

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О.І. Толочко
(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: Обчислення загальних характеристик режиму оператора системи розподілу згідно
добового графіку навантажень

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕК-г61-1
(шифр групи)

Дуда Павло Ігорович
(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

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
Кафедра автоматизації енергосистем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 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

Дуді Павлу Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Обчислення загальних характеристик режиму оператора системи розподілу згідно добового графіку навантажень»
керівник проекту Банін Дмитро Борисович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «28» квітня 2020 р. №1048-с

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

3. Вихідні дані до проекту: технічна документація по промисловому 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: Розробка комплексної розрахункової схеми 330/110/35/10 кВ, інтерактивний розрахунок, оптимізація та аналіз режиму, системний розрахунок струмів короткого замикання, обчислення загальних характеристик режиму оператора системи розподілу згідно добового графіку навантаження.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Однолінійна схема ПС 110/35/10 кВ; Розрахунок та оптимізація режиму; Системний розрахунок струмів короткого замикання; Режими по добовим графікам.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Робота з методичним матеріалом	21.10.2019	
2	Розробка розрахункової схеми	11.11.2019	
3	Розрахунок режиму РАОТВ, L_АПЕЗ	25.11.2019	
4	Оптимізація розподілу Q, L_АПЕЗ	11.12.2019	
5	Системний розрахунок струмів КЗ	25.12.2019	
6	Формалізація задач дослідження	10.02.2020	
7	Розробка розрахункової схеми з типовими графіками споживання електроенергії	02.03.2020	
8	Розробка автономних варіантів регулювання добового графіку	06.04.2020	
9	Оформлення пояснювальної записки та листів (плакатів)	18.05.2020	
10	Попередній захист	11.06.2020	

Студент _____
(підпис)

П.І. Дуда
(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	141.6101.001.ДБ	Пояснювальна записка	69	
3	A1	141.6101.001.ТК1	Однолінійна схема ПС 110/35/10 кВ	1	
4	A1	141.6101.001.ТК2	Розрахунок та оптимізація режиму	1	
5	A1	141.6101.001.ТК3	Системний розрахунок струмів КЗ	1	
6	A1	141.6101.001.ТК4	Режими по добовим графікам	1	

					141.6101.001.ДБ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Відомість дипломного проекту		
Розроб.	Дуда П.І.						
Перевір.	Банін Д.Б.						
Н. Контр.	Настенко Д.В.						
Затв.	Толочко О.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						3	1
					НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ФЕА, гр. ЕК-з61-1		

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: «Обчислення загальних характеристик режиму оператора системи
розподілу згідно добового графіку навантажень»

РЕФЕРАТ

В бакалаврській роботі виділяють дві частини: перша – розрахункова (розділ 1), де реалізуються загальні електроенергетичні задачі розрахунку та оптимізації режимів і визначення струмів короткого замикання для достатньо складних електричних мереж та друга – дослідницька (розділ 2), що присвячена аналізу методів розрахунку споживання та втрат електроенергії, базується на типових або вимірних добових графіків навантаження.

Об’єкт дослідження – Індивідуальна підстанція 110/35/10 кВ, постачальна та розподільча мережа 330/110/35/10 кВ, тп промислові розрахункові схеми великого обсягу з різних регіонів України або характерні проблемно-орієнтовані експериментальні моделі.

Предмет дослідження – Невідомі режимні характеристики (напруги, втрати, регулюючі значення реактивної потужності, струму к. з та інше), а також параметри розрахункових моделей синусоїдального струму, матриць провідностей та опору, методи еквівалентування, методи рішення нелінійних електроенергетичних рівнянь та інше.

Мета дослідження – Підтвердити рівень інженерної кваліфікації бакалаврської роботи та згідно індивідуального завдання, виконати розробку розрахункової схеми, що мають споживачів різним типам навантажень (одно, двох, трьохзмінними, неперервним циклом, різні інтегральні графіки) та визначити їх показники щодо втрат та споживання електроенергії.

В роботі наведені теоретичні матеріали, які супроводжені розрахунками на контрольних та примислових схемах. Бакалаврська робота містить 69 сторінок, 23 рисунків, 7 таблиць, 4 листи графічної частини та 9 літературних посилань. Для реалізації завдання задіяно учбовий комп’ютерний комплекс L_APEZ, промислові електроенергетичні комплекти РАОТВ, Z_REGIM, OPTIM.QT.

Ключові слова: РОЗРАХУНОК УСТАЛЕНОГО РЕЖИМУ, РОЗРАХУНКОВА СХЕМА, МОДЕЛІ НАВАНТАЖЕНЬ, МЕТОТ НЬЮТОНА, ОПТИМІЗАЦІЯ РЕАКТИВНИХ ПОТУЖНОСТЕЙ, МАТРИЦЯ ЯКОБІ, ГЕССЕ, ПРОВІДНОСТЕЙ ТА ОПОРУ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, ГРАФІК НАВАНТАЖЕННЯ, МЕТОДИ Z_REGIM, ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА РЕЖИМНІ ОБМЕЖЕННЯ, ДИСКРЕТНИЙ СПУСК, АЛГЕБРАЇЧНИЙ ТА СИМВОЛІЧНИЙ МЕТОД, ОПЕРАТОРИ СИСТЕМИ З ПОСТАЧАННЯ (ОСП) ТА РОЗПОДІЛУ (ОСР) ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

					141.6101.001.ДБ	Аркуш
						5
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

There are two parts to the bachelor's thesis: the first - calculation (section 1), which implements general power problems of calculation and optimization of modes and short circuit currents for sufficiently complex electrical networks and the second - research (section 2), devoted to the analysis of methods of calculation of consumption and losses of the electric power, is based on standard or measured daily schedules of loadings.

Object of research – Individual substation 110/35/10 kV, supply and distribution network 330/110/35/10 kV, large-scale industrial calculation schemes from different regions of Ukraine or typical problem-oriented experimental models.

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

The aim – To confirm the level of engineering qualification of the bachelor's degree and according to the individual task, to develop a calculation scheme for consumers with different types of loads (one, two, three-shift, continuous cycle, different integrated graphs) and determine their indicators of electricity loss and consumption.

The paper presents theoretical materials, which are accompanied by calculations on control and industrial schemes. The bachelor's thesis contains 69 pages, 23 drawings, 7 tables, 4 letters of the graphic part and 9 literary references. To implement the task involved training computer complex L_APEZ, industrial power kits RAOTV, Z_REGIM, OPTIM.QT.

Keywords: THE CALCULATED STEADY MODE, DESIGN SCHEME, THE MODEL LOADS METOT NEWTON, OPTIMIZING REACTIVE POWER JACOBI MATRIX, HESSE, CONDUCTIVITY AND RESISTANCE, SHORT CIRCUIT, LOAD DEMAND, METHODS Z_REGIM, TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL LIMITATION, DISCRETE DESCENT, ALGEBRAIC AND SYMBOLIC METHOD, ELECTRICITY SUPPLY (DSO) AND DISTRIBUTION SYSTEM OPERATORS.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ЗАДАЧІ РОЗРАХУНКУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ.....	10
1.1 Розробка регіональної схеми (живляча мережа 330/110 кВ, ПС110/35/10 кВ), ввід режиму в допустиму зону.....	10
1.2 Комплекс L_APEZ_ZN - комп'ютерний розрахунковий апарат.....	16
1.3 Інтерактивний розрахунок матриці Якобі при моделюванні режиму методом Ньютона.....	18
1.4 Компенсація реактивних потужностей на ПС 110/35/10 кВ, інтерактивна оптимізація режиму реактивної потужності.....	24
1.5 Системний розрахунок С.К.З. Визначення струмороподіл в мережі при к.з. на шинах ПС 110/35/10 кВ	34
Висновки	37
2 ОБЧИСЛЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖИМУ ОСП ЗГІДНО ДОБОВОГО ГРАФІКУ НАВАНТАЖЕННЯ	39
2.1 Методичні матеріали до розрахунку ustalених режимів електричних мереж, електросистем та електропередавальних організацій	39
2.2 Варіанти розрахунку режиму з проблемно-технологічною орієнтацією (найменування режимів)	42
2.3 Реалізація розрахунків з урахуванням добових графіків навантаження (баланси електроспоживачів).	48
2.4 Інструкції РАОТВ щодо формування графіків навантаження	50
2.5 Результати розрахунку з типовими та конкретними графіками по активній та реактивній потужності навантажень	57
Висновки	67
ВИСНОВКИ.	68
ЛІТЕРАТУРА	69

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

РПН – регулювання під навантаженням;

ПБВ – перемикання без збудження;

ОСП – оператори системи постачання;

БСК – батареї статичних конденсаторів;

ОСР – оператори системи розподілу;

БП – балансуючий пункт;

ВН – висока напруга;

ЕЕС – електроенергетична система;

КЗ – коротке замикання;

ЛЕП – лінія електропередачі;

НН – низька напруга;

ПК – програмний комплекс;

ПС – підстанція;

РАОТВ – розрахунок, аналіз та оптимізація технологічних втрат;

РЗ – релейний захист;

РП – розподільчий пункт;

ТН – трансформатор напруги;

ТС – трансформатор струму;

ТП – трансформаторний пункт;

ФМ – фіксація модуля;

ЗРП – закритий розподільчий пристрій;

ЕМ – електричні мережі.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Основними задачами, що забезпечують надійність і ефективність електропостачання споживачів є розрахунки струмів КЗ, аналіз режимних характеристик розрахункових схем електропостачальних організацій і енергосистем, оптимізація їх режимів по критерію мінімуму втрат, які в теперішній час використовуються на основі комп'ютерних комплексів і інформаційних баз електричних мереж.

Розрахункові схеми сучасних електроенергетичних об'єктів наразі нараховують сотні та тисячі вузлів. Моделювання режимів таких схем, пов'язано з обов'язковим алгоритмам ФМ напруг, як на шинах генераторної напруги, так і в вузлах міжсистемного з'єднання різних суб'єктів енергетики України. Нелінійність задачі розрахунку режимів і їх балансування потребують надійних математичних рішень по збіжності ітераційних процесів і по однозначності вибору рішень.

В першому розділі було описано підстанцію 3-х класів напруг 110/35/10 кВ, її силового обладнання та утворювальну систему 330кВ. Проведено налаштування даної системи в допустиму зону. Також пройшла оптимізація режиму реактивної потужності та виконаний розрахунок струмів КЗ на шинах.

В другому розділі описано теоретичні відомості для розрахунку усталених режимів ЕМ, способи їх розрахунку з проблемно-технологічною орієнтацією. Розрахунок добових графіків навантаження та формування графіків в програмному комплексі РАОТВ. Розрахунок та аналіз добових графіків навантаження по активній та реактивній потужності. А також результати розрахунку з типовими та конкретними графіками по активній та реактивній потужності. Розроблена розрахункова схема з типовими графіками споживання електроенергії (однозмінна, двохзмінна, трьохзмінна, неперервний цикл, інтегральна).

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ЗАДАЧІ РОЗРАХУНКУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

1.1 Розробка регіональної схеми (живляча мережа 330/110 кВ, ПС110/35/10 кВ), ввід режиму в допустиму зону

Підстанція 110/35/10 кВ має такі елементи:

- вимикач – електричний апарат для замикання і розмикання електричного кола, вмикання і вимикання обладнання;
- трансформатор струму – призначений для перетворення струму до значення, зручного для вимірювання;
- трансформатор напруги – призначений для перетворення напруги до значення, зручного для вимірювання;
- розрядник – автоматичний прилад або пристрій для захисту електричного устаткування від перенапруги;
- плавкий запобіжник – комутаційний апарат, призначений для вимикання кола, яке він захищає, шляхом руйнування спеціально передбачених для цього струмоведучих частин під дією струму;
- комірка ЗРП - розподільчий пристрій, розташований всередині будівлі;
- лінійний роз'єднувач – служить для створення видимого розриву на знеструмлених ПЛЗ 6-20 кВ при проведенні ремонтних робіт і оперативних перемикачів;
- шинний роз'єднувач – створює видимий розрив в машинах;
- силовий трансформатор – це електричний апарат, який призначений для перетворення змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої напруги для живлення електроенергією споживачів;

					141.6101.001.ДБ					
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Дуда П.І.			<i>Електротехнічні задачі розрахунку та оптимізації режимів електричних мереж</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Банін Д.Б.							10	37
								НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ФЕА, гр. ЕК-261-І		
Н. Контр.		Настенко Д.В.								
Затв.		Толочко О.І.								

- заземлення – струмопровідна частина, що знаходяться в електричному контакті зі землею безпосередньо або через проміжне провідне середовище.

На стороні 110кВ маємо:

- Шинний роз'єднувач **РЛНД-I-110/600** та **РЛНД-СК-110/600**;
- Ошиновка **АС-185**;
- Вимикач **ОД-110м/600** та **У-110-2000-50**;
- Трансформатор струму **ТВТ-110-300/600** та **ТФНД-110м-300/600**;
- Лінійний роз'єднувач **РЛНДЗ-110/600**.

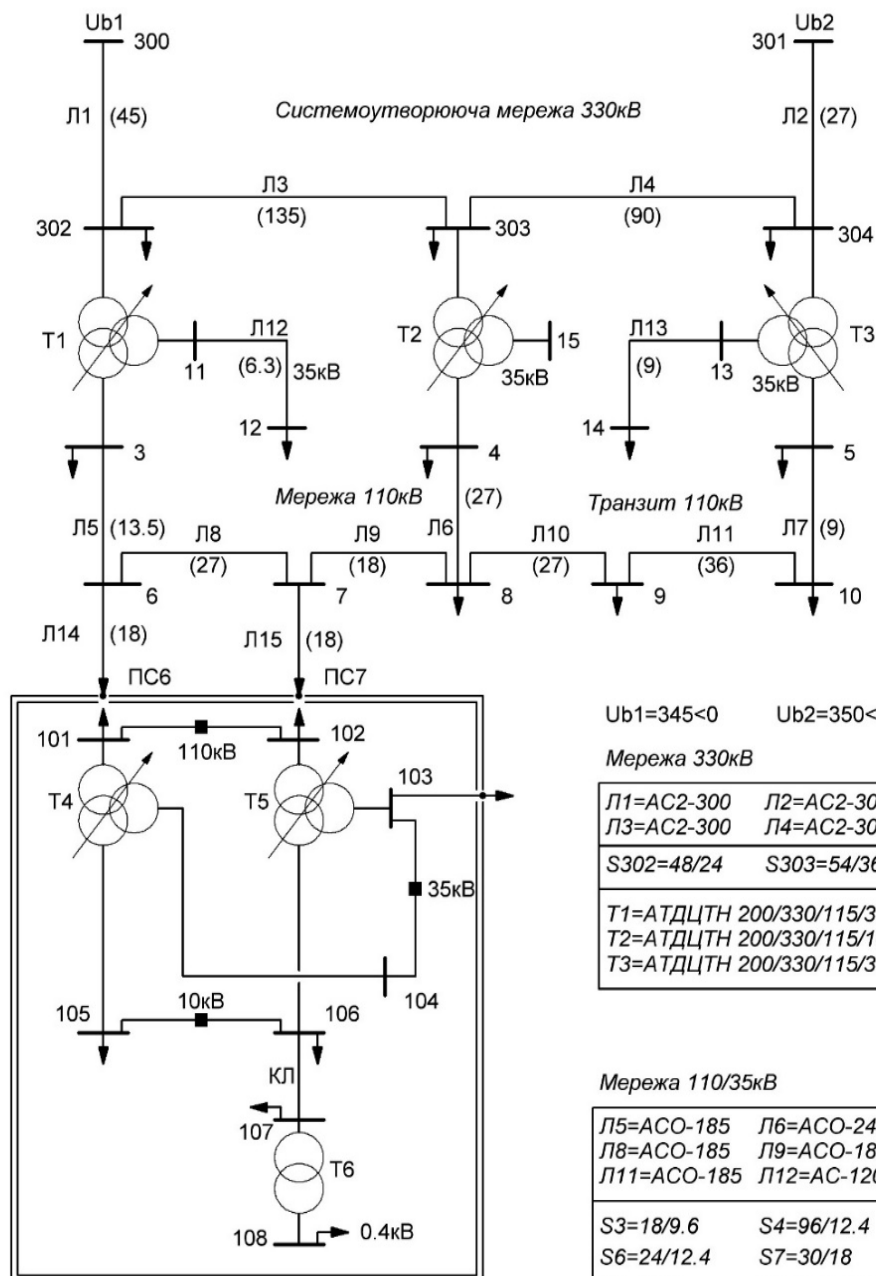
На стороні 35кВ маємо:

- Трансформатор струму **ТВ-35/600**;
- Ошиновка **АС-185**;
- Вимикач **С-35м-630/10**;
- Шинний роз'єднувач **РЛНД-3-2-35/1000**;
- Розрядник **РВС-35**.

На стороні 10кВ маємо:

- Трансформатор струму **ТАМ 10-400/5, ТЛМ 10-300/5** ;
- Вимикач **ВМП-10/630**;
- Шинний роз'єднувач **РШ-10/600**;
- Привод **ПЕВ-12**;
- Розрядник **РВП-10**.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Ub1=345<0 Ub2=350<-2

Мережа 330кВ

Л1=АС2-300	Л2=АС2-300
Л3=АС2-300	Л4=АС2-300
С302=48/24	С303=54/36
С304=60/36	
Т1=АТДЦТН 200/330/115/38.5	
Т2=АТДЦТН 200/330/115/10.5	
Т3=АТДЦТН 200/330/115/38.5	

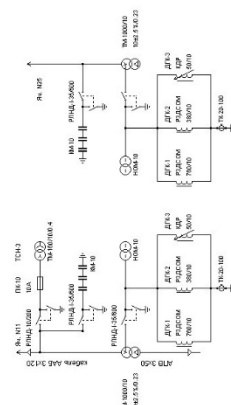
Мережа 110/35кВ

Л5=АСО-185	Л6=АСО-240	Л7=АСО-185
Л8=АСО-185	Л9=АСО-185	Л10=АСО-185
Л11=АСО-185	Л12=АС-120	Л13=АС-120
С3=18/9.6	С4=96/12.4	С5=12.4/9.6
С6=24/12.4	С7=30/18	С8=10/6
С9=10/6	С10=12.4/8.4	С11=0
С12=12.4/4.8	С13=18/12	С14=18/12

ПС 110/35/10кВ

Л14=18*АСО-185	Л15=18*АСО-185
С103=12.4/7.2	С104=9.6/7.2
С105=6/4.8	С106=6/4.8
С107=2.4/1.2	
Т4=АДТН 31.5/110/38.5/11	
Т5=АДТН 31.5/110/38.5/11	
Т6=ТМ 3.2/10/0.4	
КЛ=3*АСБ-95	

Рисунок 1.1 – Вихідні дані схем 330/110/35/10 кВ



141.6101.001.ДБ

№	N узла	П	Рнаг	Qнаг	Рген	Qген	Um	Uрасч	Угол	Ррасч	Qрасч
1	300	б			255,430466	48,644989	345,000000	345,0000			
2	301	б			214,064568	118,071758	350,000000	350,0000	-2,000000		
3	302		48,000000	24,000000			330,000000	341,0724	-1,756181	48,000	24,000
4	303		54,000000	36,000000			330,000000	340,6374	-3,845818	54,000	36,000
5	304		60,000000	36,000000			330,000000	346,1217	-2,810665	60,000	36,000
6	3		18,000000	9,600000			110,000000	119,2707	-4,994804	18,000	9,600
7	4		96,000000	12,400000			110,000000	115,9322	-7,372040	96,000	12,400
8	5		12,400000	9,600000			110,000000	117,4643	-4,848409	12,400	9,600
9	6		24,000000	12,400000			110,000000	115,6232	-6,361209	24,000	12,400
10	7		30,000000	18,000000			110,000000	112,5548	-7,867320	30,000	18,000
11	8		10,000000	6,000000			110,000000	114,2193	-7,687140	10,000	6,000
12	9		10,000000	6,000000			110,000000	115,7081	-5,624943	10,000	6,000
13	10		12,400000	8,400000			110,000000	116,7916	-5,115423	12,400	8,400
14	11						35,000000	38,1780	-5,862536		
15	12		12,400000	4,800000			35,000000	37,2637	-6,865406	12,400	4,800
16	13		18,000000	12,000000			35,000000	38,1269	-7,259710	18,000	12,000
17	14		18,000000	12,000000			35,000000	35,6005	-8,923230	18,000	12,000
18	15						10,000000	10,5945	-7,388195		
19	101						110,000000	114,2307	-6,661329		
20	102						110,000000	110,7913	-8,328302		
21	103		12,400000	7,200000			35,000000	34,6359	-14,704608	12,400	7,200
22	104		9,600000	7,200000			35,000000	35,7042	-11,111476	9,600	7,200
23	105		6,000000	4,800000			10,000000	10,3860	-9,826535	6,000	4,800
24	106		6,000000	4,800000			10,000000	10,0890	-12,927160	6,000	4,800
25	107						10,000000	9,8066	-12,457665		
26	108		2,400000	1,200000			0,380000	0,3798	-14,672793	2,400	1,200
27	1001						330,000000	329,3331	-5,019015		
28	1002						330,000000	332,9699	-7,388195		
29	1003						330,000000	337,1560	-4,857313		
30	1004						110,000000	108,6635	-9,861485		
31	1005						110,000000	105,5967	-12,975261		

Рисунок 1.3 – Таблица вузлів мережі

З данної таблиці бачимо, значення активної та реактивної потужності, розрахункову напругу вузлів. Значення напруг не заходять за допустимий діапазон (від -5% до +10%) від номінального значення. Зазвичай цього не достатньо, далі йдуть втрати, які по можливості треба зробити як можна меншими. Втрати системи показані на рис. 1.5.

