Um  (EERM-EERM_max) TP-TOP  KTopt  Notv
-----
1  2( 1) 0%  9.000 -15.593 -24.593 ( 0.00) 37.84  0.0000 100- 2  2.987
2  4( 2) 0%  1.000 -1.729 -2.729 ( 0.00) 10.13  0.0000 3- 4  3.591 (12.00)
3  6( 1) 0%  0.600 0.000 -0.600 ( 0.00) 0.38  0.0000 5- 6  25.000 ( 3.00)
4  11( 2) 0%  1.000 0.200 -0.800 ( 0.00) 10.15  0.0000 7- 11  3.500 (10.00)
5  12( 0) 0%  1.000 -2.178 -3.178 ( 0.00) 10.99  + 0.0000 8- 12  3.227
6  13( 3)! 0%  1.000 -0.132 -1.132 ( 0.00) 10.29  0.0000 9- 13  3.364 ( 7.00)
7  14( 2) 0%  0.000 -0.150 -0.150 ( 0.00) 10.24  0.0000 10- 14  3.333 ( 3.00)

1  = ( 2) 37.84  + 1- 2  1.036 (12.00)

SUMMA Qgen= -33.182 MВАp( -3.178)  SUMMA Qcp = 0.000 MВАp  REAL EEPm 0.0299 kВt/kВАp

E  Y  Aa  Ae  Sky  DPky  Tarif  LIMokp  Tay
-  -  -  -  [gpn] [kvt/kvap] [gpn/kvt*god] [mec] [god]
0.078 0.010 0.080 0.020 600.000 0.002 1.700 24.000 5000

KAP [t.gpn] = 20108 PL_minus [t.gpn] = 8431
PL_plus [t.gpn] = 988 B [t.gpn] = 2011
!!!!!!! TIME_okup =67.68 [mec]

NOT LIMIT UUU  NOT LIMIT TTT

```

Рисунок 2.9 – Функціональний результуючий файл ТМ0

По функціональних результатах (рис 2.9) відзначимо:

- 1) У вихідній схемі втрати склали 3.733 із них від реактивної потужності 1.01МВт(26.96%). Після оптимізації маємо втрати 2.741 із них від реактивної потужності 0.08 МВт (2.97%). Економія 0.992 МВт, тобто 26.57% втрат;
- 2) Для цього необхідно у вузлах 2,4,6,11,12,13,14 реалізувати даний режим по реактивній потужності (Qky) і РПН трансформаторів (Notv);
- 3) Усього встановлюється 33МВАр при цьому максимальне ЕЕРП знизилось 0.0299кВт/кВАр;
