

П.Д.Лежнюк, В.Ц.Зелінський, В.А.Найчук, С.В.Бевз

*МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ
ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ*

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
з дисципліни "Математичні задачі електроенергетики"
Частина 1

Вінниця ВДТУ 2003

Міністерство освіти і науки України
Вінницький державний технічний університет

П.Д.Лежнюк, В.Ц.Зелінський, В.А.Найчук, С.В.Бевз

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ
ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
з дисципліни "Математичні задачі електроенергетики"
Частина 1

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів енергетичних спеціальностей. Протокол № 11 від 1 липня 2001 р.

Рецензенти:

В.П. Кожем'яко, доктор технічних наук, професор
О.І. Скрипник, доктор технічних наук, професор
Л.Р. Пауткіна, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Л58 **П.Д.Лежнюк, В.Ц.Зелінський, В.А.Найчук, С.В.Бевз**
Математичне моделювання усталених режимів електричних систем. Лабораторний практикум з дисципліни "Математичні задачі електроенергетики". Частина 1. Навчальний посібник. -
Вінниця: ВДТУ, 2003. – 94 с.

В навчальному посібнику розглянуто основні теоретичні положення розв'язування складних алгебраїчних рівнянь в матричному вигляді, якими описуються усталені режими електроенергетичних систем. Наведено також методику проведення лабораторних робіт та варіанти завдань до них. В додатках подано приклади виконання лабораторних робіт на ЕОМ, починаючи з порядку виконання роботи, математичного формування задачі, формалізації та введення даних в ЕОМ, аналізу результатів та написання висновків.

Лабораторний практикум призначений для студентів спеціальностей 7.090601, 7.0900601 і та 7.090602 всіх форм навчання.

УДК 519.6

© П.Лежнюк, В.Зелінський, В.Найчук, С. Бевз, 2003

ВСТУП

Розв'язування задач планування, розрахунків та оптимізації режимів електроенергетичної системи (ЕЕС) забезпечується застосуванням сучасних економіко-математичних методів та сучасних засобів оперативного керування, обчислювальної техніки і автоматики.

До теперішнього часу досягнуто певних успіхів в розробці методів математичного моделювання, методології аналізу функціонування та керування режимами енергосистем. Аналіз режимів ЕЕС завжди, навіть у випадку простих систем, виконується із застосуванням сучасних комплексів електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) в оперативно-інформаційному комплексі (ОІК) автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ). Комплексні програми аналізу режимів ефективні при умові, якщо вони працюють автоматично, тобто без безпосереднього втручання людини у процес перетворення інформації за певними алгоритмами. Це вимагає застосування та подальшої розробки формалізованих методів аналізу, які б забезпечували автоматичне формування та розв'язування рівнянь стану ЕЕС.

Традиційні методи аналізу режимів ЕЕС безпосередньо не задовольняють цих вимог – їх алгоритми не забезпечують автоматичного формування рівнянь стану. Методи розв'язування цих рівнянь, орієнтовані на використання простих обчислювальних засобів є неефективними при розв'язуванні систем нелінійних рівнянь високих порядків, якими описується стан сучасних ЕЕС.

Формалізації методів аналізу режимів ЕЕС найбільш ефективно відбуваються на основі теорії графів, матричної та векторної алгебри. За допомогою графів будується конфігурація (геометрична схема) електричної мережі, матриці застосовуються для аналітичного записування структури графів та параметрів ЕЕС, багатовимірні вектори – для записування параметрів режимів. З застосуванням цих математичних методів рівняння стану ЕЕС в різних методах аналізу представлено у вигляді векторних рівнянь, які повністю формалізовано. Це є необхідною вимогою автоматизації як відповідних розрахунків параметрів режимів ЕЕС, так і подальшої реалізації цих розрахунків в ОІК АСДУ та системах керування режимами.

Задачі, що виникають при розрахунках робочих режимів складних електроенергетичних систем, можна поділити на наступні великі групи:

- вибір елементів системи, що враховуються, і встановлення для кожного з них математичної моделі (схеми заміщення);
- визначення способу з'єднання між собою елементів, тобто складання розрахункової схеми системи;
- визначення параметрів всіх елементів, що входять до розрахункової схеми заміщення;

- вибір методу розрахунку – складання системи рівнянь, а в тих випадках, коли застосовуються узагальнюючі параметри, визначення цих параметрів або параметрів перетвореної і спрощеної схеми заміщення;
- вибір обчислювального засобу.

Складання схеми заміщення систем і визначення їх параметрів відбувається звичайно так само, як і простих схем.

Серйозним ускладнюючим чинником при розв'язуванні перерахованих вище задач є необхідність виконання досить значної кількості обчислень (наприклад, у зв'язку з оптимізацією поточних режимів). При цьому необхідне застосування узагальнювальних параметрів, лінеаризації, декомпозиції або еквівалентування складних схем, а також використання прийомів прискорення ітеративних процесів.