№	N нач.	N кон.	k	R	X	G	B	Кт'	Кт ном	S доп	Тип	Марка	Нотв'	Регулирование
1	300	302		2,205000	14,625000	2,025000	-156,150000				LN 330	45000*AC2-300		
2	301	304		1,323000	8,775000	1,215000	-93,690000				LN 330	27000*AC2-300		
3	302	303		6,615000	43,875000	6,075000	-468,450000				LN 330	135000*AC2-300		
4	303	304		4,410000	29,250000	4,050000	-312,300000				LN 330	90000*AC2-300		
5	302	1001		0,816750	58,528050	1,652893	9,182736	1,000000	1,000000	200	T3 0	АТДЦТН- 200000/330/115/38.5		
6	1001	3		0,816750				2,759197	2,869565	200	T3 1	АТДЦТН- 200000/330/115/38.5	9	СН-РПН-П-13-7-2
7	1001	11		2,041875	126,579800			8,571428	8,571428	80	T3 2	АТДЦТН- 200000/330/115/38.5		
8	303	1002		0,816750	58,528050	1,652893	9,182736	1,000000	1,000000	200	T3 0	АТДЦТН- 200000/330/115/10.5		
9	1002	4		0,816750				2,869565	2,869565	200	T3 1	АТДЦТН- 200000/330/115/10.5	7	СН-РПН-П-13-7-2
10	1002	15		2,041875	126,579800			31,428570	31,428570	80	T3 2	АТДЦТН- 200000/330/115/10.5		
11	304	1003		0,816750	58,528050	1,652893	9,182736	1,000000	1,000000	200	T3 0	АТДЦТН- 200000/330/115/38.5		
12	1003	5		0,816750				2,869565	2,869565	200	T3 1	АТДЦТН- 200000/330/115/38.5	7	СН-РПН-П-13-7-2
13	1003	13		2,041875	126,579800			8,571428	8,571428	80	T3 2	АТДЦТН- 200000/330/115/38.5		
14	3	6		2,295000	5,494500	0,297000	-37,260000				LN 110	13500*ACO-185		
15	4	8		2,295000	5,494500	0,297000	-37,260000				LN 110	13500*ACO-185		
16	5	10		1,530000	3,663000	0,198000	-24,840000				LN 110	9000*ACO-185		
17	6	7		4,590000	10,989000	0,594000	-74,520000				LN 110	27000*ACO-185		
18	7	8		3,060000	7,326000	0,396000	-49,680000				LN 110	18000*ACO-185		
19	8	9	Н	4,590000	10,989000	0,594000	-74,520000				LN 110	27000*ACO-185		
20	9	10		6,120000	14,652000	0,792000	-99,360000				LN 110	36000*ACO-185		
21	11	12		1,701000	2,664900	0,157500	-16,695000				LN 110	6300*AC-120		
22	13	14		2,430000	3,807000	0,225000	-23,850000				LN 110	9000*AC-120		
23	101	6		3,060000	7,326000	0,396000	-49,680000				LN 110	18000*ACO-185		
24	102	7		3,060000	7,326000	0,396000	-49,680000				LN 110	18000*ACO-185		
25	101	1004		1,499433	45,528100	5,671078	119,092600	1,000000	1,000000	31,5	T3 0	ТДТН-31500/115/38,5/11	9	ВН-РПН-П-17-9-1.5
26	1004	104		1,499433	27,458690			2,987013	2,987013	31,5	T3 1	ТДТН-31500/115/38,5/11		
27	1004	105		1,499433				10,454550	10,454550	31,5	T3 2	ТДТН-31500/115/38,5/11		
28	102	1005		1,499433	45,528100	5,671078	119,092600	0,985000	1,000000	31,5	T3 0	ТДТН-31500/115/38,5/11	8	ВН-РПН-П-17-9-1.5
29	1005	103		1,499433	27,458690			2,987013	2,987013	31,5	T3 1	ТДТН-31500/115/38,5/11		
30	1005	106		1,499433				10,454550	10,454550	31,5	T3 2	ТДТН-31500/115/38,5/11		
31	101	102	О											
32	103	104	О											
33	105	106	О											
34	106	107		0,987000	0,249000	4,245000	-424,500000				LN 10	3000*АСБ-95		
35	107	108		0,361328	1,680340	110,000000	1 280,000000	25,000000	25,000000	3,2	T2	ТМ-3200/10/0,4	3	ВН-ПБВ-П-5-3-2.5

Рисунок 1.4 – Таблица гілок схеми

З данної таблиці бачимо, значення опорів та провідностей ЛЕП їх довжину та марку провода, також вид та регульоване значення РПН трансформаторів.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


```

Узлов=31  Ветвей=35  Контуров=2  БП=2  ФМ=0

Точность расчета      : 1E-6
Невязка по напряжению : 0,000000, узел: 1005
Невязка по конт.токам  : 0,000000
Количество итераций    : 14, время расчета: 0.379 сек

Потребление           : 459.6000000 МВт  232.4000000 МВАр
Генерация              : -469.4950342 МВт -166.7167472 МВАр
Балансная мощность    : 0.0000000 МВт   0.0000000 МВАр
Потери в схеме        : 9.8950343 МВт  -65.6832528 МВАр
    Нагрузочные потери : 7.5365389 МВт  55.5930243 МВАр
        от актив.перетоков: 5.8807052 МВт
        от реакт.перетоков: 1.6558338 МВт
    Потери холост.хода  : 2.3584954 МВт -121.2762772 МВАр
        шунтирующие реакт.: 0.0000000 МВт   0.0000000 МВАр
        конденсатор. уст.  : 0.0000000 МВт   0.0000000 МВАр
Небаланс в схеме      : -0.0000000 МВт  -0.0000000 МВАр

```

Рисунок 1.5 – Загальні характеристики системи

Даний рисунок дає інформацію про втрати потужності різних типів. Таких як втрати в схемі, втрат навантаження та втрат холостого ходу. Також маємо загальні дані генерованої та спожитої потужності. Задача полягає в тому щоб ці втрати максимально можливо зменшити.

1.2 Комплекс L_APEZ_ZN - комп'ютерний розрахунковий апарат

При виконанні бакалаврської роботи, для розрахунку, аналізу та оптимізації розрахункових завдань, скористаємось комп'ютерним комплексом РАОТВ. Цей комплекс знайомий з дисципліни «Математичні задачі енергетики» який був використаний в курсовій роботі одного із семестрів. Опишемо деякі скорочення та можливості комплексу.

Основними файлами для взаємодії з комплексом є : **Name.UZL** та **Name.VET**, де **Name** - ім'я розрахункової схеми. По суті ці два файли це таблиці з вхіднимим чи результуючими параметрами.

Таблиця **Name.UZL** містить наступні інформаційні колонки:

N вузла - номер вузла розрахункової схеми;

П - ознака вузла («b»-балансуючий, «u» - фіксує напругу);

$P_{\text{нав}}, Q_{\text{нав}}, P_{\text{ген}}, Q_{\text{ген}}$ - навантажувальні режимні характеристики – потужності навантаження і генерації у вузлах;

$G_{\text{ш}}, B_{\text{ш}}$ - провідності поперечних вузлових шунтів на землю;

$U_{\text{ном}}, U_{\text{розн}}, K_{\text{ут}}$ - номінальна і розрахункова напруги, кут розрахункової напруги.

Таблиця **Name.VET** має такі інформаційні колонки:

$N_{\text{поч}}, N_{\text{кін}}$ – початок та кінець лінії;

K – комутаційний символ (Н, К, О);

R, X, G, B – активний і реактивний опір та провідності гілок лінії ;

K_{тр}, Марка, N_{відг}, Регулювання – зміна значень трансформаторів.

Задачі які покладені на програмний комплекс:

- «**Загальні характеристики**» - Споживання, генерація, баланс, втрати в схемі (навантажувальні втрати та втрати холостого ходу).
- «**Режимна графіка**» - Цей режим допомагає візуально побачити конфігурації, параметри та режимні характеристики системи;
- **U, I_л, S_т** – Результати режиму. (Напруги, струми та потужності знаходяться в допустимій області).

Для бакалаврської роботи потребуються знання лабораторного курсу «Алгоритмізація та програмування електроенергетичних задач» для реалізації наступних задач:

- «**Розрахунок режиму методом Ньютона**» - Використовується лабораторна робота № 11;
- «**Оптимізація режиму по реактивній потужності**» - використовується лабораторна робота № 12;

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- «Розрахунок трифазних струмів к.з.» - використовується лабораторна робота № 13.

Інструкції до цих задач знайдемо у протоколах лабораторних робіт курсу «Алгоритмізація та програмування електроенергетичних задач».

1.3 Інтерактивний розрахунок матриці Якобі при моделюванні режиму методом Ньютона

Маємо загальне рівняння напруги та струму мережі:

$$[\dot{Y}] \cdot [\dot{U}] = [\dot{I}] .$$

До множимо на діагональну матрицю сполучених напруг $[\hat{U}]$ ліву та праву частину, отримаємо:

$$\begin{aligned} \sqrt{[\hat{U}]}[\dot{Y}][\dot{U}] &= \sqrt{[\hat{U}]}[\dot{I}] = [\hat{S}], \\ [\hat{S}] - \sqrt{[\hat{U}]}[\dot{Y}][\dot{U}] &= [0] = [\dot{F}] . \end{aligned}$$

Для довільного вектора $[\dot{U}]$ попередній вираз має нев'язки \dot{F}_i , які дорівнюють 0, при знаходженні кінцевого значення. Рівняння отримало назву **рівнянням стану мережі**. В алгебраїчній формі рівняння стану записуються:

$$\hat{S}_i - \sum \hat{U}_i Y_{ij} \dot{U}_j = \dot{F}_i .$$

Для комплексного виду розв'язок нелінійної системи методом Ньютона повинен мати вигляд:

$$[J][\Delta \dot{X}] = -[\dot{F}], \quad [\Delta \dot{X}] = [\Delta \dot{U}] ,$$

де $[J]$ - матриця Якобі, що містить частинні похідні

$$\partial \dot{F}_i / \partial \dot{U}_j, i = 1.2..n, j = 1.2..n .$$

Комплексна функція \dot{F}_i не аналітичною і система є не коректною. Доводиться переходити в дійсний простір подвоєної розмірності і записувати рівняння по дійсній та уявній складовій окремо. Позначимо добуток комплексних чисел:

$$\widehat{U}_i \dot{U}_j Y_{ij} = p_i + j q_{ij} ,$$

виділимо із суми складові для $i = j$, оскільки в матриці $[\dot{Y}]$ елемент Y_{ij} є від'ємним, отримуємо рівняння:

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

Дана форма системи (форма 1) є рівнянням стану мережі в дійсному просторі. Комплексні змінні, що входять в рівність, мають вигляд:

$$U_i^2 = U a_i^2 + U r_i^2 ,$$

$$\dot{Y}_{ij} = \dot{G}_{ij} + j \dot{B}_{ij} ,$$

$$\widehat{U}_i = U a_i - j U r_i = U_i (\cos \theta_i - j \sin \theta_i) ,$$

$$\dot{U}_j = U a_j + j U r_j = U_j (\cos \theta_j - j \sin \theta_j) .$$

Виконавши ряд алгебраїчних перетворень, можна перейти до форми 2 рівняння стану мережі, де в явному вигляді використовуються змінні U , θ (модуль вектора напруги і його кут):

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

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

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

Обидві наведені форми (1, 2) рівняння стану мережі використовують полярні координати, але форма 1 при обчисленнях є більш економічною (не вимагає обчислення функцій \cos , \sin).

Виконуємо експорт схеми в пакет EKLAV, для цього у таблиці вузлів нажимаємо клавіши "Ctrl+E". При цьому в розділі EKLAV повинні з'явитись два файли: 1.PNT, 1.LIN.

Виконуємо налаштування ключового файлу EKLAV\AP_KEY.PAS.

KEYf = 1 – розрахунок з фіксацією модулів напруг;

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

KEYt = 1 – перші ітерації методом Зейделя;

EPSr = 0.0001 – точність розрахунку методом Ньютона;

KITr = 100 – максимальна кількість ітерацій;

KITt = 1 – кількість ітерацій методом Зейделя;

KEYn = 1 – виконання лабораторної роботи № 11

Npz = 10 – номер вузла для ручних розрахунків

Nv1 = 10, Nv2 = 9 – номери початку і кінця гілки для ручних розрахунків

Niter = 2 – номер ітерації для ручних розрахунків

KEYf	KEYs	KEYy	KEYt	EPSr	KITr	KITt	
0	0	0	1	0.0001	100	1	
=====							
LAB11			KEYn	Npz	Nv1	Nv2	Niter
режим N			1	10	10	9	2
=====							
LAB12			kEYo	EPSo	KITo	KD	
оптимизация Q			1	0.001	50	0.01	
=====							
LAB13			KEYz	kz1	kz2	kz3	
т.к.з. Z			1	105	0	0	

Рисунок 1.6 – Ключовий файл EKLAB\AP_KEY.PAS

Запускаємо EKLAB\EKLABw.EXE, в консольному вікні вказуємо номер лабораторної роботи: 11, назву схеми: 1.

Документуємо результати розрахунку режиму методом Ньютона у файлі 1.REZ. Результати режиму показані на рис. 1.7.

Сумарні втрати $DP = 9.895034$ МВт повністю співпадають з втратами РАОТВ (9.895034 МВт).

Невідомі елементи для ручних розрахунків показано у файлі AP_AREZ.RES.

**** (N_REGIM_S) File= rsxema1/ iter= 5/ EPS=0.000100 ****

1 -3660.38000
2 95.10245
3 3.41855
4 0.00755

.....
END= 5 0.00000

Nnn	Name	UM	Tet	Usa	Usr	Pss	Qss	Pgs	Qgs	Pbs	Qbs	prb
1	300	345.000	0.000	345.000	0.000	-255.430	-48.645	0.121	-9.293	-255.430	-48.645	1
2	301	350.000	-2.000	349.787	-12.215	-214.065	-118.072	0.074	-5.739	-214.065	-118.072	1
3	302	341.072	-1.756	340.912	-10.453	48.000	24.000	0.663	-35.262	0.000	0.000	0
4	303	340.637	-3.846	339.870	-22.847	54.000	36.000	0.779	-44.231	0.000	0.000	0
5	304	346.122	-2.811	345.705	-16.972	60.000	36.000	0.513	-23.219	0.000	0.000	0
6	3	119.271	-4.995	118.818	-10.384	18.000	9.600	0.002	-0.265	0.000	0.000	0
7	4	115.932	-7.372	114.974	-14.875	96.000	12.400	0.002	-0.250	0.000	0.000	0
8	5	117.464	-4.848	117.044	-9.928	12.400	9.600	0.001	-0.171	0.000	0.000	0
9	6	115.623	-6.361	114.911	-12.811	24.000	12.400	0.009	-1.079	0.000	0.000	0
10	7	112.555	-7.867	111.495	-15.406	30.000	18.000	0.009	-1.101	0.000	0.000	0
11	8	114.219	-7.687	113.193	-15.278	10.000	6.000	0.005	-0.567	0.000	0.000	0
12	9	115.708	-5.625	115.151	-11.341	10.000	6.000	0.009	-1.164	0.000	0.000	0
13	10	116.792	-5.115	116.326	-10.413	12.400	8.400	0.007	-0.847	0.000	0.000	0
14	11	38.178	-5.863	37.978	-3.900	0.000	0.000	0.000	-0.012	0.000	0.000	0
15	12	37.264	-6.865	36.996	-4.454	12.400	4.800	0.000	-0.012	0.000	0.000	0
16	13	38.127	-7.260	37.821	-4.818	18.000	12.000	0.000	-0.017	0.000	0.000	0
17	14	35.601	-8.923	35.170	-5.522	18.000	12.000	0.000	-0.015	0.000	0.000	0
18	15	10.594	-7.388	10.507	-1.362	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
19	101	114.231	-6.661	113.460	-13.251	0.000	0.000	0.077	1.230	0.000	0.000	0
20	102	110.791	-8.328	109.623	-16.048	0.000	0.000	0.072	1.157	0.000	0.000	0
21	103	34.636	-14.705	33.502	-8.792	12.400	7.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0
22	104	35.704	-11.111	35.035	-6.881	9.600	7.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0
23	105	10.386	-9.827	10.234	-1.773	6.000	4.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0
24	106	10.089	-12.927	9.833	-2.257	6.000	4.800	0.000	-0.022	0.000	0.000	0
25	107	9.807	-12.458	9.576	-2.115	0.000	0.000	0.011	0.103	0.000	0.000	0
26	108	0.380	-14.673	0.367	-0.096	2.400	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0
27	1001	329.333	-5.019	328.070	-28.812	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
28	1002	332.970	-7.388	330.205	-42.817	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
29	1003	337.156	-4.857	335.945	-28.549	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
30	1004	108.664	-9.861	107.058	-18.610	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
31	1005	105.597	-12.975	102.901	-23.710	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
32	1008	115.755	-5.635	115.196	-11.366	0.000	0.000	0.004	-0.499	0.000	0.000	0
SUMMA :						459.600	232.400	2.358	-121.276	-469.495	-166.717	
BALANS :									7.537	55.593		

DP= 9.895034

Рисунок 1.7 – Результати розрахунку методом Ньютона файл 1.REZ

@@@@@ ITER: 2 95.10245

Name	D11	D12	D21	D22
10	9999.9999	9999.9999	9999.9999	9999.9999

NameN	NameK	V11	V12	V21	V22	H11	H12	H21	H22
9	10	9999.9999	9999.9999	9999.9999	9999.9999	9999.9999	9999.9999	9999.9999	9999.9999

Name	UM	Tet	Usa	Usr	F1	F2	dU	dTeta
10	999.999900	999.999900	116.344761	-10.416629	-0.012318	0.008550	0.000159	0.000767

Name	Usa	Usr
5	117.062067	-9.930384
9	115.169804	-11.346132

Рисунок 1.8 – Файл AP_AREZ.RES зміни маскування

Рахуємо другу ітерацію в ручному вигляді, для цього використовуєм вхідні дані з файлу AP_ADAN.PAS:

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12.400000	8.400000	-0.121364	0.290496	Ps_Qs_Gs_Bs
117.340828	-5.590091	0.004523	0.473902	Us_Tet_dU_dTet
2	10	2		
	5		9	
0.097091	0.024273	Ya		
-0.232446	-0.058112	Yr		
117.062067	115.169804	Ua		
-9.930384	-11.346132	Ur		

Рисунок 1.9 – Вихідні дані для ручного розрахунку

Для розрахунку використовувалися методичні вказівки та конспект лекцій. Алгоритм контролю правильності розрахунків наступний: результати розрахунків заносяться в файл AP_AREZ.ETA, далі файл копіюється в файл AP_AREZ.REZ, запускається EKLAB.EXE. Правильність розрахунків досягнуто коли у файлі AP_AREZ.RES зникнуть маскування "9999.9999". Також контролем правильності розрахунків є відповідність нев'язок F1, F2.