- 4) Вартість проекту становить 20108 тис.грн., при терміні окупності 68 місяців \approx 5,5 років

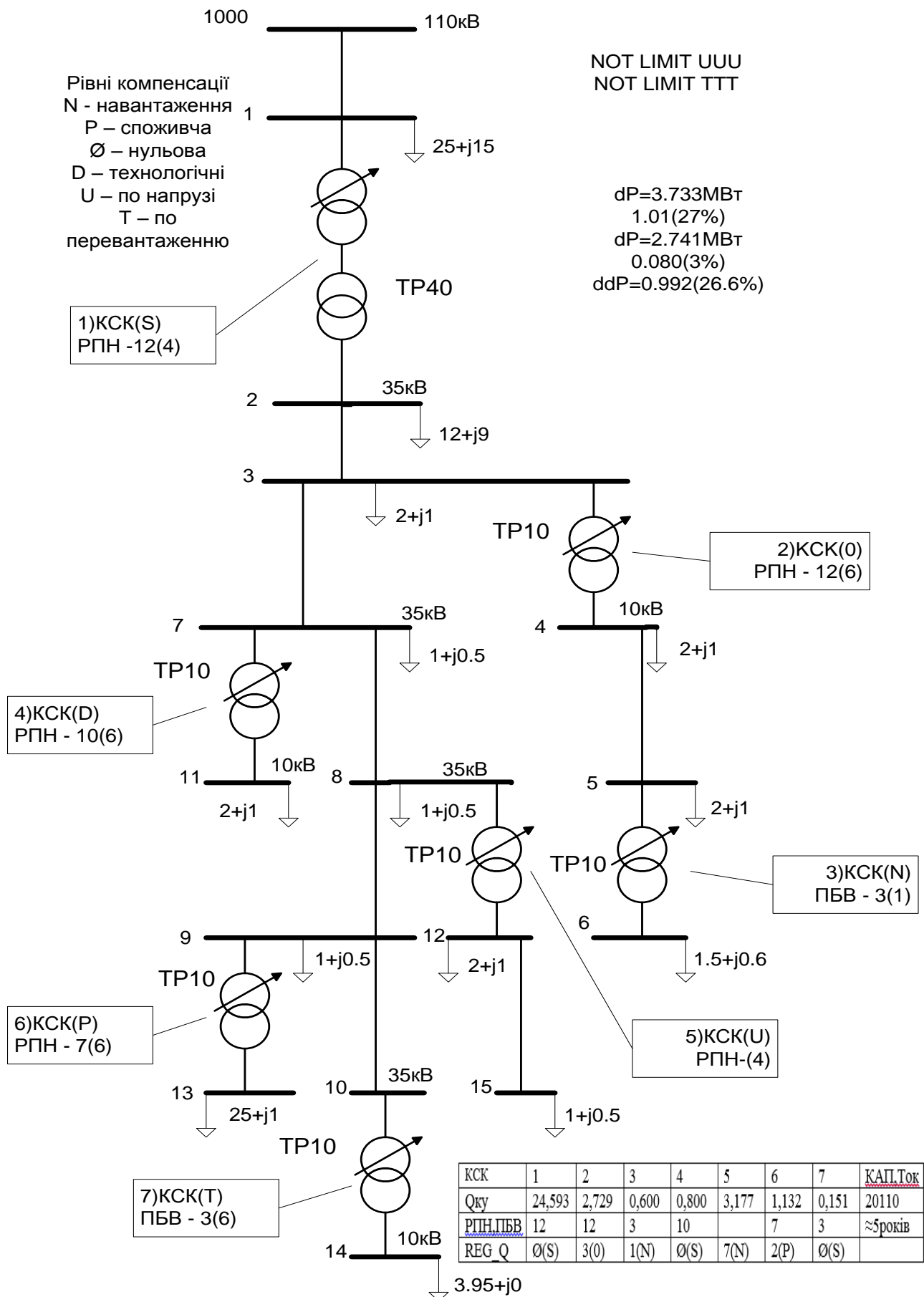


Рисунок 2.10 - Контрольна схема ТМ0. Результати оптимізації режиму.

На рис 2.10 сконцентрована інформація, яка пов'язує технологію пошуку рішень зі схемою, її режимом по реактивній потужності і наявністю в рішенні режимних і технологічних обмежень. Обрано 7 КСК, по кожному приведено $Q_{ку}$, РПН, вид обмежень і вихідна реактивна потужність. Наприклад, по вузлу 4 маємо: $Q_{ку} = 2.729$, РПН змінено $Notv = 6 \rightarrow 12$ (в зв'язку з підвищенням напруги), забезпечена нульова компенсація, $Q_n = 1$ МВАр.

Для перевірки імпортуємо оптимальний режим(файл ТМ_0) в сферу РАОТВ. Розраховуємо режим, продивимося напругу, навантаження и втрати. Відмітимо, цей режим знаходиться в допустимих межах. Конкретно по КСК маємо:

- КСК 1 : $Q_{ку} = 24.593$. Компенсація(S), Норма;
- КСК 2 : Трансформатори 3-4, $P+jQ = 5.7+j0$ Компенсація (0), Норма;
- КСК 3 : Трансформатори 5-6, $P+jQ = 1.5+j0.149$ Компенсація (N), Норма, $dP_{тр} + jdQ_{тр} = 0.026+j0.149$, $dQ_{тр} = Q$;
- КСК 4 : вузол 11, $Q_{ку} = 0.8 = Q_{min}$, Технологічні обмеження(D), Норма;
- КСК 5 : вузол 12, $U_5 = 11$ кВ $= 10\%U_{ном}$, Режимні обмеження (U), Норма;
- КСК 6 : Трансформатори 9-13, $P+jQ = 2.5+j0$ Компенсація (P), Норма;
- КСК 7 : Трансформатори 10-14, $P+jQ = 3.991+j0.195$ Режимні обмеження(T), Норма; $S_{\phi} = \sqrt{3.991^2 + 0.195^2} = 4,0 = S_{доп}$.