Додаткове ускладнення викликається збільшенням довжини електричних мереж та їх потужності. Тут доводиться враховувати появу таких чинників як порушення умов збіжності ітеративних процесів і неоднозначність режимів при заданих умовах. Практично це іноді спостерігається вже при розрахунках режимів відносно простих мереж, відстані між окремими пунктами яких сягають тисячі кілометрів. Такого виду труднощі виникають при розрахунках складних і одночасно довгих мереж. Крім того, необхідно враховувати в розрахунках коефіцієнти трансформації, які змінюються, що пов'язано з експлуатацією в енергосистемах регульованих під навантаженням трансформаторів (РПН). Враховувати також потрібно трансформатори (точніше – регульовані вольтодобавочні агрегати) з поздовжньо-поперечною зміною електрорушійної сили (ЕРС), що в схемах заміщення відображається за допомогою коефіцієнтів трансформації, поданих комплексними числами.

Освоєння основних принципів формування математичних моделей та методів їх розв'язування є дуже важливим для формування майбутнього інженера-енергетика. Тут необхідно врахувати, що керування енергосистемою повинно забезпечувати не тільки відповідні значення параметрів режиму вузлових точок, але й максимальну економічність режиму системи в цілому при повному забезпеченні споживачів якісною електроенергією. Економічність визначається тут величиною витрат на генерацію, передавання і розподіл енергії. При керуванні режимом енергосистеми, яка експлуатується, ці витрати складаються з витрат на придбання і перевезення палива, амортизацію та ремонт обладнання, заробітну плату персоналу електростанцій і електромереж із урахуванням накладних витрат, тощо. Від розподілу навантажень між електричними станціями залежать витрати палива, тобто економічність режиму роботи системи в цілому.

Все сказане підкреслює роль матричних методів при розв'язуванні задач математичного моделювання в електроенергетиці, що об'єднують

підхід до розв'язання основних задач розрахунку режимів електричних систем. До цих основних задач відносять розрахунки:

- параметрів усталеного режиму (перетоків потужності, струмів, напруг) в усіх елементах системи при заданих вихідних умовах;
- зв'язані з оптимізацією режимів і пошуку відповідних тим чи іншим умовам оптимуму параметрів;
- перехідних процесів в електричних системах;
- параметрів при великих збуреннях і великих відхиленнях параметрів режиму (динамічна стійкість), а також при малих збуреннях і малих відхиленнях параметрів режиму (статична стійкість).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ПОБУДОВА ГРАФА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Метою даної роботи є дослідження можливості представлення в ЕСМ графа мережі послідовністю пар чисел – номерів вузлів, які обмежують вітку, а також побудови на її основі першої та другої матриці інцидентій.

1.1 Завдання

1. Ознайомитися з елементами теорії графів стосовно застосування їх до формування розрахункової моделі електричної мережі.
2. Для заданої схеми записати першу та другу матрицю інцидентій.
3. Вивчити можливості програми RM. Її особливості.
4. Ввести інформацію про задану схему в EOM і отримати першу та другу матриці інцидентій. Виконати перевірку.
5. Дослідити, як міняються матриці M і N при зміні нумерації вузлів схеми; зміні базисного вузла.

1.2 Порядок роботи

1. Для заданої схеми заміщення мережі створити окремий файл початкових даних (присвоїти файлу ім'я, яке складається з перших двох букв свого прізвища).
2. Визвати програму RM і відлагодити файл початкових даних.
3. Проаналізувати граф мережі, побудований підпрограмою.
4. Сформувати першу матрицю інцидентій M.
5. Сформувати другу матрицю інцидентій N.
6. Поміняти довільно нумерацію вузлів і повторити п.п. 1-5. (рекомендується робити це попередньо скопіювавши файл даних).
7. Поміняти базисний вузол і повторити п.п. 1-5.
8. Скласти звіт про роботу.

1.3 Зміст звіту

1. Описати мету і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Схема заміщення мережі, яка досліджується.
3. Алгоритми програм, які використовуються в роботі. Короткі відомості про них.
4. Результати досліджень.
5. Порівняльний аналіз результатів досліджень.
6. Висновки.

1.4 Короткі відомості

Граф в розрахунках режимів електричних мереж використовується для відображення в пам'яті EOM схеми заміщення. Зокрема, при аналізі

усталених режимів електричних мереж застосовуються перша та друга матриці інцидентій.

На рис. 1.1 наведено приклад графа схеми мережі та масиви номерів початків віток NY1 і кінців віток NY2.

У вигляді таких двох масивів та масиву номерів вузлів в EOM зберігається схема мережі. Перша та друга матриці інцидентій в EOM не зберігають, оскільки вони малозаповнені і вимагають великого об'єму пам'яті. Елементи цих матриць доцільно отримувати з масивів NY1 і NY2 тоді, коли це потрібно в алгоритмах, наприклад, при формуванні вузлового або контурного рівнянь мережі.