Заповнення файлу AP_AREZ.ETA (AP_AREZ.REZ):

R	Name	D11	D12	D21	D22						
0	10	1643.543	-3972.095	3955.308	1668.383						
NameN	NameK	V11	V12	V21	V22	H11	H12	H21	H22		
0	10	9	-321.117	788.456	-788.456	-321.117	-335.108	782.612	-782.612	-335.108	
Name	F1	F2	UM	Teta							
0	10	-0.02	0.007	116.81	-5.116						

Ручний розрахунок проводився в програмі MathCad 15.

$$\begin{aligned}
 U_{t0} &= 117.340828 & dU_0 &= 0.004523 & i &= \sqrt{-1} \\
 \Theta_0 &= -5.590091 & d\Theta_0 &= 0.473902 \\
 U_t &= U_{t0} - U_{t0} \cdot dU_0 = 117.340828 - 117.340828 \cdot 0.004523 = 116.81 \\
 \Theta_t &= \Theta_0 + d\Theta_0 = -5.590091 + 0.473902 = -5.116 \\
 U_{10} &= 116.344761 - i \cdot 10.416629 \\
 U_5 &= 117.062067 - i \cdot 9.930384 = 117.062 - 9.93i \\
 U_9 &= 115.169804 - i \cdot 11.346132 = 115.17 - 11.346i \\
 Y_{10_5} &= 0.097091 - i \cdot 0.232446 \\
 Y_{10_9} &= 0.024273 - i \cdot 0.058112
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
PQ_{10_5} &= \overline{U_{10}} \cdot U_5 \cdot Y_{10_5} = (117.062 - 9.93i) \cdot 116.345 - \sqrt{-1} \cdot 10.417 \cdot (0.097 - \sqrt{-1} \cdot 0.232) \\
&= 1347.266 - 3183.638i \\
PQ_{5_10} &= \overline{U_5} \cdot U_{10} \cdot Y_{10_5} = 117.062 - 9.93i \cdot (116.345 - \sqrt{-1} \cdot 10.417) \cdot (0.097 - \sqrt{-1} \cdot 0.232) \\
&= 1317.493 - 3196.074i \\
PQ_{10_9} &= \overline{U_{10}} \cdot U_9 \cdot Y_{10_9} = (115.17 - 11.346i) \cdot 116.345 - \sqrt{-1} \cdot 10.417 \cdot (0.024 - \sqrt{-1} \cdot 0.058) \\
&= 321.117 - 788.456i \\
PQ_{9_10} &= \overline{U_9} \cdot U_{10} \cdot Y_{10_9} = 115.17 - 11.346i \cdot (116.345 - \sqrt{-1} \cdot 10.417) \cdot (0.024 - \sqrt{-1} \cdot 0.058) \\
&= 335.108 - 782.612i
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Sigma p_{10} &= \text{Re}(PQ_{10_5}) + \text{Re}(PQ_{10_9}) = 1668.383 \\
\Sigma q_{10} &= \text{Im}(PQ_{10_5}) + \text{Im}(PQ_{10_9}) = -3972.095
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{10} &= 12.4 & Q_{10} &= 8.4 \\
G_{10} &= -0.121364 & B_{10} &= 0.290496
\end{aligned}$$

$$F1_{10} = P_{10} - G_{10} \cdot U_{t^2} - \Sigma p_{10} = 12.4 - -0.121 \cdot 116.81^2 - 1668.383 = -0.02$$

$$F2_{10} = Q_{10} + B_{10} \cdot U_{t^2} + \Sigma q_{10} = 8.4 + 0.29 \cdot 116.81^2 + -3972.095 = 0.007$$

$$D11 = -2 \cdot G_{10} \cdot U_{t^2} - \Sigma p_{10} = -2 \cdot -0.121 \cdot 116.81^2 - 1668.383 = 1643.543$$

$$D12 = \Sigma q_{10} = -3972.095$$

$$D21 = 2 \cdot B_{10} \cdot U_{t^2} + \Sigma q_{10} = 2 \cdot 0.29 \cdot 116.81^2 + -3972.095 = 3955.308$$

$$D22 = \Sigma p_{10} = 1668.383$$

$$V11 = -\text{Re}(PQ_{10_9}) = -321.117 \quad H11 = -\text{Re}(PQ_{9_10}) = -335.108$$

$$V12 = -\text{Im}(PQ_{10_9}) = 788.456 \quad H12 = -\text{Im}(PQ_{9_10}) = 782.612$$

$$V21 = \text{Im}(PQ_{10_9}) = -788.456 \quad H21 = \text{Im}(PQ_{9_10}) = -782.612$$

$$V22 = -\text{Re}(PQ_{10_9}) = -321.117 \quad H22 = -\text{Re}(PQ_{9_10}) = -335.108$$

Файл AP_AREZ.RES – маскування "9999.9999" відсутнє

@@@@ ITER: 2 95.10245

Name	D11	D12	D21	D22
10	1643.5495	-3972.0953	3955.3124	1668.3741

NameN	NameK	V11	V12	V21	V22	H11	H12	H21	H22
9	10	-321.1124	788.4510	-788.4510	-321.1124	-335.1035	782.6070	-782.6070	-335.1035

Name	UM	Tet	Usa	Usr	F1	F2	dU	dTeta
10	116.810144	-5.116189	116.344761	-10.416629	-0.012318	0.008550	0.000159	0.000767

Name	Usa	Usr
5	117.062067	-9.930384
9	115.169804	-11.346132

Нев'язки майже співпадають с ручним розрахунком.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Компенсация реактивных мощностей на ПС 110/35/10 кВ, интерактивная оптимизация режима реактивной мощности

Розрахунок оптимального розподілу реактивної потужності рахується для розрахункової схеми Rschema1. Режим данної схеми знаходиться в допустимій області. Вихідні втрати складають $\Delta P = 9.895034$ МВт. Оптимізацію реактивних потужностей проводимо у вузлах 105 та 9.

Для розрахунку розглянемо математичні основи оптимізації метода 2-го порядку. При оптимізації цільової функції методом спуску по антиградієнту одним з принципових питань є формалізація вибору кроку спуску і динаміки його зміни в оптимізаційному процесі. Це завдання досить складне. У сучасних промислових програмних комплексах оптимізації режимів, як правило, задачу вибору кроку розв'язує користувач. Це рішення є вимушеними, збільшує витрати часу на оптимізацію і вимагає участі кваліфікованого персоналу. Нижче розглядається метод, що автоматизує вибір кроку спуску.

При оптимізації з використанням методу спуску по антиградієнту, де оптимальним критерієм є **квадратична форма**, можна запропонувати наступну модернізацію процесу:

1. Маємо стандартний математичний вираз процесу

$$[X]^{(k+1)} = [X]^{(k)} + \lambda [\partial F / \partial X]^{(k)},$$

де $[X]^{(k)}$, $[X]^{(k+1)}$ - вектор невідомих до і після k-го кроку оптимізації;

F - квадратична форма критерію оптимальності;

$[\partial F / \partial X]^{(k)}$ - вектор-градієнт в даній точці простору. Кожен елемент градієнта є частинною похідною критерію оптимальності за конкретним регулятором;

λ - оптимальний або вибраний евристично крок спуску.

2. Даний вираз можна розглядати у формі з поправками координат

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

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Оскільки для квадратичної форми функція $f[\partial F/\partial x]$ по кожній координаті незалежно є лінійною, можна визначити принципові оптимальні значення поправок $X_i^{\text{опт}}$, які забезпечують рух в точку глобального оптимуму за окремими координатами

$$X_i^{\text{опт}} = X_i + \Delta X_i^{\text{опт}}$$

4. Маючи вектор $[X^{\text{опт}}]$, можна запропонувати оптимізаційний процес

$$[X]^{(k+1)} = [X]^{(k)} + [\omega][X^{\text{опт}}]^{(k)},$$

де $[\omega]$ - діагональна матриця формально обчислюваних коефіцієнтів для кроків спуску з різних координатами квадратичної форми.

При переході до завдань оптимізації розподілу реактивних потужностей, де головним критерієм є мінімум сумарних втрат активної потужності, необхідно розраховувати частинні похідні $\partial \Delta P / \partial Q_i$. Оскільки явної функції розрахунку втрат для складної електричної мережі не маємо (загальне математичне вираження порівняно громіздке), доцільно користуватися методом чисельного диференціювання. Для цього необхідно мати швидкодіючу програму розрахунку усталеного режиму, яка забезпечує розрахунок втрат з високою точністю (небаланс у вузлі $10^{-5} \div 10^{-7}$). У даній роботі такою програмою обрана навчальна процедура розрахунку режиму методом Ньютона. Висока розрахункова точність дозволяє використовувати найпростіші варіанти чисельного диференціювання на підставі двох близько розташованих точок функції критерію:

$$\partial \Delta P / \partial Q_i \approx (\Delta P - \Delta P_i) / dQ_i,$$

де dQ_i - приріст реактивної потужності до поточного значення Q_i ;

$\Delta P, \Delta P_i$ - поточне і нове (з урахуванням приросту dQ_i) значення втрат.

Величина dQ_i може бути обрана автоматично, наприклад, в залежності від номінального рівня напруги в точці регулювання $dQ_i = U_{\text{ні}} * K_d$.

Якщо коефіцієнт $K_d = 0,001$, маємо

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$750 \text{ кВ: } \Delta Q = 0,75 \text{ МВар}$$

$$330 \text{ кВ: } \Delta Q = 0,33 \text{ МВар}$$

$$220 \text{ кВ: } \Delta Q = 0,22 \text{ МВар}$$

$$10 \text{ кВ: } \Delta Q = 0,01 \text{ МВар}$$

Для розрахунку $\Delta Q_i^{\text{опт}}$ по кожній координаті, необхідно формалізувати обчислення коефіцієнтів лінійного рівняння $y = ax + b$ за двома заданими точками $[x_1, y_1], [x_2, y_2]$. Маємо наступне розв'язання:

$$\begin{cases} y_1 = ax_1 + b \\ y_2 = ax_2 + b \end{cases} \quad \begin{cases} a = (y_1 - y_2)/(x_1 - x_2) \\ b = (x_1 y_2 - x_2 y_1)/(x_1 - x_2) \end{cases}$$

Вважаємо функцію похідної втрат по реактивній потужності лінійною. Її коефіцієнти будемо отримувати методом чисельного диференціювання. Графічний сенс чисельного диференціювання та пошуку оптимуму для реактивної потужності за окремою координатою показаний на рис. 1.10.

Таким чином, маємо координати трьох точок залежності $\Delta P = f(Q)$

Q_t	$Q_t + dQ_t$	$Q_t + 2dQ_t$
DP_t	DP_1	DP_2

Наявність зазначених трьох точок функції $\Delta P = f(Q)$ дозволяє обчислити значення двох точок функції градієнта $\partial \Delta P / \partial Q = f'(Q)$

Q_t	$Q_t + dQ_t$
GR_1	GR_2

$$GR_1 = (DP_t - DP_1)/dQ_t$$

$$GR_2 = (DP_1 - DP_2)/dQ_t$$

Наявність двох точок для градієнта дає можливість визначити коефіцієнти (a, b) лінійної функції згідно:

$$\partial \Delta P / \partial Q = a * Q + b,$$

$$a = -(GR_1 - GR_2)/dQ_t,$$

$$b = GR_1 + (GR_1 - GR_2)/dQ_t.$$

Якщо перейти до $Q = Q_t + \Delta Q$ (відхилення від поточного значення), отримаємо остаточну формулу:

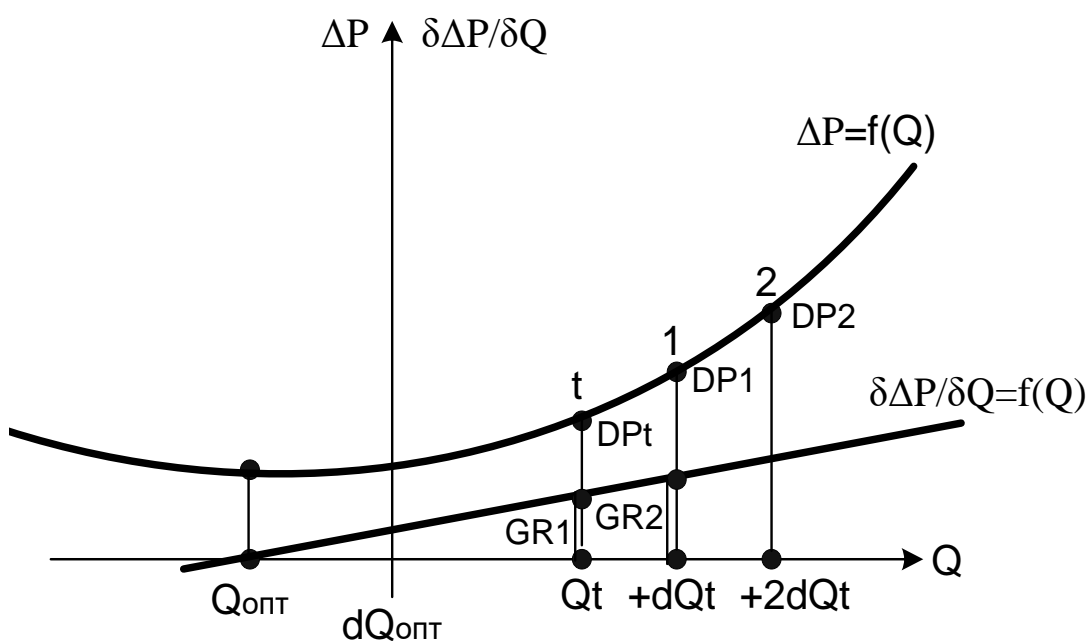
$$\partial \Delta P / \partial Q = -[(GR1 - GR2) / dQ_t] * \Delta Q + GR1$$

Оскільки в точці мінімальних втрат (Q^{opt}) похідна $\partial \Delta P / \partial Q$ має дорівнювати нулю, маємо оптимальне відхилення рівне

$$\Delta Q^{opt} = GR1 * dQ_t / (GR1 - GR2)$$

Таким чином, необхідно реалізувати спуск згідно з формулою

$$[Q]^{(k+1)} = [Q]^{(k)} + [\omega][\Delta Q^{opt}]$$



де ΔP - квадратична функція залежності втрат від реактивної потужності;

$\partial \Delta P / \partial Q$ - лінійна функція похідних по реактивній потужності;

DP_t, Q_t - втрати і реактивна потужність в поточній точці;

$DP1, (Q_t + dQ_t)$ - втрати і реактивна потужність з відхиленням dQ_t ;

$DP2, (Q_t + 2dQ_t)$ - втрати і реактивна потужність з відхиленням $2dQ_t$.

Рисунок 1.10 – Графічний сенс чисельного диференціювання та пошуку оптимуму.

Коефіцієнт ω_i може бути індивідуальним для кожної координати і визначається згідно з принципом вагової пропорційності

$$\omega_i = |GR_i| / \sum |GR_i|, \text{ або}$$

$$\omega_i = |GR_i| / \sqrt{\sum GR_i^2}, \text{ або}$$

$$\omega_i = GR_i^2 / \sum GR_i^2.$$

Всі наведені формули забезпечують крок по конкретній координаті пропорційно значенню відповідної похідної - компоненті вектора-градієнта. Відзначимо, що в одновимірному просторі $\omega_i = 1$.

Загальний алгоритм оптимізації має вигляд:

- 1: **Знаходження** в розрахунковій схемі вузлів регулювання реактивної потужності;
- 2: **Розрахунок** вихідного режиму;
- 3: **Вибір** приростів dQt для розрахунку похідних;
- 4: **Запуск** програми N_REGIM_S. Отримання таблиці втрат:

$N_{уз}$	Q_i	dQt_i	DPt_i	$DP1_i$	$DP2_i$
----------	-------	---------	---------	---------	---------
- 5: **Розрахунок** похідних згідно :

$$GR1_i = (DPt - DP1_i) / dQt_i$$

$$GR2_i = (DP1_i - DP2_i) / dQt_i$$
- 6: **Розрахунок** оптимальних координатних приростів згідно ;

$$\Delta Q^{опт}_i = GR1_i * dQt_i / (GR1_i - GR2_i);$$
- 7: **Розрахунок** коефіцієнтів кроку спуску згідно :

$$SGR = \sum GR1_i^2; \quad \omega_i = |GR1_i| / \sqrt{SGR};$$
- 8: **Розрахунок** нових значень реактивних потужностей:

$$Q^{нов}_i = Q_i + \omega_i * \Delta Q^{опт}_i;$$
- 9: **Фіксація** вектора $Q^{нов}_i$ в розрахунковій схемі;
- 10: **Аналіз** збіжності процесу.

Для розв'язку поставленої задачі використовуємо лабораторний комплекс EKLABw.exe. Виконаємо налаштування ключового файлу EKLAB\AP_KEY.PAS.

KEYo = 1;

EPSo = 0,005;

KITo = 50;

KD = 0,01.

```

KEYf  KEYS  KEYy  KEYt  EPSr  KITr  KITt
0      0      0      1    0.0001 100    1
=====
LAB11                      KEYn  Npz   Nv1   Nv2   Niter
режим N                    1      10    10    9     2
=====
LAB12                      KEYo  EPSo  KITo  KD
оптимизация Q              1    0.005  50    0.01
=====
LAB13                      KEYz  kz1   kz2   kz3
т.к.з. Z                   1    105    0     0

```

В файлах Rxema1.vqs та Rschema1.vus визначимо потрібні вузли для оптимізації і граничні умови по $Q_{\text{ку}}$ та $U_{\text{м}}$

Nuz	Qmin	Qmax	Nuz	Umin	Umax
-103	-200	200	-103	9.5	11
-104	-200	200	-104	9.5	11
105	-200	200	-105	9.5	11
-106	-200	200	-106	9.5	11
10	-200	200	-10	105	121

Виконаємо розрахунок згідно алгоритму

Крок1:

Таблиця 1.1 – Вихідні дані оптимізації

Nnn	Name	Qs	dQt	DPT	dDPT	dDP1	dDP2	MM
1	105	4.8000	0.10000	9.8950342	0.8950342	0.8988590	0.9027077	1
2	10	8.4000	1.10000	9.8950342	0.8950342	0.9042470	0.9138291	1

Розрахунок похідних:

					141.6101.001.ДБ				Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					29

Вузол 105:

$$GR1 = \frac{(0.8950342 - 0.8988590)}{0.1} = -0.038248$$

$$GR2 = \frac{(0.8988590 - 0.9027077)}{0.1} = -0.038487$$

Вузол 10:

$$GR1 = \frac{(0.8950342 - 0.9042470)}{1.1} = -0.008375$$

$$GR2 = \frac{(0.9042470 - 0.9138291)}{1.1} = -0.008711$$

Розрахунок оптимального кроку по координатам:

Вузол 105:

$$\Delta Q_{\text{опт}} = \frac{-0.038248 \cdot 0.1}{-0.038248 + 0.038487} = -16.003347$$

Вузол 10:

$$\Delta Q_{\text{опт}} = \frac{-0.008375 \cdot 1.1}{-0.008375 + 0.008711} = -27.418155$$

Розрахунок коефіцієнтів кроку по координатам:

$$SGR = (-0.038248)^2 + (-0.008375)^2 = 0.001533$$

Вузол 105:

$$\omega_1 = \frac{|0.038248|}{0.039154} = 0.976861$$

Вузол 10:

$$\omega_2 = \frac{|0.008375|}{0.039154} = 0.213899$$

Розрахунок нових значень реактивних потужностей

Вузол 105:

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{НОВ}} = 4.8 + 0.976861 \cdot (-16.003347) = -10.833046$$

Вузол 10:

$$Q_{\text{НОВ}} = 8.4 + 0.213899 \cdot (-27.418155) = 2.535284$$

Контроль збіжності

$$\sum |GR1| = 0.038248 + 0.008375 = 0.046623 > 0.005$$

Наступні кроки виконаємо у вигляді таблиць.