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

N	Ns (Nl)	fx	fdX	fLevel	
#### ITER 0 ####					
QQQQQQQQQQQQQQQQQ					
1	2	9.0000	(-60.0 - 109.0)		Вихідні регулятори Qvar (min – max)
2	4	1.0000	(-20.0 - 101.0)		
3	6	0.6000	(-10.0 - 100.6)		
4	11	1.0000	(0.2 -- 1.0)		
5	12	1.0000	(-20.0 - 101.0)		
6	13	1.0000	(-20.0 - 101.0)		
7	14	0.0000	(-20.0 - 100.0)		
TTTTTTTTTTTTTTTTTT					
8	1	100	0.8932 (0.8 -- 1.2)		Вихідні регулятори Ktr var (min – max)
9	3	4	3.3180 (3.1 -- 3.9)		
10	5	6	23.7500 (23.8 -- 26.3)		
11	7	11	3.3180 (3.1 -- 3.9)		
12	9	13	3.3180 (3.1 -- 3.9)		
13	10	14	3.1666 (3.2 -- 3.5)		
#### ITER 1 #### F0= 2.6587 CONTR= 14.506269 ← Втрати, Сума поправок					
QQQQQQQQQQQQQQQQQ					
1	2	-5.4205	-14.4205 () -14.4205	G 0.0034...	Матриця Гессе [7x7]
2	4	0.0136	-0.9864 () -0.9864	G 0.0057...	
3	6	0.3121	-0.2879 () -0.2879	G 0.0084...	
4	11	0.2000	-0.8000 (D) -1.0688	G 0.0061...	
5	12	0.2903	-0.7097 () -0.7097	G 0.0071...	
6	13	0.4915	-0.5085 () -0.5085	G 0.0075...	
7	14	-0.1501	-0.1501 (T) 0.0075	G 0.0077...	
BAR F(St)= 0.01203 0.10072 0.13724					
TTTTTTTTTTTTTTTTTT					
8	1	100	0.8932 0.0000 ()		Розрахунок Гессе
9	3	4	3.3180 0.0000 ()		
10	5	6	23.7500 0.0000 (>)		
11	7	11	3.3180 0.0000 ()		
12	9	13	3.3180 0.0000 ()		
13	10	14	3.1666 0.0000 ()		
#### ITER 2 #### F0= 2.4831 CONTR= 13.527766					
.....					
#### ITER 19 #### F0= 2.7407 CONTR= 0.000009					
===== 7 ===== 28 ===== 28 ===== 0.75 =====					
QQQQQQQQQQQQQQQQQ					
1	2	-15.5928	0.0000 (S) 0.0000	N	Бар'єрні функції Матриця Гессе не розраховується
BAR F(St)= -4.65772 -0.13664 0.01039					
2	4	-1.7294	0.0000 (O) 0.0000	N	
3	6	0.0000	0.0000 (N) 0.0000	N	
4	11	0.2000	0.0000 (D) 0.0000	N	
5	12	-2.1780	0.0000 (U) 0.0000	N	
BAR F(Ud)= -5.29590 4.99521 -0.42853					
6	13	-0.1319	0.0000 (P) 0.0000	N	Розрахунок Гессе
7	14	-0.1501	0.0000 (T) 0.0000	N	
BAR F(St)= 0.01203 0.10072 0.13724					
TTTTTTTTTTTTTTTTTT					
8	1	100	1.0356 0.0000 (>)		Облік обмежень і наявність кроку регуляції
9	3	4	3.5910 0.0000 ()		
10	5	6	25.0000 0.0000 ()		
11	7	11	3.5000 0.0000 ()		
12	9	13	3.3635 0.0000 ()		
13	10	14	3.3333 0.0000 ()		

Рисунок 2.11 – Файл документації ітераційного процесу. Схема ТМ0.

Рис 2.11 Посвідчує, що режим в допустимій області і відмічає рівні реактивних навантажень.

.....