Крок 2:

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для другого кроку

Nnn	Name	Qs	dQt	DPT	dDPT	dDP1	dDP2	MM
1	105	-10.8330	0.10000	9.4848154	0.4815378	0.5933966	0.7072563	100
2	10	2.5353	1.10000	9.4848154	0.8481538	0.9190151	0.9935743	10

Таблиця 1.3 – Результати другого кроку оптимізації

	Вузол	GR1	GR2	$\Delta Q_{\text{ОПТ}}$	SGR	ω	$Q_{\text{НОВ}}$	$\sum GR1 $
Крок 2	105	-1.11858	-1.13859	-5.59042	0.012908	0.866585	-15.6775	0.017628
	10	-0.06441	-0.06778	-21.0770		0.499063	-7.98345	

Крок 3:

Таблиця 1.4 – Вихідні дані для третього кроку

Nnn	Name	Qs	dQt	DPT	dDPT	dDP1	dDP2	MM
1	105	-15.6776	0.10000	9.3960841	0.6084146	0.6572772	0.7092958	100
2	10	-7.9835	1.10000	9.3960841	0.3960841	0.3997820	0.4038262	1

Таблиця 1.5 – Результати третього кроку оптимізації

	Вузол	GR1	GR2	$\Delta Q_{\text{ОПТ}}$	SGR	ω	$Q_{\text{НОВ}}$	$\sum GR1 $
Крок 3	105	-0.48862	-0.52018	-1.54824	0.005931	0.823851	-16.9531	0.008248
	10	-0.00336	-0.00367	-11.7403		0.566852	-14.6385	

Крок 4:

Таблиця 1.6 – Вихідні дані для четвертого кроку

Nnn	Name	Qs	dQt	DPT	dDPT	dDP1	dDP2	MM
1	105	-16.9531	0.10000	9.3754658	0.5465828	0.5804219	0.6171632	100
2	10	-14.6385	1.10000	9.3754658	0.5465828	0.7128482	0.9124130	100

Таблиця 1.7 – Результати четвертого кроку оптимізації

Крок 4	Вузол	GR1	GR2	$\Delta Q_{\text{опт}}$	SGR	ω	Q _{нов}	$\sum GR1 $
	105	-0.3383	-0.36741	-1.16547	0.003706	0.913073	-18.0172	0.004895
	10	-0.1511	-0.18142	-5.49218		0.407852	-16.8785	

Точність досягнута.

Загальний процес спуску показано на рис. 1.11.

Nnn	Name	Qs	dQt	DPT	dDPT	dDP1	dDP2	MM
1	105	4.8000	0.10000	9.8950342	0.8950342	0.8988590	0.9027077	1
2	10	8.4000	1.10000	9.8950342	0.8950342	0.9042470	0.9138291	1
### iter= 0 0.04662 0.04662 ###								
1	105-10	8.3330	0.10000	9.4848154	0.4815378	0.5933966	0.7072563	100
2	10	2.5353	1.10000	9.4848154	0.8481538	0.9190151	0.9935743	10
### iter= 1 0.01763 0.02900 ###								
1	105-15	6.776	0.10000	9.3960841	0.6084146	0.6572772	0.7092958	100
2	10	-7.9835	1.10000	9.3960841	0.3960841	0.3997820	0.4038262	1
### iter= 2 0.00825 0.00938 ###								
1	105-16	9.531	0.10000	9.3754658	0.5465828	0.5804219	0.6171632	100
2	10-14	6.385	1.10000	9.3754658	0.5465828	0.7128482	0.9124130	100
### iter= 3 0.00490 0.00335 ###								

Рисунок 1.11 – Процес оптимізації реактивної потужності

Оптимальний режим представлений на рис. 1.12.

Таким чином, втрати знизилися до $\Delta P = 9.370028$ МВт. При цьому рекомендується установка у вузлі 105 $Q_{\text{ку}} = -18.0173$ МВАр, а у вузлі 10 $Q_{\text{ку}} = -16.8785$ МВАр. Для вузла 10 доцільно розділити потужність з сусіднім вузлом 9.

Nnn	Name	Qs	Qmin	Qmax								
=====												
1	105	-18.0173	-200.0000	200.0000								
2	10	-16.8785	-200.0000	200.0000								
	1	3827.60278										
	2	4.91422										
	3	0.04882										
.....												
END=	7	0.00009										
=====												
Nnn	Name	UM	Tet	Usa	Usr	Pss	Qss	Pgs	Qgs	Pbs	Qbs	prb
=====												
1	300	345.000	0.000	345.000	0.000	-255.430	-48.645	0.121	-9.293	-255.832	-27.085	1
2	301	350.000	-2.000	349.787	-12.215	-214.065	-118.072	0.074	-5.739	-213.138	-85.700	1
3	302	341.988	-1.777	341.824	-10.607	48.000	24.000	0.667	-35.451	0.000	0.000	0
4	303	341.909	-3.854	341.136	-22.979	54.000	36.000	0.785	-44.562	0.000	0.000	0
5	304	346.938	-2.825	346.516	-17.100	60.000	36.000	0.516	-23.328	0.000	0.000	0
6	3	120.758	-5.007	120.297	-10.540	18.000	9.600	0.002	-0.272	0.000	0.000	0
7	4	116.818	-7.311	115.869	-14.867	96.000	12.400	0.002	-0.254	0.000	0.000	0
8	5	119.320	-4.846	118.893	-10.079	12.400	9.600	0.001	-0.177	0.000	0.000	0
9	6	117.935	-6.510	117.175	-13.371	24.000	12.400	0.009	-1.123	0.000	0.000	0
10	7	114.266	-7.889	113.184	-15.683	30.000	18.000	0.009	-1.135	0.000	0.000	0
11	8	115.462	-7.660	114.431	-15.390	10.000	6.000	0.005	-0.580	0.000	0.000	0
12	9	118.390	-5.748	117.795	-11.857	10.000	6.000	0.010	-1.219	0.000	0.000	0
13	10	119.439	-5.259	118.937	-10.947	12.400	-16.878	0.007	-0.886	0.000	0.000	0
14	11	38.660	-5.846	38.459	-3.938	0.000	0.000	0.000	-0.012	0.000	0.000	0
15	12	37.758	-6.824	37.490	-4.486	12.400	4.800	0.000	-0.012	0.000	0.000	0
16	13	38.772	-7.168	38.469	-4.838	18.000	12.000	0.000	-0.018	0.000	0.000	0
17	14	36.294	-8.772	35.870	-5.535	18.000	12.000	0.000	-0.016	0.000	0.000	0
18	15	10.675	-7.325	10.588	-1.361	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
19	101	118.025	-7.088	117.123	-14.564	0.000	0.000	0.082	1.313	0.000	0.000	0
20	102	112.535	-8.337	111.346	-16.316	0.000	0.000	0.074	1.194	0.000	0.000	0
21	103	35.291	-14.496	34.167	-8.834	12.400	7.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0
22	104	40.120	-10.990	39.384	-7.649	9.600	7.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0
23	105	11.627	-10.101	11.446	-2.039	6.000	-18.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0
24	106	10.272	-12.782	10.018	-2.273	6.000	4.800	0.000	-0.022	0.000	0.000	0
25	107	9.995	-12.330	9.765	-2.135	0.000	0.000	0.011	0.107	0.000	0.000	0
26	108	0.388	-14.460	0.375	-0.097	2.400	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0
27	1001	333.435	-5.024	332.154	-29.199	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
28	1002	335.508	-7.325	332.770	-42.774	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
29	1003	342.479	-4.844	341.256	-28.921	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
30	1004	121.626	-9.997	119.780	-21.113	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
31	1005	107.512	-12.829	104.828	-23.871	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
32	1008	118.438	-5.758	117.841	-11.882	0.000	0.000	0.004	-0.523	0.000	0.000	0
						SUMMA :	459.600	184.304	2.380	-122.008	-468.970	-112.785
						BALANS:	6.990 50.489					
DP=	9.370028											
						PAST SUMMA :	459.600	232.400	2.358	-121.276	-469.495	-166.717
						PAST BALANS:	7.537 55.593					
DP=	9.895033											

Рисунок 1.12 – Оптимальний режим реактивної потужності

Розглянемо новий режим за допомогою програми РАОТВ. Отримали режим в недопустимій зоні. У вузлах 13, 11, 104, 105 завищена напруга. Завищену напругу для вузлів 104, 105, знизивши напругу балансуєчих вузлів 300, 301 (вузол 300 з 343 кВ до 342 кВ, а вузол 301 з 350 кВ до 347 кВ). Режим отримав допустимі значення.

Кінцевий режим показаний на рис. 1.13.

					141.6101.001.ДБ		Арк.
							33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Схема: Rschema1 - Общие характеристики режима

Схема : Rschema1 (Дата расчета: 07.06.2020 18:11:32)
Узлов=32 Ветвей=36 Контуров=2 БП=2 ФМ=0

Точность расчета : 1E-10
Невязка по напряжению : 0,000000, узел: 1005
Количество итераций : 18, время расчета: 0.371 сек, итер. процесс: 0.003 сек

Потребление : 459.6000000 МВт 232.4000000 МВАр
Генерация : -468.8384190 МВт -163.3577526 МВАр
Балансная мощность : 0.0000000 МВт 0.0000000 МВАр
Потери в схеме : 9.2384190 МВт -69.0422474 МВАр
Нагрузочные потери : 6.9037558 МВт 50.6487737 МВАр
от актив.перетоков: 5.8735870 МВт
от реакт.перетоков: 1.0301688 МВт
Потери холост.хода : 2.3346633 МВт -119.6910211 МВАр
шунтирующие реакт.: 0.0000000 МВт 0.0000000 МВАр
конденсатор. уст. : 0.0000000 МВт 0.0000000 МВАр
Небаланс в схеме : -0.0000000 МВт -0.0000000 МВАр

Рисунок 1.13 – Загальні характеристики системи

Порівнюючи з попереднім режимом рис. 1.12. Втрати зменшились з
 $\Delta P = 9.370028 \text{ кВт}$ до $\Delta P = 9.2384190 \text{ кВт}$

1.5 Системний розрахунок С.К.З. Визначення струморосподілу в мережі при к.з. на шинах ПС 110/35/10 кВ

Режими з трифазними коротким замиканням є симетричними і можуть бути визначені для довільних точок розрахункової схеми на основі звичайної режимної математики. Зазвичай рахують в строщеному варіанті шляхом перетворення схеми до $X_{\text{ЭКВ}}$. І при необхідності результуючу схему струморосподілу еквівалентно розвертали до вихідної схеми.

Ми використовуємо інший підхід розраховуємо залежність напруг та струмів через матрицю провідностей Y . Маємо вихідну систему рівнянь:

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

Розділемо матрицю на блоки, що діляться на балансуючі вузли (b), вузли струму КЗ (k), і навантажувальні вузли (n):

$$\begin{bmatrix} Y_{bb} & Y_{bk} & Y_{bn} \\ Y_{kb} & Y_{kk} & Y_{kn} \\ Y_{nb} & Y_{nk} & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_b \\ U_{k3} \\ U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_b \\ I_{k3} \\ I_n \end{bmatrix}$$

Вузли (b) є системними і по суті є шинами нескінченної потужності. Вузли (k) мають сталі значення напруги $U_{k3} \approx 0$ і є також балансуєчими. Виразивши напругу маємо:

$$[\dot{U}_n] = [\dot{Z}_{nn}][\dot{Y}_{nb}][\dot{U}_b] - [\dot{Z}_{nn}][\dot{I}_n],$$

де $[\dot{Z}_{nn}]$ - матриця опорів впливу, зворотня матриці $[\dot{Y}_{nn}]$;

$[\dot{Y}_{nb}]$ - блокова структура $[\dot{Y}_{nb} \quad \dot{Y}_{nk}]$;

$[\dot{U}_b]$ - вектор балансуєчих вузлів $\begin{bmatrix} \dot{U}_b \\ \dot{U}_{k3} \end{bmatrix}$.

При розрахунках струмів КЗ поперечні провідності ліній і навантажувальні струми вузлів не враховуються.

Для розрахунку КЗ безпосередньо програмою Z_REGIM_T необхідно у вихідних даних навантаження та поперечні провідності прирівняти до нуля, зробити балансуєчим вузлом, місце КЗ ($U \approx 0$), розрахувати режим і обчислити струми в гілках за різницею напруг:

$$I_{k3} = (U_{\text{нач}} - U_{\text{кон}}) / \sqrt{3} \times Z_l,$$

де всі величини U є комплексними.

Розрахунок струмів КЗ виконується в середовищі пакетів лабораторних робіт LB_APEZ_Z. Програмування ключового файлу AP_AKEY.PAS, показано нижче:

KEYs = 1, KEYy = 1, KEYt = 1, KEYz = 1, kz1 = 104.

KEYf	KEYs	KEYy	KEYt	EPSr	KITr	KITt
0	1	1	1	0.0001	100	1
=====						
LAB11			KEYn	Npz	Nv1	Nv2
режим N			1	10	10	9
						Niter
						2
=====						
LAB12			KEYo	EPSo	KITo	KD
оптимизация Q			1	0.005	50	0.01
=====						
LAB13			KEYz	kz1	kz2	kz3
т.к.з. Z			1	104	0	0

Структура результатів з режимом напруги і струморозподіленням представлена на рис. 1.14.

Значення струмів короткого замикання в гілках розрахункової схеми має напрямок від вузла початку (NameN) до вузла кінця (NameK) і фіксується на початку гілки. Отримані значення напруг та струмів короткого замикання нанесені на контрольну схему.

Nnn	Name	UM	Tet	Usa	Usr	Nnn	NameN	NameK	TKZ
1	300	345.000	0.000	345.000	0.000	1	300	302	0.191
2	301	350.000	-2.000	349.787	-12.215	2	301	304	0.128
3	302	340.368	-0.258	340.364	-1.534	3	302	303	-0.079
4	303	343.178	-1.161	343.108	-6.955	4	303	304	-0.128
5	304	348.419	-1.809	348.246	-11.001	5	302	1001	0.217
6	3	115.410	-0.563	115.404	-1.135	6	1001	3	0.217
7	4	117.291	-1.175	117.267	-2.405	7	1001	11	0.000
8	5	121.419	-1.809	121.358	-3.834	8	303	1002	0.065
9	6	109.500	0.346	109.498	0.661	9	1002	4	0.065
10	7	113.086	-0.382	113.084	-0.754	10	1002	15	0.000
11	8	115.486	-0.842	115.474	-1.698	11	304	1003	0.000
12	9	121.419	-1.809	121.358	-3.834	12	1003	5	0.000
13	10	121.419	-1.809	121.358	-3.834	13	1003	13	0.000
14	11	37.155	-0.618	37.153	-0.401	14	3	6	0.599
15	12	37.155	-0.618	37.153	-0.401	15	4	8	0.187
16	13	40.649	-1.809	40.629	-1.283	16	5	10	0.000
17	14	40.649	-1.809	40.629	-1.283	17	6	7	-0.187
18	15	10.709	-1.191	10.707	-0.223	18	7	8	-0.187
19	101	99.314	2.307	99.233	3.998	19	1008	9	0.000
20	102	113.086	-0.382	113.084	-0.754	20	9	10	0.000
21	103	38.436	-0.382	38.435	-0.256	21	11	12	0.000
22	104	0.000	0.000	0.000	0.000	22	13	14	0.000
23	105	3.576	1.534	3.575	0.096	23	101	6	-0.785
24	106	10.982	-0.382	10.981	-0.073	24	102	7	0.000
25	107	10.982	-0.382	10.981	-0.073	25	101	1004	0.785
26	108	0.439	-0.382	0.439	-0.003	26	1004	104	0.785
27	1001	318.473	-0.618	318.454	-3.436	27	1004	105	0.000
28	1002	336.579	-1.191	336.506	-6.993	28	102	1005	-0.000
29	1003	348.419	-1.809	348.246	-11.001	29	1005	103	-0.000
30	1004	37.388	1.534	37.374	1.001	30	1005	106	-0.000
31	1005	114.808	-0.382	114.806	-0.766	31	106	107	0.000
32	1008	121.419	-1.809	121.358	-3.834	32	107	108	0.000

Рисунок 1.14 – Режим напруг та струмів у вузлі 104

Структурна схема зі струморозподілом показана на рис. 1.15.

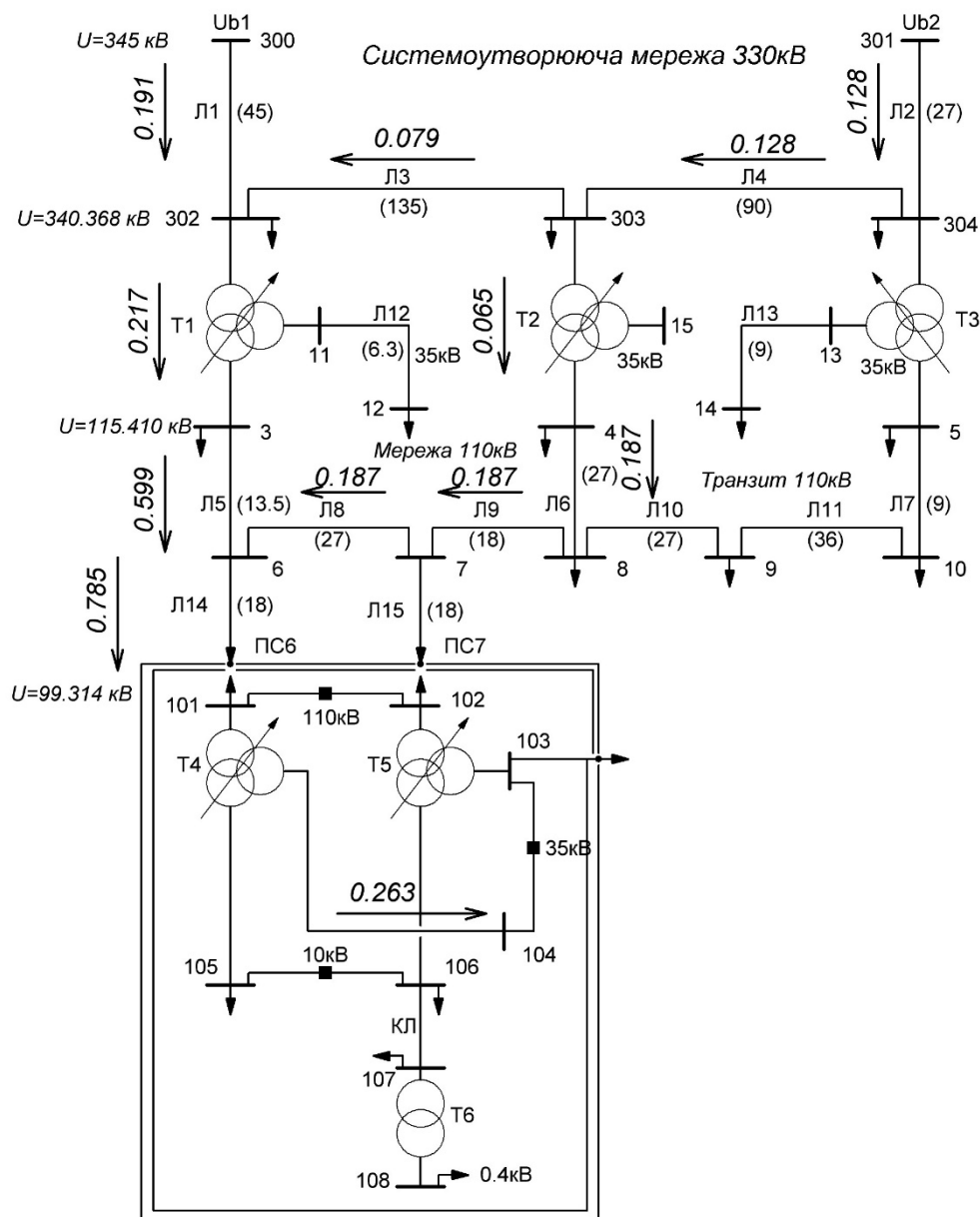


Рисунок 1.15 – Струморозподіл підстанції 330/110/35/10 кВ

Висновки

В розділі представлені матеріали проекту, які відносяться до основ розрахункових диспетчерських та технологічних задач операторів системи постачання (ОСП) та розподілу електроенергії. Конкретно виявлено наступне:

1. Вибраний об'єкт дослідження – ПС 110/35/10 кВ та її живляча мережа (330-110 кВ). Розроблена модель об'єкта – розрахункова схема Rschema1 об'ємом 32 вузол, 36 віток, 2 контури;

2. Реалізований розрахунок вихідного режиму та ввід його в допустиму зону. Вихідні втрати $DP = 9.895034$ МВт. Використовували метод Ньютона. Конкретно визначено елементи матриці Якобі на 5 ітерацій, для 10 вузла, для 10-9 вітки.
3. В інтерактивному режимі проведено оптимізацію розподілу реактивної потужності для двох вузлів розрахункової схеми (110 і 10 кВ). Задіяний метод спуску другого порядку, де конкретно виділена додаткова матриця Гессе. В оптимальному режимі прогнозується зниження втрат на 0.657 МВт. Процес ітерацій зійшовся за 7 ітерації.
4. Виконаний розрахунок трифазного КЗ на шинах 10кВ індивідуальний ПС системним методом з урахуванням опорів мережі 35/110/330 кВ ($Z_{сис}$). Визначено вектор напруги та струморозподіл струму КЗ. Проведен контрольний аналіз. Конкретно $I_{кз}=2.34$ кА.

При реалізації розділу задіяний програмний комплекс РАОТВ, Z_REGIM, L_APEZ.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОБЧИСЛЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖИМУ ОСП ЗГІДНО ДОБОВОГО ГРАФІКУ НАВАНТАЖЕННЯ

2.1 Методичні матеріали до розрахунку усталених режимів електричних мереж

Для розрахунку режиму повинна бути виявлена конфігурація електричної мережі, задані параметри обладнання її елементів і зафіксовані відомі режимні характеристики. Завданням розрахунку є визначення невідомих режимних характеристик (напруга вузлів, врати потужності, поточкорозподіл та ін.).

Конфігурація електричної мережі визначається складом ліній, реакторів та трансформаторів, а також умовами їх комунікації. Склад, як правило, є стабільним, а стан комунікаційних апаратів динамічно і виявляє більшість конфігураційних ситуацій.

Параметри електричної мережі це компоненти прийнятій розрахункової моделі конструктивних елементів мережі. Сучасне програмне забезпечення розрахунку усталених режимів для ліній використовують П-подібну схему заміщення, для трансформаторів – Г-подібну схему заміщення з трьохпроміневою структурою трьохобмоткових трансформаторів і фіктивною середньою точкою. Лінійні та шунтуючі реактори визначаються опором чи поперечною вузловою провідністю.

Параметри ліній, трансформаторів та реакторів визначається паспортними даними обладнання або безпосередньо технологічними вимірами. Параметри \dot{Z}_l , \dot{Z}_T , \dot{Z}_p є, як правило, постійними і не використовуються в регулюванні режимів.

					141.6101.001.ДБ			
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	<div>Обчислення загальних характеристик режиму ОСП згідно добового графіку навантаження</div>			
Розроб		Дуда П.І.						
Перевір		Банін Д.Б.						
Н. Контр.		Настенко Д.В.						
Затв.		Толочко О.І.						
						Літ.	Арк.	Аркушів
							39	69
						НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ФЕА, гр. ЕК-зб1-1		

Параметри \dot{K}_T, \dot{Y}_p – можуть змінюватися в залежності положення регулюючих відгалуджень трансформаторів (РПН, ПБВ) чи варіанта схеми включення реакторів.

Комплексні коефіцієнти трансформації можливі тільки при наявності поперечного регулювання (ТПР). Регулюємі параметри динамічні та виявляють безліч режимних варіантів, являють одним із основних дій управління рівнями напруги та перетоків реактивних потужностей в електричній мережі.

До характеристик усталеного режиму вузлів та гілок електричної мережі можуть відноситись наступні величини:

- P_H, Q_H, P_G, Q_G – активне та реактивне навантаження (генерація) вузлів електричної мережі;
- U_{BP}, θ_{BP} – модулі та кути напруг балансуючих вузлів (БП);
- P_{BP}, Q_{BP} – баласна активна та реактивна потужність балансуючих вузлів електричної мережі;
- U_{FM}, θ_{FM} – модулі та кути напруг вузлів з фіксованою модулем (ФМ), які можуть бути балансуючими по реактивній потужності;
- Q_{FM} – баласна реактивна потужність для вузлів з ФМ напруг;
- U_i, θ_i – модулі та кути напруг звичайних вузлів;
- $P_B, Q_B, \Delta P_Z, \Delta Q_Z$ – переток активної та реактивної потужності в гілках розрахункової схеми та їх втратами в опорах ($\dot{Z}_l, \dot{Z}_T, \dot{Z}_p$). Переток може мати знак « \pm » в залежності від обраного розрахункового напрямку і виявляється як переток на початку та в кінці лінії;
- J_B, J'_B, J''_B – модуль струму в гілках та його дійсна та уявна частина;
- $\Delta P_Y, \Delta Q_Y$ – втрати активної та реактивної потужності (зарядна потужність) в поперечних провідностях ліній та трансформаторів.

Можна виділити інтегральні(сумарні) режимні характеристики:

- $P_{CH}, Q_{CH}, P_{CG}, Q_{CG}$ – сумарні потужності споживання і генерації в енергетичній мережі;
- P_{CB}, Q_{CB} – сумарна баласна потужність;
- $\Delta P_{CZ}, \Delta Q_{CZ}, \Delta P_{CY}, \Delta Q_{CY}$ – сумарні втрати в опорах та поперечних провідностях гілок;
- $\Delta P_C, \Delta Q_C$ – сумарні втрати режиму.

У розрахунках баласних режимів електроспоживання віднесені величини:

- WP_P, WQ_P, WP_G, WQ_G – споживання та генерація активної та реактивної електроенергії вузлів електричної мережі за розрахунковий період;

$WP_{П\text{ БП}}, WQ_{П\text{ БП}}$ – прийом та віддача активної та реактивної електроенергії балансуючих вузлів;

$WP_{O\text{ БП}}, WQ_{O\text{ БП}}$

$WP_{ПВ}, WQ_{ПВ}, WP_{ОВ}, WQ_{ОВ}, \Delta WP_{В}, \Delta WQ_{В}$ – прийом та віддача активної та реактивної електроенергії в гілках мережі;

$WP_{СП}, WQ_{СП}, WP_{СО}, WQ_{СО}, \Delta WP_{С}, \Delta WQ_{С}$ – сумарний балансний прийом, віддача та втрати в електричній мережі за розрахунковий період.

Розрахунок балансуючих режимів електроспоживання можуть використовуватись в якості режимних характеристик відносно (%) добових графіків споживання та генерації активної та реактивної потужності, які можуть бути задані типовими структурами, або безпосередньо технологічними вимірами.

Всі режимні характеристики є динамічними та відображають безліч реальних режимів електричної мережі.

Режимні характеристики можна розділити на дві групи:

- задані характеристики – величини, які визначає користувач в якості вихідних даних, та достовірність яких повинна контролюватися користувачем;
- невідомі характеристики – величини, які визначає програма розрахунку режима, базуючись на заданій конфігурації, заданих параметрах та заданих режимних характеристиках. Достовірність невідомих характеристик повинна забезпечити програма.

Висновки:

1. Розрахунок усталеного режиму – це формальний перехід від заданих режимних характеристик, конфігурації та параметрів мережі до невідомим характеристиках режима.
2. Формальність переходу забезпечується коректній математичній та алгоритмічній реалізації програми розрахунку.
3. Розділення складу характеристик на задані та невідомі не може бути довільним, а задається в фіксованих та допустимих варіантах, для кожного з яких можуть використовуватись різні методичні рішення.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Варіанти розрахунку режиму з проблемно-технологічною орієнтацією (найменування режимів)

Будемо відрізняти нормальні та переактивні режими, балансно-економічні режими із середнім, максимальним, середньоквадратичним навантаженням, а також почасовим навантаженням по добовому графіку.

Нормальні і перспективні режими - виконуються за даними замірів режимного дня, експлуатаційного або проектному рівню завантаження устаткування і балансуються за потужністю і напругою джерел електропостачання електричної мережі. Конфігурація і параметри обладнання мережі повинні відповідати нормальній експлуатаційної схемою. Використовується традиційний варіант поділу режимних характеристик на задані і невідомі:

$U_{\text{БП}}, \theta_{\text{БП}}, P_{\text{Н}}, Q_{\text{Н}}, P_{\text{Г}}, Q_{\text{Г}}, U_{\text{ФМ}}$ – задані характеристики;

$U_{\text{і}}, \theta_{\text{і}}, Q_{\text{ФМ}}, \theta_{\text{ФМ}}, P_{\text{В}}, Q_{\text{В}}, \Delta P_{\text{Z}}, \Delta Q_{\text{Z}}, \Delta P_{\text{Y}}, \Delta Q_{\text{Y}}, P_{\text{СН}}, Q_{\text{СН}}, P_{\text{СГ}}, Q_{\text{СГ}}, P_{\text{СБ}}, Q_{\text{СБ}}, \Delta P_{\text{CZ}}, \Delta Q_{\text{CZ}}, \Delta P_{\text{СУ}}, \Delta Q_{\text{СУ}}, \Delta P_{\text{С}}, \Delta Q_{\text{С}}$ – невідомі характеристики.

На основі результатів розрахунку режиму можливі оціночні варіантні розрахунки для періоду осінь - зима, пов'язані зі зміною поточної або запланованої комутації обладнання в електричній мережі.

Балансні економічні режими - виконуються за даними розрахункового і технічного обліку електроспоживання, які балансуються за загальними характеристиками або за індивідуальними графіками навантажень. Конфігурація і параметри обладнання мережі повинні відповідати характерною експлуатаційної схемою розрахункового періоду. Головним завданням даного варіанту розрахунку режиму є визначення достовірного діапазону технічних втрат електроенергії за розрахунковий період (місяць) і визначення перетоків електроенергії по конкретним перетинах розрахункової схеми. Використовується наступний варіант поділу режимних характеристик на задані і невідомі:

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$U_{\text{БП}}, \theta_{\text{БП}}, W_{\text{П}}, W_{\text{QП}}, W_{\text{Г}}, W_{\text{QГ}}$ – задані характеристики;

$\Delta W_{\text{PC}}, \Delta W_{\text{QC}}, W_{\text{ПВ}}, W_{\text{QПВ}}, W_{\text{ОВ}}, W_{\text{QОВ}}$ – невідомі характеристики.

В розрахунках задіяний апарат типових або реальних графіків навантаження $\Delta W_{\text{PC}}, \Delta W_{\text{QC}}$ реалізовані чотири методичні канали:

а) Середнє навантаження. Тут електрична мережа навантажується середніми потужностями, визначається за виразом

$$\dot{S}_{\text{CP}} = \frac{(W_{\text{П}} + jW_{\text{QП}}) - (W_{\text{Г}} + jW_{\text{QГ}})}{K_{\text{д}} \cdot 24},$$

де $K_{\text{д}}$ – кількість днів в розрахунковому періоді.

Надалі виконується традиційний розрахунок режиму. Втрати електроенергії визначаються за формулами:

$$\Delta W_{\text{PC}} = 24 \cdot K_{\text{д}} \cdot \Delta P_{\text{C}} ; \quad \Delta W_{\text{QC}} = 24 \cdot K_{\text{д}} \cdot \Delta Q_{\text{C}} .$$

Можно стверджувати, що розрахункові втрати даного методичного каналу є заниженими через неврахування квадратичної залежності втрат від перетоків потужності, а також з-за сальдирования генерації і споживання при розрахунку середнього навантаження. Останнє, в основному, відноситься до вузлів з реверсивними транзитними перетіканнями.

б) Максимальне навантаження. Тут електрична мережа завантажується максимальними добовими потужностями, які обчислюються на основі відносних добових графіків за виразом:

$$P_{\text{Н}}^{\text{max}} = \frac{W_{\text{П}} \cdot 100}{K_{\text{д}} \cdot \sum P_{\% \text{Н}}^i} ; \quad P_{\text{Г}}^{\text{max}} = \frac{W_{\text{Г}} \cdot 100}{K_{\text{д}} \cdot \sum P_{\% \text{Г}}^i} ;$$

$$Q_{\text{Н}}^{\text{max}} = \frac{W_{\text{QП}} \cdot 100}{K_{\text{д}} \cdot \sum Q_{\% \text{Н}}^i} ; \quad Q_{\text{Г}}^{\text{max}} = \frac{W_{\text{QГ}} \cdot 100}{K_{\text{д}} \cdot \sum Q_{\% \text{Г}}^i} ,$$

де $K_{\text{д}}$ – кількість днів в розрахунковому періоді;

$P_{\text{Н}}^{\text{max}}, Q_{\text{Н}}^{\text{max}}, P_{\text{Г}}^{\text{max}}, Q_{\text{Г}}^{\text{max}}$ – максимальні значення режимних характеристик $P_{\text{Н}}, Q_{\text{Н}}, P_{\text{Г}}, Q_{\text{Г}}$;

$P_{\%H}^i, Q_{\%H}^i, P_{\%Г}^i, Q_{\%Г}^i$ – ступені відносних добових графіків по навантаженням та генерації активної та реактивної потужності,
 $i = 1, 2, \dots, 24$.

Потім розраховується сталий режим традиційним методом, і втрати електроенергії обчислюються за формулами:

$$\Delta W P_C = 24 \cdot K_D \cdot \Delta P_C ; \quad \Delta W Q_C = 24 \cdot K_D \cdot \Delta Q_C .$$

Можна стверджувати, що отримане значення втрат є завищеними, оскільки весь часовий інтервал завантажений максимальною потужністю, не враховується тимчасової розкид максимумів в різних вузлах мережі і т.д. Відзначимо, що певну похибку в розрахунок в сторону зменшення розрахункових втрат вносить сальдірованіє в розрахунку режиму навантажень і генерації. Як уже зазначалося, ця ситуація стосується лише до вузлів з реверсивними транзитними перетіканнями.

в) Середньокваратичне навантаження. Тут електрична мережа завантажується середньоквадратичними потужностями, які обчислюються на основі відносних добових графіків за виразами:

$$P_H^{ср.кв} = \frac{W P_{\Pi}}{K_D \cdot \sum P_{\%H}^i} \cdot \sqrt{\frac{\sum P_{\%H}^2}{24}} ; \quad P_{Г}^{ср.кв} = \frac{W P_{Г}}{K_D \cdot \sum P_{\%Г}^i} \cdot \sqrt{\frac{\sum P_{\%Г}^2}{24}} ;$$

$$Q_H^{ср.кв} = \frac{W Q_{\Pi}}{K_D \cdot \sum Q_{\%H}^i} \cdot \sqrt{\frac{\sum Q_{\%H}^2}{24}} ; \quad Q_{Г}^{ср.кв} = \frac{W Q_{Г}}{K_D \cdot \sum Q_{\%Г}^i} \cdot \sqrt{\frac{\sum Q_{\%Г}^2}{24}} ,$$

де K_D – кількість днів в розрахунковому періоді;

$P_H^{ср.кв}, Q_H^{ср.кв}, P_{Г}^{ср.кв}$ – фіктивні еквівалентні режимні характеристики $P_H, Q_H, P_{Г}, Q_{Г}$;

$P_{\%H}^i, Q_{\%H}^i, P_{\%Г}^i, Q_{\%Г}^i$ – ступені відносних добових графіків по навантаженням та генерації активної та реактивної потужності,
 $i = 1, 2, \dots, 24$.

Наведені формули отримані з наближеного умови еквівалентності втрат в режимі, розрахованому за графіками навантажень і режимі, завантаженому

середньоквадратичними потужностями, наприклад добові втрати за графіками рівні:

$$\Delta WP_C^* = \frac{\sum P_i^2}{U^2} \cdot R_{\text{эл}} = \frac{\sum (P_{\text{max}} \cdot P_{\%} / 100)^2}{U^2} \cdot R_{\text{эл}} = \frac{P_{\text{max}}^2 \cdot \sum P_{\%}^2}{100^2 \cdot U^2} \cdot R_{\text{эл}},$$

де ΔWP_C^* – добові втрати від перетоків активної потужності;

P_i – переток активної потужності в елементі мережі;

$P_{\%}$ – ступені відносного добового графіка;

$U, R_{\text{эл}}$ – середня напруга в точці обліку та опору елемента.

При навантаженні мережі середньоквадратичними потужностями втрати визначаються за формулою:

$$\Delta WP_C^* = 24 \cdot \frac{P_{\text{ср.кв}}^2}{U^2} \cdot R_{\text{эл}}.$$

Підставивши значення P_{max} , розраховане в варіанті б), маємо кінцевий вираз:

$$P_{\text{ср.кв}} = \frac{WP_{\Pi}^*}{\sum_1^{24} P_{\%}} \cdot \sqrt{\frac{\sum P_{\%}^2}{24}}.$$

Аналогично определяется выражение для расчета Q.

Після розрахунку усталеного режиму з еквівалентної середньоквадратичної завантаженням, втрати електроенергії обчислюються за формулами:

$$\Delta WP_C = 24 \cdot K_{\text{д}} \cdot \Delta P_C; \quad \Delta WQ_C = 24 \cdot K_{\text{д}} \cdot \Delta Q_C.$$

Можна стверджувати, що отримане значення втрат має бути всередині діапазону втрат режимів втрат з максимальною і середньою завантаженням:

$$\Delta WP_C^{\text{ср}} \leq \Delta WP_C^{\text{ср.кв.}} \leq \Delta WP_C^{\text{max}}.$$

Основна похибка методу пов'язана з неврахуванням графіків перетоків за елементами мережі в зв'язку з підсумовуванням різних типів графіків вузлових навантажень.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

г) **Почасове навантаження по графіку.** Тут електрична мережа послідовно навантажується поточними погодинними потужностями, які визначаються на основі відносних добових графіків за виразами:

$$P_H^i = \frac{WP_{\Pi}}{K_D \cdot \sum P_{\%H}} \cdot P_{\%H}^i ; \quad P_{\Gamma}^i = \frac{WP_{\Gamma}}{K_D \cdot \sum P_{\%\Gamma}} \cdot P_{\%\Gamma}^i ;$$

$$Q_H^i = \frac{WQ_{\Pi}}{K_D \cdot \sum Q_{\%H}} \cdot Q_{\%H}^i ; \quad Q_{\Gamma}^i = \frac{WQ_{\Gamma}}{K_D \cdot \sum Q_{\%\Gamma}} \cdot Q_{\%\Gamma}^i ,$$

де K_D – кількість днів в розрахунковому періоді;
 $P_H^i, Q_H^i, P_{\Gamma}^i, Q_{\Gamma}^i$ – поточні погодинні режимні характеристики $P_H, Q_H, P_{\Gamma}, Q_{\Gamma}$;
 $P_{\%H}^i, Q_{\%H}^i, P_{\%\Gamma}^i, Q_{\%\Gamma}^i$ – ступені відносних добових графіків по навантаженням та генерації активної та реактивної потужності,
 $i = 1, 2, \dots, 24$.

Втрати електроенергії визначаються підсумовуванням втрат потужності, за результатами розрахунку за погодинними зрізах:

$$\Delta WP_C = K_D \cdot \sum \Delta P_C^i ; \quad \Delta WQ_C = K_D \cdot \sum \Delta Q_C^i .$$

При завданні розширеного складу графіків (характерні робоча доба, вихідні дні і т.д.) навантаження моделюються з урахуванням додаткових графіків і втрати дорівнюватимуть:

$$\Delta WP_C = \sum_1^{K_D} \sum \Delta P_C^i ; \quad \Delta WQ_C = \sum_1^{K_D} \sum \Delta Q_C^i .$$

Можна стверджувати, що розрахунок технологічних втрат за графіками навантажень є найбільш точним. Його похибка, головним чином, визначається відхиленням реальних графіків від заданих.