Nnn	Name	UM	Tet	Usa	Usr	Pss	Qss	Pgs	Qgs	Pbs	Qbs	prb	EERM
1	1000	117.000	0.000	117.000	0.000	-62.538	-47.728	0.000	-0.479	-61.691	-9.135	1	0.0000
2	1	114.550	-2.550	114.437	-5.096	25.000	15.000	0.043	-0.221	0.000	0.000	0	0.0000
3	2	37.841	-8.040	37.469	-5.292	12.000	-15.593	0.000	-0.022	0.000	0.000	0	0.0000
4	3	36.472	-11.234	35.773	-7.105	2.000	1.000	0.014	0.037	0.000	0.000	0	0.0000
5	4	10.134	-13.724	9.844	-2.404	2.000	-1.729	0.000	-0.001	0.000	0.000	0	0.0000
6	5	9.528	-16.567	9.132	-2.717	2.000	1.000	0.007	0.073	0.000	0.000	0	0.0000
7	6	0.376	-19.413	0.355	-0.125	1.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.0000
8	7	35.642	-13.488	34.659	-8.313	1.000	0.500	0.014	0.035	0.000	0.000	0	0.0000
9	8	35.081	-15.400	33.822	-9.316	1.000	0.500	0.013	0.034	0.000	0.000	0	0.0000
10	9	34.634	-16.606	33.190	-9.898	1.000	0.500	0.013	0.034	0.000	0.000	0	0.0000
11	10	34.416	-17.273	32.864	-10.219	0.000	0.000	0.006	0.020	0.000	0.000	0	0.0000
12	11	10.152	-14.393	9.833	-2.523	2.000	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.0000
13	12	10.995	-16.867	10.522	-3.190	2.000	-2.178	0.000	-0.015	0.000	0.000	0	0.0000
14	13	10.287	-17.818	9.794	-3.148	2.500	-0.132	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.0000
15	14	10.235	-21.695	9.510	-3.784	3.950	-0.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.0000
16	15	10.906	-16.744	10.444	-3.142	1.000	0.500	0.000	-0.015	0.000	0.000	0	0.0000
17	100	113.290	-7.997	112.189	-15.760	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.0169
SUMMA :						58.950	-0.582	0.111	-0.519	-61.691	-9.135		
BALANS:										2.630	10.237		
PAST SUMMA :						58.950	32.601	0.105	-0.509	-62.683	-47.403		
PAST BALANS:										3.628	15.311		

vvvvv END DPOpt= 2.7407 NIT= 19

Рисунок 2.12 – Таблиця режимних характеристик. Схема ТМ0.

Рис.2.12 представляє собою загальну інформацію о роботі комплексу OPTIM_QT. Рішення поставленої задачі складається з двох частин. Для вибору складу регуляторів треба 3 кроки (Step 1, 2, 3). На кожному кроці враховуються режимні і технологічні обмеження. В другій частині, коли вибрані усі регулятори і визначені усі умови процес починається з ітерацій без обмежень, потім відпрацьовується регулювання напруги за допомогою трансформаторів (REG_UT), потім підключається регулювання $Q_{ск}$ (REG_UQ), а в кінці при необхідності регулюються системні трансформатори (REG_UTS). Для вирішення задачі необхідно було провести 19 ітерацій.

[illegible]

Рис. 2.13 Детально розглядаєм логіку вирішення на кожному кроці ітерацій методом другого порядку з матрицею Гессе. На нульовій ітерації дається інформація о складі регуляторів і вибраному діапазоні їх регулювання.

На кожній наступній ітерації пропонуються оптимальні поправки(колонка справа), їх значення з врахуванням обмежень(зліва) і прийняте рішення по Q и Ктр. В дужках записується символ обмеження. Матриця Гессе коректується тільки на перших трьох ітераціях(признак символ G). При розрахунку режимних обмежень (U,T) документуються коефіцієнти бар'єрного поліному (BAR F(St) або BAR F(Ud)). На кожній ітерації друкуються два головних параметри - втрати і сума поправок, яка свідчить про сходимость процесу. Динаміка цих двох параметрів задокументована на рис.2.14 і рис.2.15.