д) **Балансний розрахунок втрат.** Тут не виконується режимних розрахунків. Вихідні дані доповнюються даними перетоків електроенергії для балансування вузлів схеми. Схема є «оконтуренной» урахуванням електроспоживання, і втрати електроенергії можуть бути визначені з балансного рівняння:

$$\Delta W P_C^{\Sigma} = W P_{\text{СП}} - W P_{\text{CO}} ,$$

де $\Delta W P_C^{\Sigma}$ – сумарна технологічна витрата електроенергії .

$$\Delta W P_C^{\Sigma} \% = \Delta W P_C^{\Sigma} / W P_{\text{СП}} * 100$$

При розрахунку відсотка % витрат від надходження слід коректно розраховувати надходження електроенергії в мережу без проміжного сальдирування прийому і віддачі (споживання і генерації) електроенергії в конкретних вузлах мережі. Наприклад, маємо споживача з двостороннім харчуванням (рис.2.1):

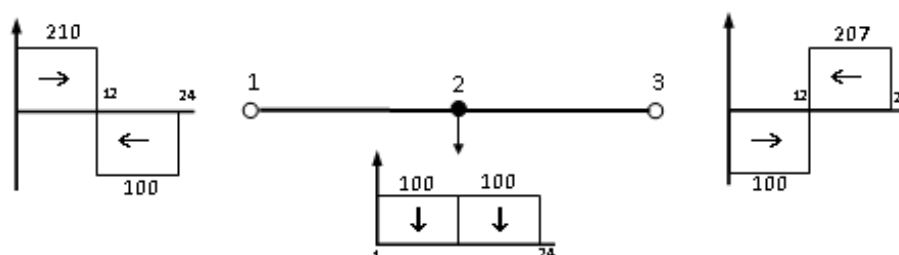


Рисунок 2.1 – Приклад схеми з реверсивними перетоками електроенергії

Першу половину доби вузли 2,3 харчуються від вузла 1. Другу половину доби вузли 1,2 харчуються від вузла 3. При попередньому сальдируванні даних перетоків електроенергії у вузлах 1 і 3 маємо:

$$W P_{\text{прием1}} = 210 - 100 = 110 \quad W P_{\text{прием3}} = 207 - 100 = 107 ;$$

$$W P_{\text{СП}} = 217 \quad W P_{\text{CO}} = 100 + 100 = 200 ;$$

$$\Delta W_C^{\Sigma} = 217 - 200 = 17 \quad \Delta W_C^{\Sigma} \% = \frac{17}{217} \cdot 100 = 7,83\%$$

Оскільки прийом і віддача в вузлах 1 і 3 відбувається в різні часові інтервали, необхідно розраховувати сумарні прийом і віддачу без попереднього сальдирування:

$$W P_{\text{СП}} = 210 + 207 = 417 \quad W P_{\text{CO}} = 100 + (100 + 100) + 100 = 400 ;$$

$$\Delta W_C^{\Sigma} = 417 - 400 = 17 \quad \Delta W_C^{\Sigma} \% = \frac{17}{417} \cdot 100 = 4,08\%$$

2.3 Реалізація розрахунків з урахуванням добових графіків навантаження (баланси електроспоживачів)

Будемо відрізняти типові графіки навантажень, реальні графіки навантажень вводяться з вимірювальних систем рахунку або заданих вручну, а також якісно-орієнтовані графіки навантажень.

Типові графіки навантажень. Вибір графіків навантажень по активним і реактивним потужностям конкретних вузлів схеми може базуватися на літературних даних або річних звітних матеріалах сумарного електроспоживання Мінпаливенерго по галузях, наприклад, машинобудування, металургія, електротяга, хімічна промисловість, побут і т.д. Природно, слід звертати увагу на «старіння» літературних джерел і на інтегральність даних Мінпаливенерго. Орієнтація на типові графіки для вузлів з транзитними перетіканнями і перетіканнями балансують вузлів неприйнятна.

Реальні графіки навантажень. Розробка відносних графіків навантажень (генерації) може бути автоматизована для точок обліку, де встановлені системи обліку типу «Альфа» з чотириквadrантній структурою знімання показань:

- прийом активної електроенергії;
- прийом реактивної електроенергії;
- віддача активної електроенергії;
- віддача реактивної електроенергії.

Природно, запрограмованість вбудованого математичного забезпечення таких систем повинна забезпечувати знімання показань по годинах (півгодини) добового електроспоживання.

Якісно-орієнтовані графіки навантажень. Розробка відносних графіків навантажень такого типу необхідна в ситуації різноманіття типовий завантаження шин живильних підстанцій (рис. 2.2):

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

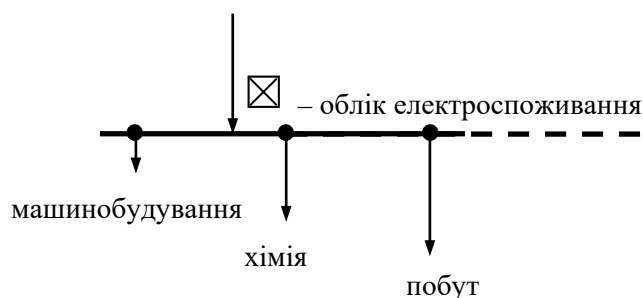


Рисунок 2.2 – Шина підстанції з різними типами навантажень по фідерам.

Отримання даних може бути реалізовано на основі типізації варіантів комплексної завантаження, разового експериментального зняття замірів, використання досвіду і знань диспетчерського персоналу по обслуговується підстанцій та ін.

Загальні параметри графіків навантажень. Графік складається з 24 головних ступенів. Максимальне навантаження завжди визначена числом 100%. Всі інші щаблі задані в процентному відношенні до максимальному навантаженні.

Реальна режимна завантаження в МВт визначається по заданому електроспоживанню:

$$P_i = \frac{WP^*}{\sum P_{\%}} \cdot P_{\%}^i \quad \text{– по часове навантаження [МВт];}$$

$$P_{\max} = \frac{WP^* \cdot 100}{\sum P_{\%}} \quad \text{– максимальне навантаження [МВт];}$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{WP^*}{24} \quad \text{– середнє навантаження [МВт];}$$

$$P_{\text{ср.кв}} = \frac{WP^*}{\sum P_{\%}} \cdot \sqrt{\frac{\sum P_{\%}^2}{24}} \quad \text{– середньоквадратичне навантаження [МВт],}$$

де WP^* – добове енергоспоживання.

Кожен вузол електричної мережі може мати кілька автоматично враховуються графіків навантажень: по активної потужності (навантаження); по реактивної потужності (навантаження); по активної потужності (генерація); по реактивної потужності (генерація); варіанти графіків для вихідних днів.

Сукупність графіків навантажень оформляється в спеціалізованій базі даних, де кожен відносний графік має свій номер. Зв'язок режимних програм і її розрахункових каналів а), б), в), г) з базою графіків навантажень здійснюється шляхом завдання відповідного номера графіка навантажень в таблиці вихідних даних.

2.4 Інструкції РАОТВ щодо формування графіків навантаження

Каталог графіків навантажень викликається меню "Каталог" → "Графіки навантажень", а також клавішою «пробіл» у колонках «Nг (...)» відповідних таблиць («Трансформатори ТП, РП» (п.3.2.2), «Уведення підстанцій» (п.3.2.3), «Фідери підстанцій» (п.3.2.4), «Вузли схеми» (п.4.1.1), «Перетоки в лініях» (п.4.1.3)).

Дані графіків навантажень зберігаються індивідуально для кожної схеми в файлах *.GRC – список графіків, *.GRV – значення графіків. При необхідності є можливість перекачування графіків з каталогу однієї схеми в каталог іншої схеми.

Номери графіків навантажень супроводжують завдання навантажень в вузлах або перетоків в лініях. Навантаження у вузлах задаються потужностями ($P_{наг}$, $Q_{наг}$, $P_{ген}$, $Q_{ген}$) або вимірами електроенергії ($W_{Pнаг}$, $W_{Qнаг}$, $W_{Pген}$, $W_{Qген}$). Їм відповідають чотири номери графіків навантажень – відповідно $N_{г}(P_{н})$, $N_{г}(Q_{н})$, $N_{г}(P_{г})$, $N_{г}(Q_{г})$. Перетоки в лініях задаються потужностями (P , Q або P , t_g), струмами (I , t_g) і вимірами електроенергії (W_P , W_Q або W_P , t_g). У загальному випадку задається перетік від початку лінії до кінця: $P \rightarrow$, $Q \rightarrow$ і перетікання від кінця лінії до початку: $P \leftarrow$, $Q \leftarrow$ (умовно перетікання «вправо» і перетікання «вліво»). Їм відповідають чотири номери графіків навантажень – відповідно $N_{г}(P \rightarrow)$, $N_{г}(Q \rightarrow)$, $N_{г}(\leftarrow)$, $N_{г}(\leftarrow)$. Всі чотири складові перетікання можуть використовуватися тільки при завданні вимірів електроенергії (в різні часові проміжки перетік може змінювати напрямок),

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при завданні перетікання потужністю або струмом іпользуються тільки дві складові ($P \rightarrow, Q \rightarrow$ або $P \leftarrow, Q \leftarrow$).

Передбачено три типу графіків навантажень:

- **Типові (24 години)** – погодинні графіки за 24 години (добу). Ці графіки, як правило, характеризують типові навантаження (промисловість, побут, електротранспорт і ін.) І сезонні виміри навантажень (зима, літо) по конкретним вузлам або лініях. Дані за цими графіками вводяться вручну;
- **По зрізах** – графіки з заданим тимчасовим інтервалом зрізів вимірювань, як правило, використовуються в системах ОВК, АСКОЕ. Ці графіки перекачують з відповідних баз даних ОВК, АСКОЕ за певний часовий період (наприклад, місяць) за допомогою спеціальних програмних блоків;
- **По добам** – графіки замірів електроенергії по добі за певний часовий період (наприклад, місяць). Цей тип графіка можна використовувати автономно, або із застосуванням типового графіка, в цьому випадку крива типового графіка масштабується щодоби в залежності від величини електроспоживання за цю добу.

Передбачені наступні типи вимірів:

P - графік активної потужності (розмірність - кВт, МВт,%);

Q - графік реактивної потужності (розмірність - кВАр, МВАр,%);

U - графік напруги (розмірність - кВ);

I - графік струму (розмірність - А,%);

tg - графік тангенсов.

Примітка:

1. Графіки вимірів P і Q в абсолютних одиницях (кВт, квар) використовуються при завданні навантажень / перетоків типом P, Q або P, tg. Відповідно задаються два номери графіка.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Графіки вимірів P і Q в відносних одиницях (%) також використовуються при завданні навантажень / перетоків типом P , Q або P, tg . При цьому задане значення активної потужності вважається P_{\max} , а реактивної потужності - Q_{\max} . Якщо заданий тип навантаження P, tg то $Q_{\max} = P_{\max} * tg$. Максимум відносного значення графіка не обов'язково дорівнює 100%, це може бути будь-який набір чисел.

3. При завданні навантажень / перетоків електроспоживання балансується WP , WQ або WP, tg графіки замірів P і Q вважаються заданими в відносних одиницях, незалежно від їх розмірності, а P_{\max} і Q_{\max} обчислюються за виразом:

$$P_{\max} = \frac{WP}{\hat{E}_A \cdot \sum D_i^* / D_{\max}^*}, Q_{\max} = \frac{WQ}{\hat{E}_A \cdot \sum Q_i^* / Q_{\max}^*}, \text{ де}$$

K_d – кількість днів; P_i^* , Q_i^* – значення графіків ($i = 1 \dots 24$); P_{\max}^* , Q_{\max}^* – максимуми графіків

4. При завданні номера графіка тільки для активної потужності (електроенергії), реактивна потужність за довільним зрізу розраховується зі збереженням тангенса вихідної навантаження (електроспоживання): $tg = Q_{icx} / P_{icx}$ ($tg = WQ_{icx} / WP_{icx}$) $\rightarrow Q_i = P_i * tg$.

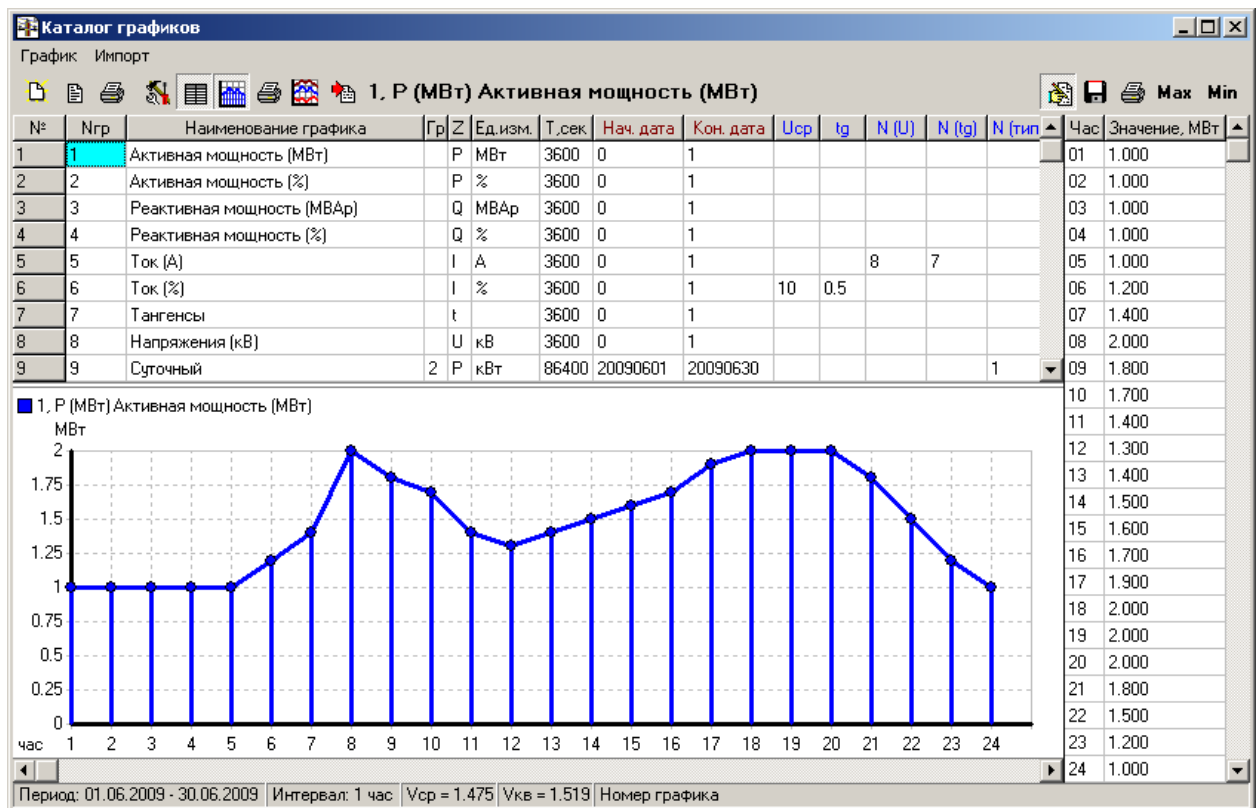
5. Замість графіка вимірів Q може бути використаний графік тангенсов.

6. Для графіка струмів I необхідно задати напруга (графік напружений) U і тангенс (графік тангенсов) tg для переходу від струму до активної і реактивної потужностей. В цьому випадку для навантаження / перетікання вказується один номер графіка.

7. У чистому вигляді значення графіка струмів I використовуються при завданні перетікання типом I, tg . Графік струмів в відносних одиницях також може бути використаний тільки з типом I, tg , при цьому задане значення струму приймається максимальним.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формат вікна каталогу графіків навантажень має вигляд:



У загальному вигляді посередині вікна розміщено таблицю каталогу графіків, внизу - графічне відображення графіка (ів), праворуч - таблиця значень графіка.

Формат таблиці каталогу графіків:

- Nгр** - номер графіка;
- Наименование графика** - назва графіка;
- Гр** - тип графіка: 0 - типовий (24 час), 1 - по зрізах, 2 - по добах;
- Z** - тип заміру: P - актив, Q - реактив, U - напруга, I - струм, t – тангенс;
- Ед.изм.** - одиниці виміру: %, кВт/кВАр, МВт/МВАр, А, кВ;
- T, сек** - інтервал знімання показань, сек;
- Нач. дата,** - дати початку і кінця дата заповнення графіка, використовуються тільки для типів графіків 1 (по зрізах) і 2 (по добі). Звісно ж цілим числом, наприклад, 20200320 - 2020 р 03 місяць, 20 число;
- Кон. дата**
- Ucp** - середнє значення напруги (використовується для графіка струмів);
- tg** - середній тангенс (використовується для графіка струмів);
- N (U)** - номер графіка напруги (використовується для графіка струмів);
- N (tg)** - номер графіка тангенсов (використовується для графіка струмів);
- N (тип)** - номер типового графіка (використовується для добових графіків).




Створення нового графіка виконується послідовність операцій:

1. Вибрати меню "График" → "Добавить" (кнопка "Добавить график" на панелі управління).
2. У вікні "Свойства графика" послідовно заповнити поля, відповідні колонкам таблиці каталогу графіків, натиснути кнопку, "Применить":


, де

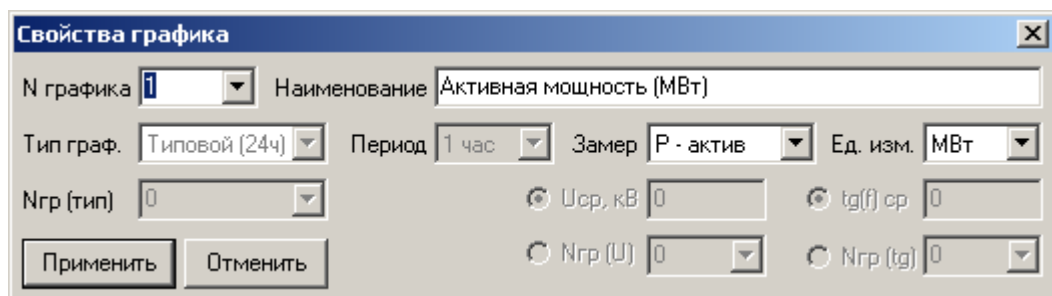
- N графика** - номер графіка (за замовчуванням пропонується свій номер).
Номери графіків не повинні повторюватися, існуючі номери можна переглянути в випадаючому списку;
- Наименование** - текстове найменування графіка;
- Тип граф.** - тип графіка: типовий (24 год), по зрізах, по добі;
- Период** - інтервал знімання показань вибирається з дискретного списку значень - 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30 сек, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30 хв, 1 година, доба. За замовчуванням, для типового графіка вибирається 1 годину, для добового графіка - добу;
- Замер** - тип заміру: P - актив, Q - реактив, U - напруга, I - струм, t - тангенс;
- Ед. изм.** - одиниці виміру: %, кВт/кВАр, МВт/МВАр, А, кВ;
- Нач. дата** - початкова дата заповнення графіка (заповнюється автоматично);
- Кон. дата** - кінцева дата заповнення графіка (заповнюється автоматично);
- Uср, кВ** - середнє значення напруги (використовується для графіка струмів);
- tg(f) ср** - середній тангенс (використовується для графіка струмів);
- Nгр (U)** - номер графіка напруг (використовується для графіка струмів);
- Nгр (tg)** - номер графіка тангенсов (використовується для графіка струмів);
- Nгр (тип)** - номер типового графіка (використовується для добових графіків).




3. Натиснути кнопку "Показать таблицу" – праворуч відображається порожня таблиця.
4. В каталозі графіків встановити маркер на рядок з потрібним графіком і натиснути кнопку "Загрузить график" – таблиця значень заповнюється значеннями обраного графіка (для нового графіка - порожніми значеннями).

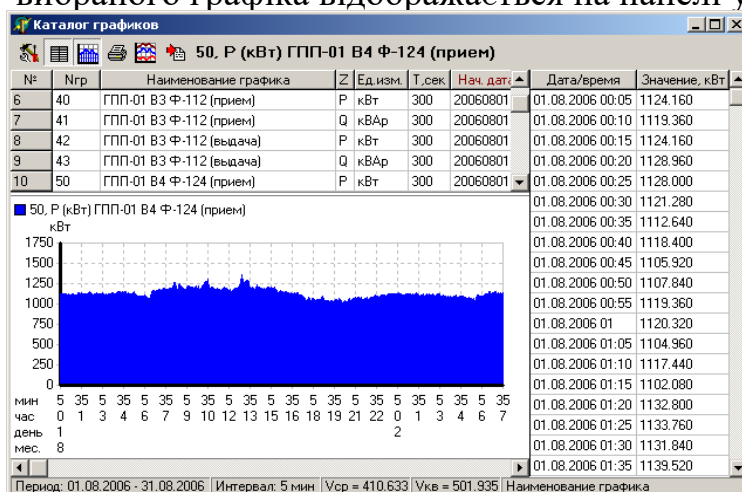
5. Натиснути кнопку  "Редакция значений таблицы" – таблиця стала доступною для редакції.
6. Встановити маркер в колонку значень таблиці (друга колонка), натиснути клавішу F4, скорегувати значення.
7. Натиснути кнопку  "Сохранить данные таблицы", віджати кнопку  "Редакция значений таблицы".


Редакція значень існуючого графіка виконується з п.3. Короткий алгоритм створення графіка за номерами кнопок на панелі управління виглядає наступним чином:

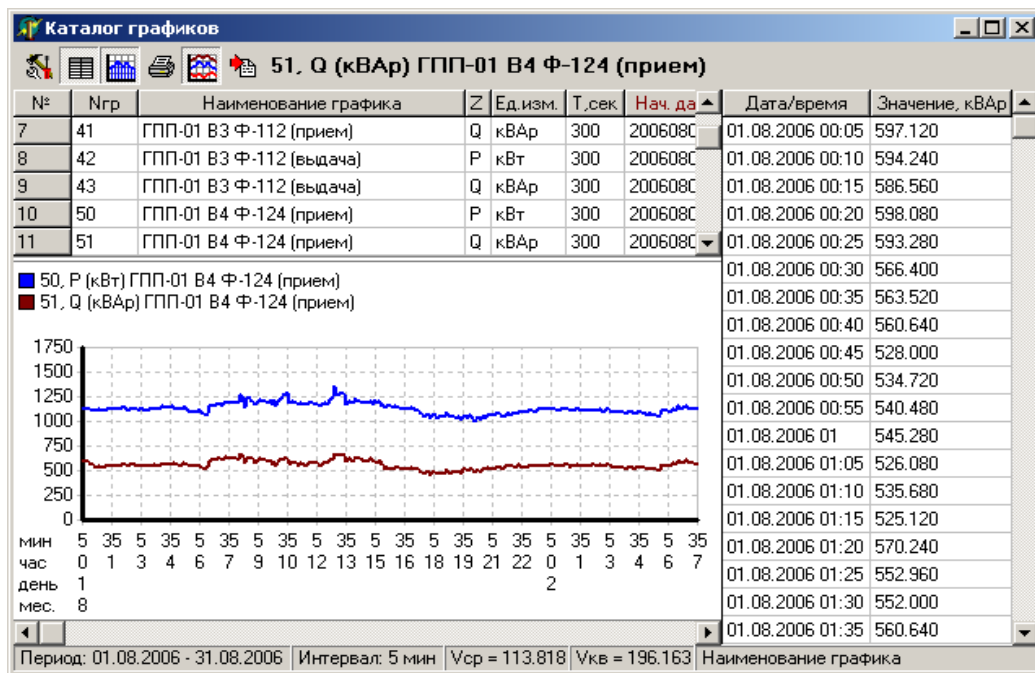
Редакція властивостей графіка виконується установівкою маркера в потрібний рядок каталогу графіків, і натисканням кнопки  "Свойства графика". При цьому блокується зміна полів "Тип граф." и "Период".




Для графічного та табличного перегляду значень графіка натискають кнопку  "Показать график",  "Показать таблицу". Вибір поточного графіка виконується кнопкою  "Загрузить график". Найменування вибраного графіка відображається на панелі управління.



При необхідності перегляду одночасно декількох графіків натискається кнопка  "Совместное отображение графиков", після чого можна завантажувати необхідну кількість графіків. Зміна кольору графіка і його приховування здійснюється натисканням правої кнопки миші на легенді цього графіка.



Настройки відображення графіків вибирається натисканням енопки .

"Настройки":

, де

- Период - установка періоду відображення графіка, має значення для графіків по зрізах і по добі;
- Интервал отображения совместных графиков - при одиночному перегляді кожен графік відображається зі своїм оригінальним інтервалом, визначеним при створенні цього графіка, який можна побачити в колонці **T,с**.
- Отображение списка наименований графиков - відображення легенди у верхній частині графічного відображення;
- Фиксированная ширина деления по оси времени - при включеному прапорі по осі часу видно всі крапки зрізів, при відключеному - точки зрізів відображаються відповідно до вказаної мінімальної шириною розподілу;

Минимальная ширина - інтервал в пікселях між двома зрізами. Має значення при відключеному прапорі фіксована ширина розподілу по осі часу;

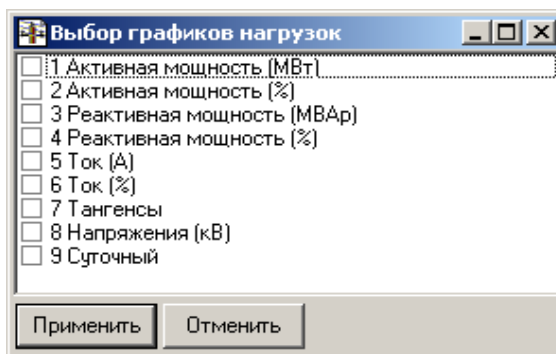
Толщина линий - товщина ліній графіка в пікселях;

Радиус точки - радіус точок зрізу графіка в пікселях.

На панелі інструментів передбачені три кнопки друку:

- Друк каталогу графіків - друк таблиці каталогу графіків;
- Друк графіка - друк видимої частини графічного відображення графіка;
- Друк таблиці - друк таблиці значень графіка.

Імпорт графіків з каталогів інших схем виконується вибором меню "Импорт" → "Импорт из файлов *.GRC, *.GRV", вибором файла *.GRC в стандартному діалоговому вікні, і вибором графіків, які потрібно імпортувати, з вікна:



При збігу номера графіка в каталозі і номера імпортованого графіка буде запропоновано перезапис даних імпортованого графіка.

Видалення графіка з каталогу виконується установкою маркера на потрібний рядок в каталозі графіків і вибором меню "График" → "Удалить" або клавішами Shift+Del.

2.5 Результаты расчета з типовими та конкретними графіками по активній та реактивній потужності навантажень

При розрахунку режимів, де головними характеристиками навантажень є вимірювання згідно лічильників активної та реактивної електроенергії необхідно використовувати добові графіки навантажень. Аналогічно при прогнозуванні електроспоживання за добу, за декаду, за місяць і т.д. Також використовуються розрахункові моделі з графіками споживання

електроенергії. Ці моделі актуальні при аналізі економічної ефективності поточних режимів, а також при короткостроковим та перспективному плануванні стану електричних мереж. Математичний та програмний апарат, реалізований в програмному комплексі РАОТВ, забезпечує зазначені моделі (розділ 2.3, 2.4).

Згідно завданню на дану бакалаврську роботу, необхідно розробити еталонний розрахунковий приклад з різними типами навантажень та з регулюючими пристроями, які забезпечують показання режиму в допустимій області для будь-якого перерізу добового графіку навантажень (далі «графік в допустимій області»). Будемо вирішувати задачу в наступних умовах:

1. Приймаємо розрахункову схему «Rschema1» за основу з її оптимальним режимом по реактивній потужності, як режим максимуму електричної мережі. Нагадаємо характеристики цього режиму отриманого в розділі 1.4. Тут $\Delta P = 9.565261 \text{ кВт}$, $Q_{\max} = 18$ (вузол 10), $Q_{\max} = 8$ (вузол 105, 106), РПН автотрансформаторів 302-3-11, (330/110/35кВ), 303-4-5 та 304-5-13 відповідно $N_{\text{отв}}=9, 7, 7$, а РПН трансформаторів (ПС 110/35/10) 101-104-105 та 102-103-106 встановлено на відгалудженнях $N_{\text{отв}}=12, 5$. Напряга балансує вузлів дорівнює (вузол 300 $U_v=341 \text{ кВ}$, вузол 301 $U_v=348 \text{ кВ}$).

2. Для рішення задачі скопіюємо схему Rschema1 в DUD_GR.uzl, DUD_GR.vet. Виберемо чотири типових графіків навантаження для однозмінних, двухзмінних, трьохзмінних споживачів та споживача з безперервним циклом роботи (P1, P2, P3, PN), а також два графіка з інтегрованим навантаженням для вузлів 330, 110 кВ. Графіки показані на рис. 2.3. та рис. 2.4. Їм присвоєно відповідні номери 1, 2, 3, 4, 5, 6. Будемо вважати, що реактивне навантаження змінюється пропорційно. Внесемо згідно інструкції ці номери в колонку $N_{\Gamma}(P_n)$, а саме для вузлів 302, 303, 304 ($N_{\Gamma}=6$), для вузлів 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ($N_{\Gamma}=5$), для 12, 13, 14 ($N_{\Gamma}=4$) та для ПС 110/35/10кВ $N_{\Gamma}=1$ (шини 105, 108), $N_{\Gamma}=2$ (шини 103, 106), $N_{\Gamma}=3$ (шини 104).

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. При моделюванні навантажень будемо використовувати почасові часові зрізи, графік складається з 24 ступенів. Для розрахунку конкретного ступеня використовуються формули:

$$P_t = P_H * kt / K_{max},$$

$$Q_t = Q_H * kt / K_{max}.$$

Конкретні розрахункові приклади показані на рис. 2.3. та рис. 2.4.

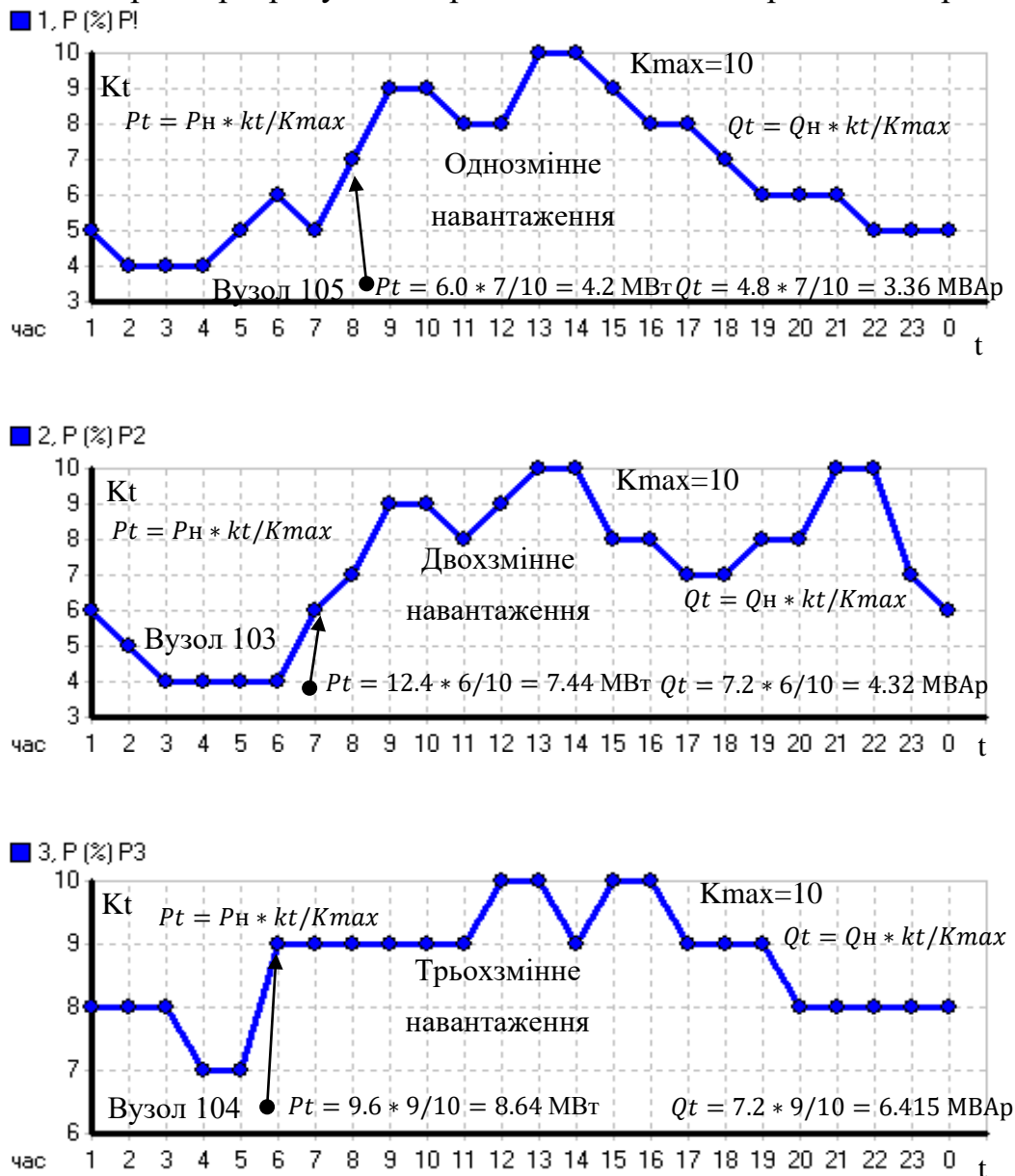


Рисунок 2.3 – Типові графіки(однозмінний, двухзмінний, трьохзмінний споживач)

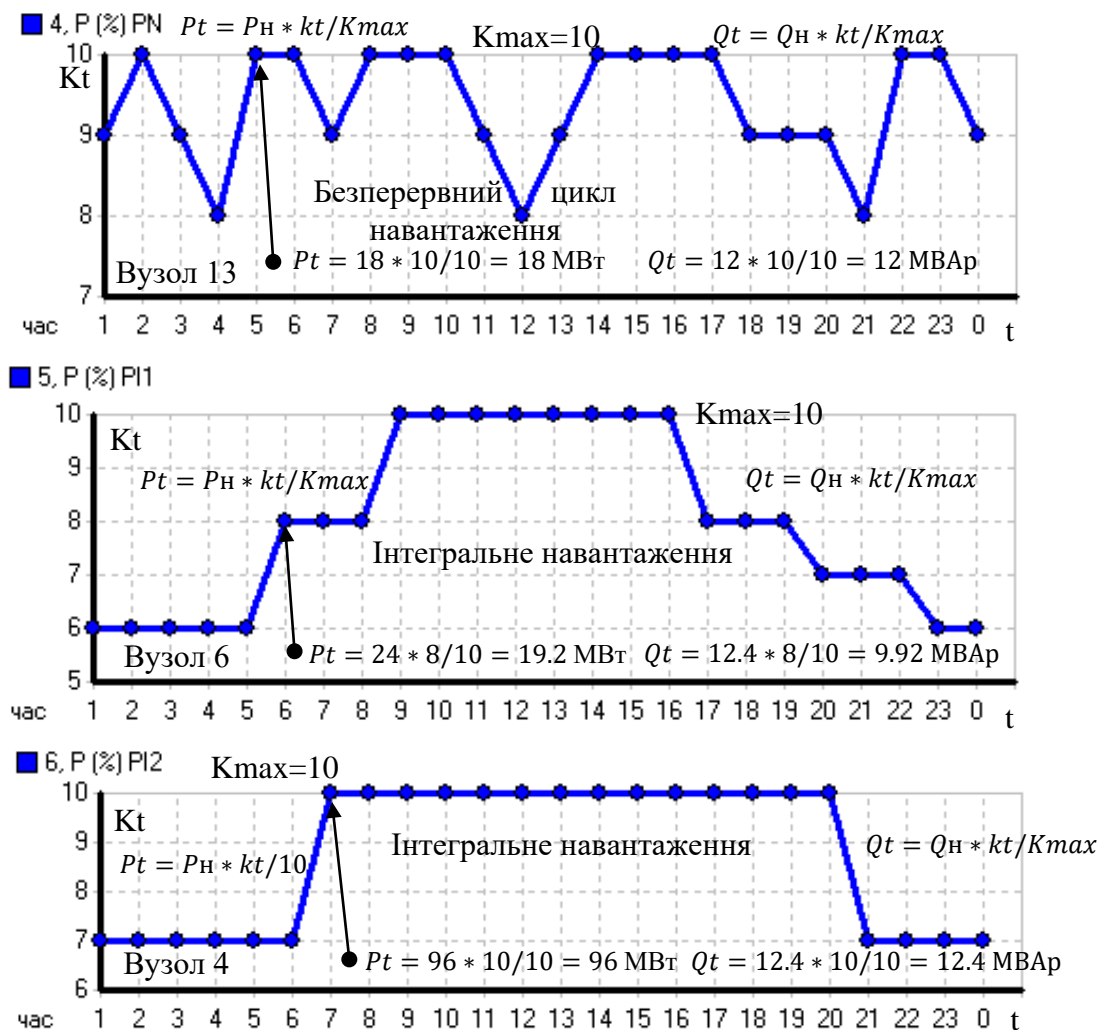


Рисунок 2.4 – Типові графіки(безперервний цикл, інтегральні навантаження мережі 110кВ)

4. Виберемо умовну дату 30.04.2020. Встановимо її як розрахунковий період. Проведемо конкретний розрахунок по заданим добовим графікам без додаткового регулювання згідно плану:

Потери енергии → Расчёт потерь → «•» По графикам → Применить

Результати показані на рис. 2.5. Тут представлені чотири інформаційні компоненти:

- * «Общие характеристики режима» (Потери энергии → Общие харак.);
- * «Контроль» (Потери энергии → Контрольные сообщения);
- * «Напряжения узлов» (Расчёт режима → Режим → Напряжения узлов);
- * «DUD GR (Потери)» (Каталоги → Суточ. граф. → $N_T=0 \dots$).

Схема: DUD_GR - **Общие характеристики режима**

Схема : Rсхема1 (Дата расчета: 22.04.2020 14:09:26)

Расчетный период : 30.04.2020 - 30.04.2020

[Расчет по графикам нагрузок]

Потребление : 9208,880 МВт*час 5577,600 МВАр*час
 Генерация : -7527,052 МВт*час -3305,791 МВАр*час
 Балансная мощность : -1860,563 МВт*час -269,914 МВАр*час
 Потери в схеме : 178,735 МВт*час -2001,895 МВАр*час
 Нагрузочные потери : 122,443 МВт*час 879,451 МВАр*час
 от актив.перетоков: 99,534 МВт*час
 от реакт.перетоков: 22,909 МВт*час
 Потери холост.хода : 56,292 МВт*час -2881,347 МВАр*час
 Небаланс в схеме : 0,000 МВт*час 0,000 МВАр*час

Схема: DUD_GR - **Контроль**

Схема: DUD_GR - **Напряжения узлов**

30.04.2020 01..[U+]	N узла	Uном,кВ	Uрасч,кВ	dU, %
30.04.2020 02..[U+]	302	330	339,690	2,9
30.04.2020 03..[U+]	303	330	340,392	3,1
30.04.2020 04..[U+]	300	330	342,000	3,6
30.04.2020 05..[U+]	304	330	344,196	4,3
30.04.2020 06..[U+]
30.04.2020 23..[U+]	11	35	38,371	9,6
01.05.2020 00..[U+]	105	10	11,039	10,4
	108	0,38	0,423	11,3

[U+] - наличие завышенных уровней напряжений в схеме

■ Q, P (кВт) DUD_GR (потери)

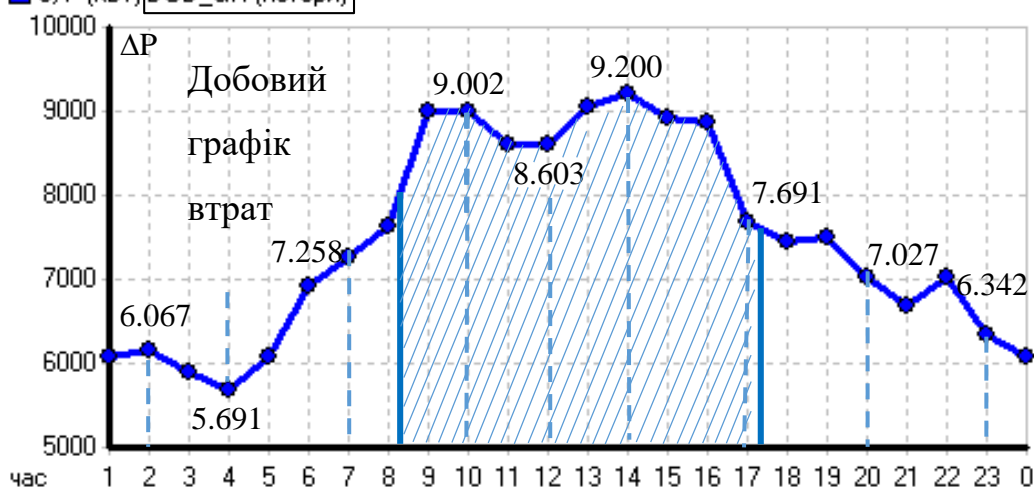


Рисунок 2.5 – Вихідний добовий графік ($U_B = U_{\max} = \text{const}$, $Q_{\text{кy}} = Q_{\max} = \text{const}$).

Графік не в допустимій області

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.6101.001.ДБ

Арк.

61

5. По вихідному режиму можна визначити наступне:

- * В загальних характеристиках всі одиниці в МВт/год або МВАр/год, та інші одиниці енергії. Визначимо втрати в схемі 178.735 МВт/год;
- * Контроль каже, що є завищена напруга по годинам 1,2,3...6,23,0;
- * Напруга вузлів вказує на 105 та 108 вузли, де по годині 2 завищена та відповідно на 10,4% та 11,3%;
- * Добовий графік втрат. Можна визначити мінімальні втрати в нічному провалі 5.691 МВт та максимальне – з 14⁰⁰ дорівнює 9.200 МВт.
- * Вивід: Добовий графік в недопустимій зоні по нічному провалу. Необхідно його регулювати.