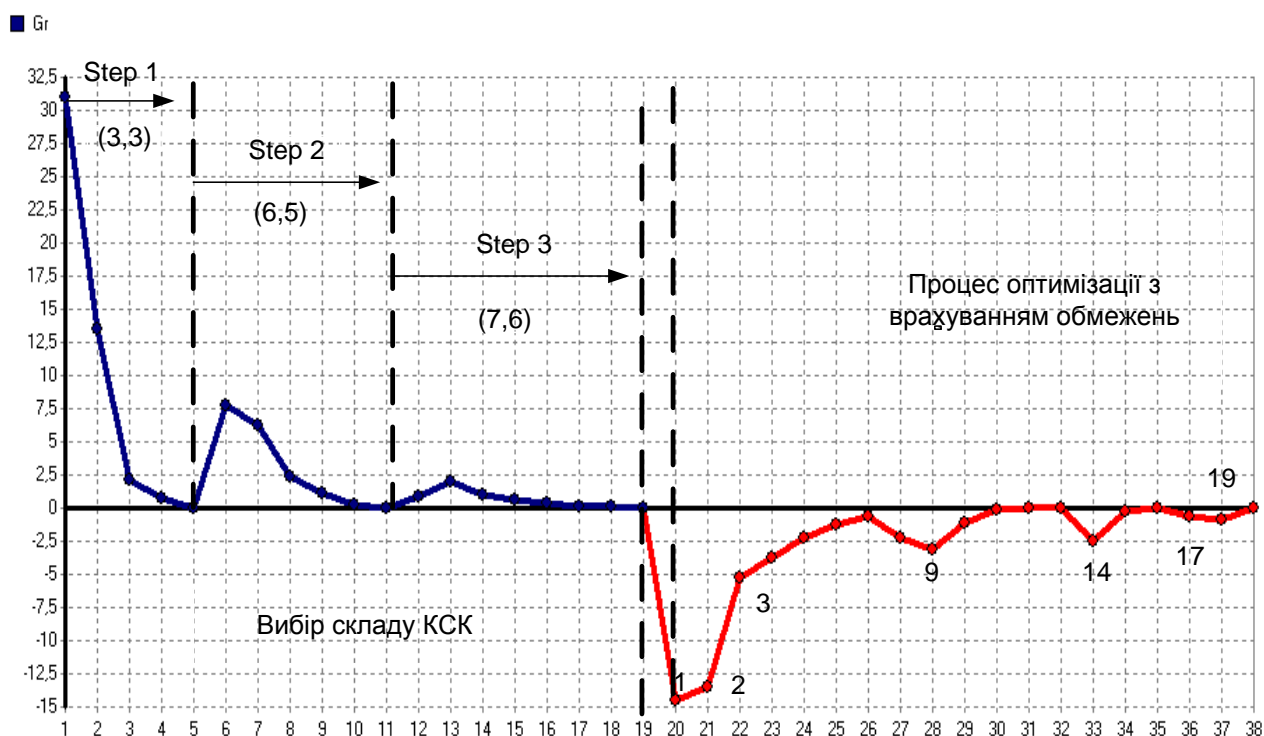


Рисунок 2.14 – Графік збіжності ітераційного процесу.

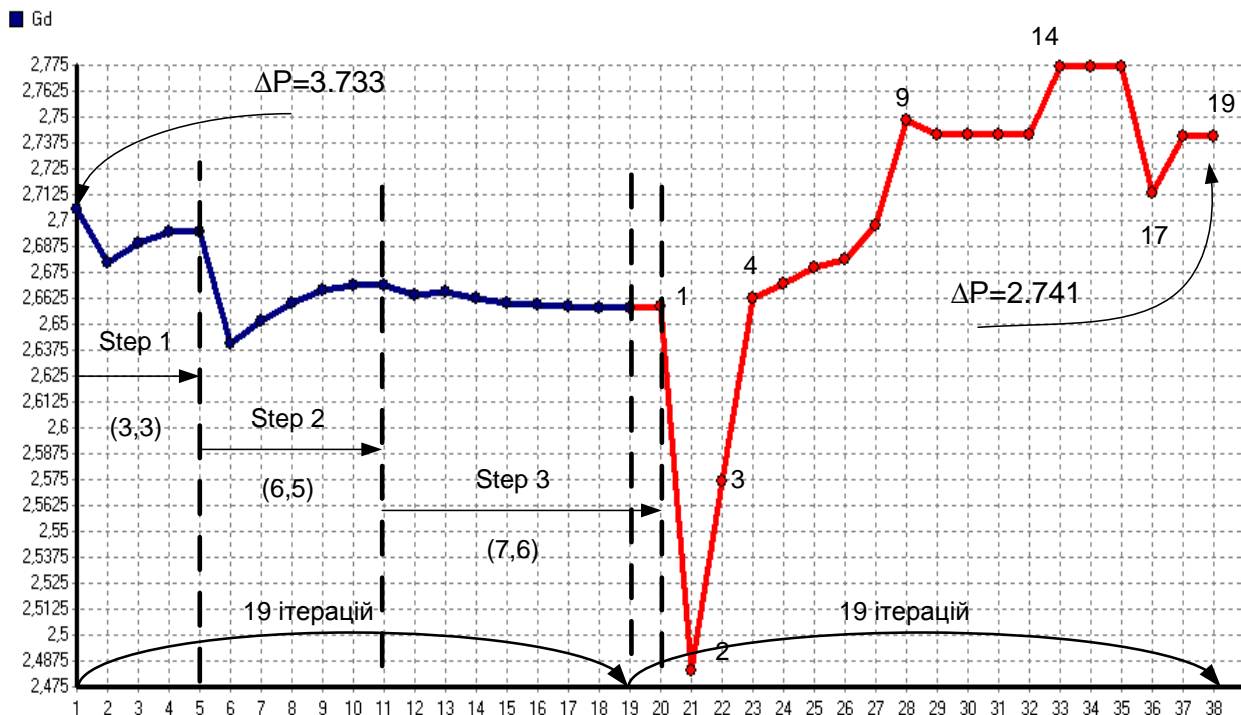


Рисунок 2.15 – Графік зміни втрат в процесі оптимізації

Висновки :

В даному розділі ми ознайомилися с системними компенсаціями реактивних потужностей, дослідили їх, дізналися якими вони бувають та чим відрізняються, також дізналися, що таке бар'єрні обмеження та як їх обраховувати. Позналилися та попрацювали с промисловим комплексом ОРТИМ_QT, дізналися як він працює та обрахували нашу схему. Побачили як змінюється наша оптимізація на кожному кроці, навчилися її обраховувати, порівняли отриманні результати. Розробили еталонний приклад з повним спектром обмежень для нашої схеми. Провели розрахунок і аналіз технологічно оптимального режиму еталонного прикладу. Побудували графіки.