6. Один із принципів надійності режиму є умова «Регулювати тільки при необхідності та регулювати з найменшим складом перемикавання». Будемо виділяти три незалежних варіанта регулювання:

- А. Ввід режиму в допустиму зону по графікам регулювання РПН;
- В. Ввід режиму в допустиму зону по графікам регулювання БСК;
- С. Ввід режиму в допустиму зону по графікам регулювання U_v .

7. Реалізація варіанта А. В якості регуляторів виберемо трансформатори ПС 110/35/10. Перше задаємо умови регулювання по плану:

Оптимизация → Трансформатори → Добавить → Установить U_{min} , U_{max} .

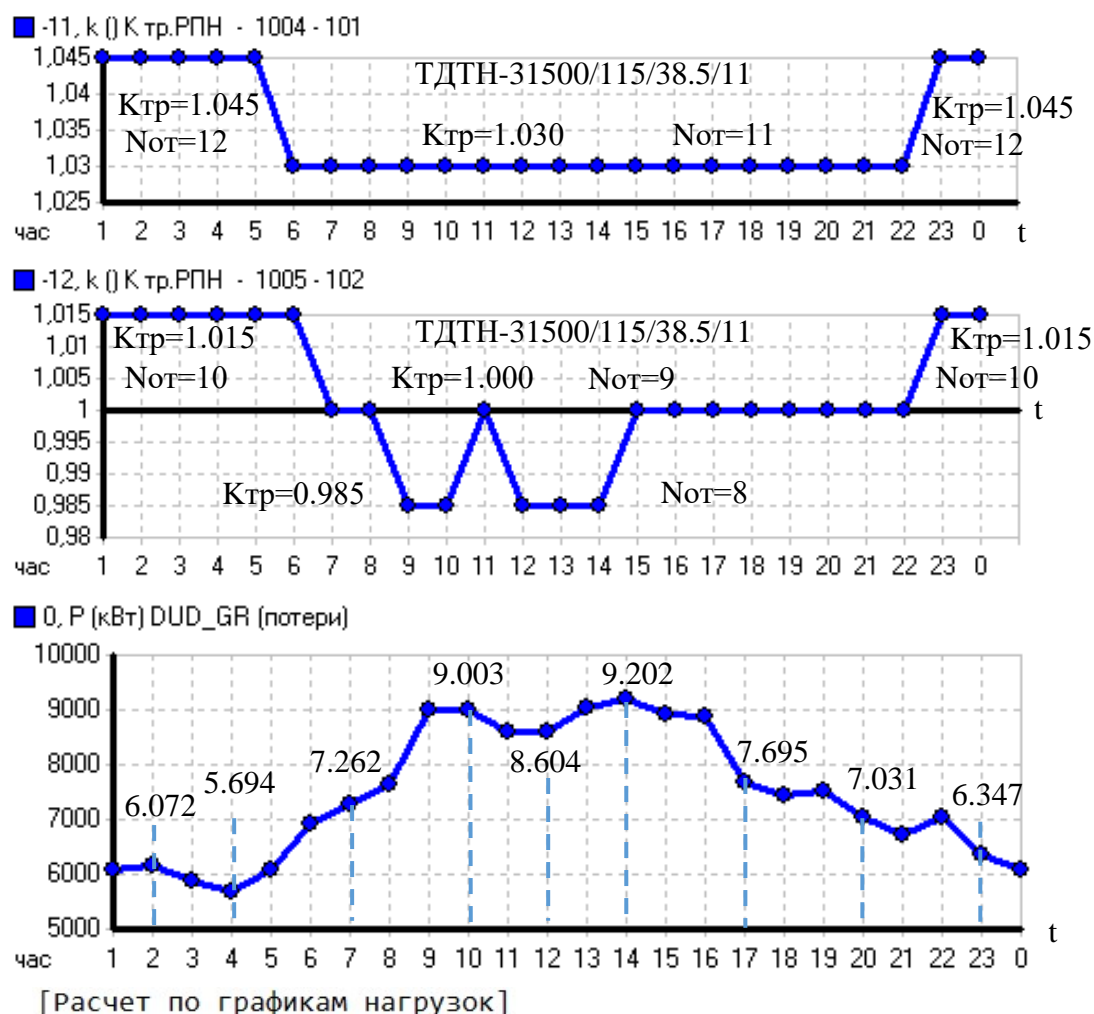
Далі в файлі DUD_GR.vet встановимо колонку $N_T(K_T)$, де для трансформаторів 101-1004 встановим номер -11, 102-1005 номер -12, а для 107-108 номер -13. Знак «-» говорить про те, що його буде формувати программа РАОТВ автоматично, а не користувачем.

На кінець, запускаємо розрахунок режиму по добовому графіку з регулюванням РПН згідно плану:

Потери энергии → Расчёт потерь → «•» По графикам → «•» По графикам

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати показані на рис. 2.6. Маємо загальні характеристики з втратами 178.825 МВт, Контрольних повідомлень про порушення немає, а в каталогах з'явилися графіки регулювання РПН двух трансформаторів, наприклад, 101-1004 має два переключення за добу: в години нічного провала 1-6 години $\text{Notv}=12$ ($K_{\text{тр}}=1.045$), далі діапазон 6-22 працює при $\text{Notv}=11$ ($K_{\text{тр}}=1.030$) і в 23⁰⁰ знову перемкнуту в позицію $\text{Notv}=12$.



Потребление	: 9208,880 МВт*час	5577,600 МВАр*час
Генерация	: -7580,830 МВт*час	-3313,066 МВАр*час
Балансная мощность	: -1806,875 МВт*час	-263,417 МВАр*час
Потери в схеме	: 178,825 МВт*час	-2001,116 МВАр*час
Нагрузочные потери	: 122,544 МВт*час	880,298 МВАр*час
от актив.перетоков:	99,585 МВт*час	
от реакт.перетоков:	22,959 МВт*час	
Потери холост.хода	: 56,281 МВт*час	-2881,415 МВАр*час
Небаланс в схеме	: 0,000 МВт*час	0,000 МВАр*час

Рисунок 2.6 – Регулювання добового графіка системи за допомогою РПН трансформаторів. Графік в допустимій області.

Трансформатор 102-1005 має більш складний графік регулювання. Графік втрат за формою аналогічний вихідному, а в діапазоні 8-18 год повністю з ним співпадають (заштрихована область). В нічному провалі та напівпіковій зоні є різниця за рахунок регулювання напруги. Відзначимо, що споживання електроенергії незначно зросла $178.735 < 178.825$ МВт/год.

8. Реалізація варіанта Б. В якості регуляторів виберемо БСК, встановлених в вузлах 10, 105, 106. В файлі DUD_GR.uzl додамо колонку $N_{\Gamma}(Q_{\Gamma})$, де для вузла 10 (110кВ) БСК будемо регулювати по графікам з $N_{\Gamma}=8$, а в 105 та 106 по графіках з $N_{\Gamma}=9$. Значення позиції графіка підбираємо з інженерних міркувань. Нехай графік 8 буде неперервним, а графік $N_{\Gamma}=8$ з такими перемиканнями згідно інтервалам «нічний провал», «полупік», «пік». Результати показані на рис. 2.7. Розрахунок виконується за планом:

Потери энергии \longrightarrow Расчёт потерь \longrightarrow «•» По графикам \longrightarrow Применить

Загальні втрати енергії в схемі 179.466 МВт/год. Графік втрат в діапазоні 8-18 год співпадає з вихідним (заштрихована область), а в інших годинах різниться в результаті регулювання БСК. Відзначимо співвідношення сумарних втрат $178.735 < 178.825 < 179.466$ МВт/год.

9. Реалізація варіанта В. В якості регуляторів беремо напругу балансуєчих вузлів 300, 301. В файлі DUD_GR.uzl додамо колонку $N_{\Gamma}(U_{\Gamma})$, де для цих вузлів введемо графіки напруг з номерами відповідно 7 та 10. Використовуємо варіант з абсолютними одиницями (кВ), а значення позицій підберемо згідно з інженерних міркувань.

Має п'ять перемикань:

Вузол 300: 333 \longrightarrow 335 \longrightarrow 342 \longrightarrow 335 \longrightarrow 336;

Вузол 301: 338 \longrightarrow 340 \longrightarrow 347 \longrightarrow 340 \longrightarrow 338;

Результати варіанта приведено на рис. 2.8. Тут представлені загальні характеристики (сумарні втрати 179.667), графіки напруг БП та добовий графік втрат. Відзначимо ситуацію $178.735 < 178.466 < 179.667$ МВт/год.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

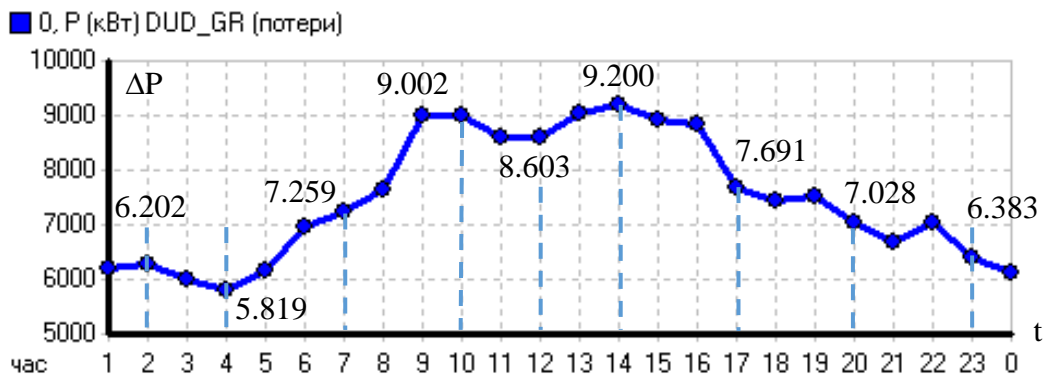
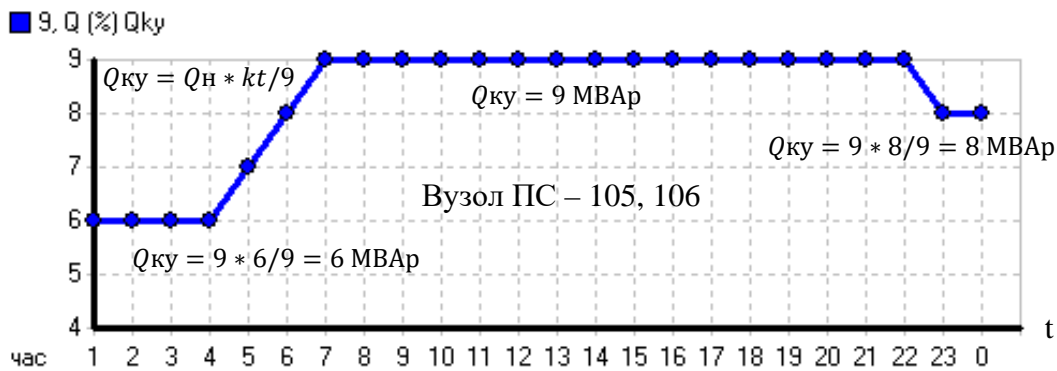
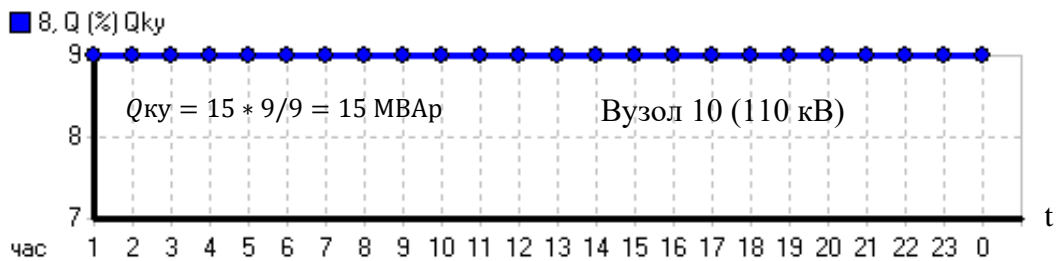


Схема: DUD_GR - Общие характеристики режима

Схема : Rсхема1 (Дата расчета: 23.04.2020 17:39:51)

Расчетный период : 30.04.2020 - 30.04.2020

[Расчет по графикам нагрузок]

Потребление	: 9208,880 МВт*час	5577,600 МВАр*час
Генерация	: -7580,830 МВт*час	-3279,066 МВАр*час
Балансная мощность	: -1807,516 МВт*час	-302,661 МВАр*час
Потери в схеме	: 179,466 МВт*час	-1995,873 МВАр*час
Нагрузочные потери	: 123,202 МВт*час	884,844 МВАр*час
от актив.перетоков:	99,579 МВт*час	
от реакт.перетоков:	23,623 МВт*час	
Потери холост.хода	: 56,264 МВт*час	-2880,716 МВАр*час
Небаланс в схеме	: 0,000 МВт*час	0,000 МВАр*час

Рисунок 2.7 – Регулювання добового графіку системи Q_{ку} в вузлах 10, 105, 106. Графік в допустимій області

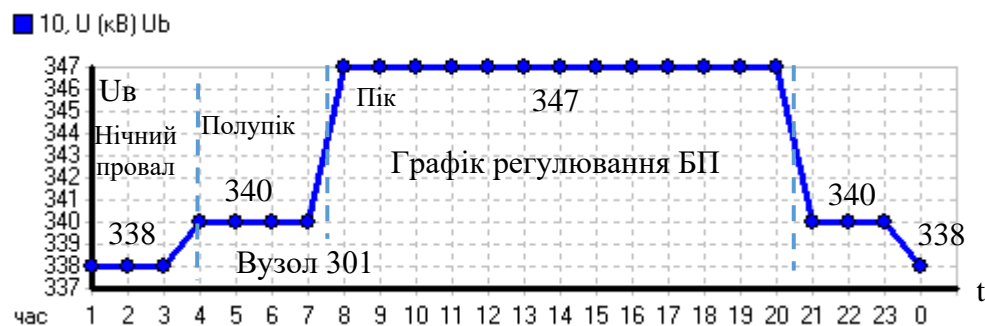
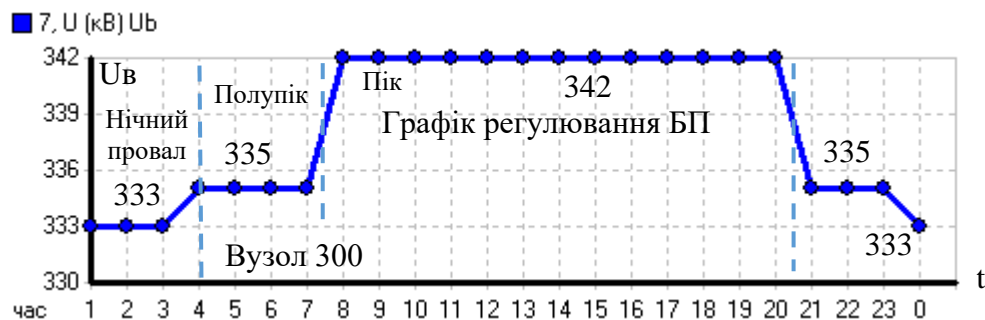
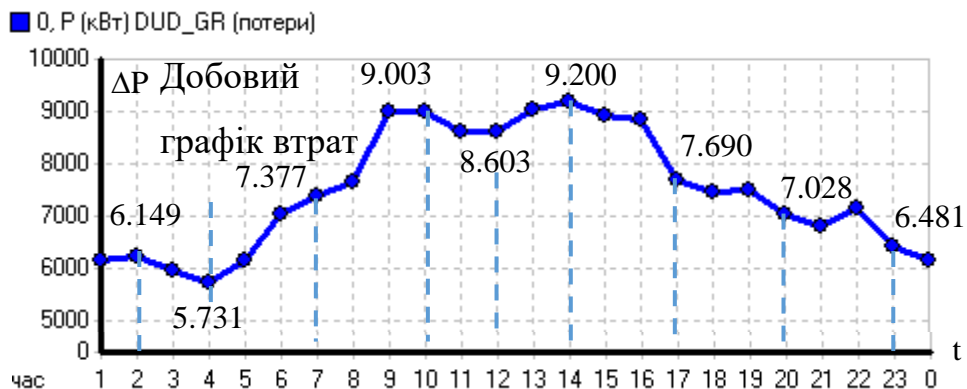


Схема: DUD_GR - Общие характеристики режима

Схема : Rсхема1 (Дата расчета: 25.04.2020 10:40:49)

Расчетный период : 30.04.2020 - 30.04.2020

[Расчет по графикам нагрузок]

Потребление	:	9208,880 МВт*час	5577,600 МВАр*час
Генерация	:	-11159,093 МВт*час	-3878,913 МВАр*час
Балансная мощность	:	1770,546 МВт*час	226,828 МВАр*час
Потери в схеме	:	179,667 МВт*час	-1925,515 МВАр*час
Нагрузочные потери	:	124,580 МВт*час	894,811 МВАр*час
от актив.перетоков:	:	101,009 МВт*час	
от реакт.перетоков:	:	23,571 МВт*час	
Потери холост.хода	:	55,087 МВт*час	-2820,327 МВАр*час
Небаланс в схеме	:	0,000 МВт*час	0,000 МВАр*час

Рисунок 2.8 – Регулювання добового графіка системи напругою БП. Графік в допустимій зоні

Висновки

1. Представлений математичний апарат та технологічні засоби розрахунку режиму по добовим графікам навантаження;
2. Розроблена розрахункова схема з типовими графіками споживання електроенергії (однозмінна, двохзмінна, трьохзмінна, неперервний цикл, інтегральна). Графіки оформлені у відносних одиницях;
3. Розрахований вихідний режим, який не відповідає нормативам по якості напруги. Вихідний режим не в допустимій області;
4. Розроблені та реалізовані три автономних варіанта регулювання для вводу добового графіка в допустиму область:
А – за допомогою графіків регулювання РПН;
Б – за допомогою графіків регулювання БСК;
В – за допомогою графіків регулювання U_B ;
5. Виконаний аналіз результатів згідно прийнятим рішенням.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Дану бакалаврську роботу можна розділити на дві частини. Першою задачею було розрахувати та оптимізувати режим електричної мережі. Другою частиною роботи було обчислення загальних характеристик режиму згідно добового графіку навантаження.

Для забезпечення надійності та ефективності електропостачання. Для цього дану мережу потрібно ввести в допустиму область, розраховувати струми КЗ та оптимізувати режим по критерію мінімуму втрат. Ці задачі були вирішені в першому розділі роботи.

При розрахунку режимів, де головними характеристиками навантажень є вимірювання згідно лічильників активної та реактивної електроенергії необхідно використовувати добові графіки навантажень. Ця модель є актуальною при аналізі економічної ефективності поточних режимів, а також при короткостроковим та перспективному плануванні стану електричних мереж. Розрахунок графіків навантажень та регулювання добових графіків представлений в другому розділі.

					141.6101.001.ДБ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Холмский В.Г. Расчёт и оптимизация режимов электрических сетей. Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1975. - 280 с.
2. Веников В.А. Электрические системы. Электрические сети. М.: Высш. шк., 1998. - 511 с.
3. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1992. -528 с.
4. Банін Д.Б., Яндульський О.С., Банін М.Д., Бондар А.М., Гнатовський А.В. Економічні еквіваленти реактивної потужності. Математичний та чисельний аналіз. //Промелектро. – 2004. – №1. – с. 22-33.
5. Щербина Ю.В., Банін Д.Б., Голота А.Д., Банін М.Д., Гушля А.М., Федова Л.С. Поточні питання впровадження діючої методики за перетікання реактивної електроенергії. //Енергетика и электрификация. – №6. – с. 43-47.
6. Щербина Ю.В., Банін Д.Б., Голота А.Д., Гушля А.М., Федова Л.С. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії як стимул енергозбереження та покращення якості електронапруги. //Новини енергетики. – 2002. – №10. – с. 40-46.
7. Хоменко О.В. Методичні вказівки з курсу "Математичні задачі енергетики"/Київ, 2009. – 77с.
8. Банін Д. Б. Конспект лекцій з дисципліни "Алгоритмізація та програмування електроенергетичних задач" / Банін Д.Б., Банін М.Д., Гнатовський А.В. – К. : НТУУ "КПУ", 2013. – 140 с.
9. Банін Д. Б. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту бакалавра для студентів напрямку підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології". Моделювання, аналіз та оптимізація електричних режимів / Банін. Д.Б., Хоменко О.В., Банін М.Д. – Київ. : НТУУ "КПУ", 2011. – 68 с.

					<i>141.6101.001.ДБ</i>	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		