ВИСНОВКИ

По результатам даної бакалаврської роботи можна зробити наступні висновки:

1. Для розрахункової частини (розділ 1,2) підготовлена індивідуальна розрахункова схема 330/110/35/10 кВ у форматах PAO TB і Z_REGIM, об'ємом 47 вузлів і 57 гілок;

2. Виконаний розрахунок і аналіз усталеного режиму методом Ньютона по інтерактивній технології взаємодії з комп'ютерним комплексом при розрахунку матриці Якобі. Умови розрахунку відповідають індивідуальному завданню.

3. Проведена оптимізація режиму по реактивній потужності методом другого порядку з діагональною матрицею Гессе. Реалізація спуску виконана по інтерактивній технології. Результати відповідають реальним електроенергетичним ситуаціям. Кінцевий результат засобами РПН трансформаторів введений в допустиму область.

4. Реалізований розрахунок с.к.з. на шинах 10 кВ ПС 110/35/10 кВ системним методом з повною матрицею Y , балансуєчими вузлами $U \approx 0$ (точка к.з.) і шинами бескінечної потужності в системних балансуєчих вузлах. Навантаження та поперечні провідності не враховувались. Розрахований с.к.з.

5. У другій дослідницькій частині вирішена задача розробки и розрахунку еталонної схеми з повним спектром обмежень, вибрані відповідні РПН для кожного з трансформаторів, розраховані та встановлені відповідні реактивні потужності в загальному отримано та застосовано 7 типів КСК, режим введений в допустиму область. За допомогою розрахунків могли спостерігати сходимость ітераційного процесу на кожному кроці ітерації.

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.
2. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергия, 1987. – 648 с.
3. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 – 448 с.
4. Банін Д. Б. Методичні вказівки до викон. диплом. проекту бакалавра для студ. напряму підготов. 6.050701 «Електротехніка та електротехнології». Моделювання, аналіз та оптимізація електричних режимів / Банін Д.Б., Хоменко О.В., Банін М.Д. – Київ. : НТУУ «КПІ», 2011. – 68 с.
5. Банін Д.Б. Конспект лекцій з дисципліни «Алгоритмізація та програмування електроенергетичних задач» / Банін Д.Б., Банін М.Д., Гнатовський А.В. – К. : НТУУ «КПІ», 2013. – 140 с.
6. Дубовик В.П. Вища математика: навч. посібн. / В.П. Дубовик, І.І. Юрик . – К.: А.С.К., 2005 – 648 с. – (Університетська бібліотека).
7. Правила улаштування електроустановок. – 5-те вид., переробл. й доповн. – Х. : Видавництво «Форт», 2014. – 800 с.’
8. Блок В.М. Электрические сети и системы: Учеб. пособие для электроэнергет. спец. вузов. – М.: Высш. Шк., 1986. – 430 с.: ил.
9. Буйний Р.О., Ананьєв В.М., Тисленко В.В. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір обладнання на електричних станціях та підстанціях. – Чернігів: ЧДТУ, 2004 – 70 с.
10. Праховник А.В., Божко В.М. Рогальский Б.С., Комплексне і системне вирішення проблеми компенсації реактивних навантажень в електричних мережах споживачів та електропостачальних компаній // Промелектро. – 2004 - №2 – с.2 - 9

					141.5110.001.ДБ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		