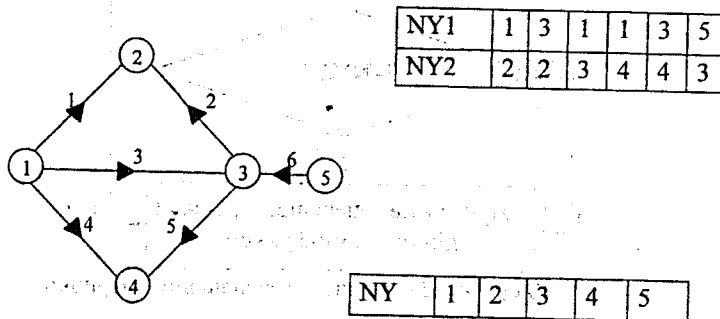


Рисунок 1.1 - Граф електричної мережі

На рис. 1.2 приведено структурно-логічну схему визначення елементів першої матриці інцидентій M мережі.

Ця логічна процедура оформлена у вигляді підпрограми-функції M(I,J). Цю підпрограму-функцію, яка реалізує правило формування матриці M, можна використовувати в алгоритмах аналізу електричних мереж і, зокрема, для побудови матриці M.

		вітки					
		1	3	4	6	2	5
M _Σ =	в 1	1	1	1			
	у 2	-1				-1	
	з 3		-1		-1	1	1
	л 4			-1			-1
	и 5				1		

M_α-дерева
M_β-хорд

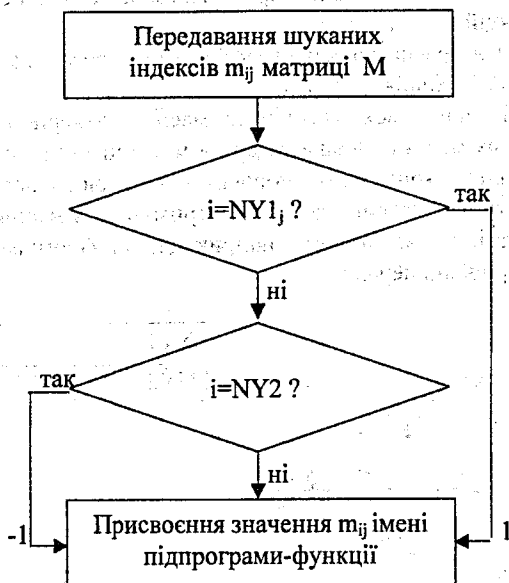


Рисунок 1.2 - Алгоритм визначення матриці

Підпрограма-функція

Отримання значень елементів першої матриці інциденцій

```

FUNCTION MIJ (I, J)
COMMON/A/NY1(40), NY2(40), NY(30)
IF (NY1(J).EQ. NY(I)) GOTO 3
GOTO 4
3  M=1
   RETURN
4  IF (NY2(J).EQ. NY(I)) GOTO 5
   GOTO 6
5  M=-1
   RETURN
6  M=0
   RETURN
END
  
```

Програма

формування розрахункової моделі мережі RM

C – формування розрахункової моделі мережі –

```

COMMON/A/NY1(40), NY2(40), NY(30)/B/NYA(40), NYB(40)
*/G/UD(30), P(30), Q(30), PG(30), U(30), DU(30), QMN(30), QMX(30)
  
```

*/H/R(40), X(40), YC(40), KT(40), RH(40), XH(40)/C/S(40), T(40)

*/I/INF, NU, NV, K, UN, UB, MBU

*/D/N(5, 40)

DIMENSION M (30,40)

REAL KT

INTEGER S, T

C- NU – Кількість вузлів

D- NN – Кількість віток

C- K – Номер БВ

C- UB – Напряга БВ

C- NY1 – Масив номерів початків віток

C- NY2 – Масив номерів кінців віток

C- NY – Масив номерів вузлів

C- UD – Масив номінальних напруг вузлів

WRITE (2,7)

7 FORMAT ("Працює програма RM (Варіант 17.02.92")

12 FORMAT ("Перша матриця інциденцій")

13 FORMAT (" ", 2013)

14 FORMAT ("Друга матриця інциденцій")

C- Введення початкової інформації –

CALL VINF

NK=NV-NU+1

CALL GRAF

C- Формування матриці M –

DO 10 I=1, NU

DO 10 J=1, NV

10 M(I,J)=MIJ (I,J)

WRITE (2, 12)

DO 11 I=1, NU

11 WRITE (2,13) (M(I,J), J=1, NV)

C- Формування матриці N –

CALL NN

WRITE (2,14)

DO 16 I=1, NK

16 WRITE (2,13) (N(I,J), J=1, NV)

END

В програмі RM використані такі підпрограми:

VINF – введення початкових даних. В цій підпрограмі зчитується з файла даних інформація про вузли та вітки мережі. Файл даних повинен бути попередньо сформований в так званих форматах ЦДУ (більш детально див. в інструкції до програм RM, OPTQU, АЧП).

GRAF – побудова графа мережі з розбиттям його на дерево і хорди.

В цій підпрограмі виводиться список номерів вузлів, які обмежують вітки. Це масиви NY1 та NY2.

NN – побудова другої матриці інцидентів T. В цій підпрограмі виділяється система базисних контурів і формується матриця N, яка складається з двох блоків N_α і N_β .

Перша матриця інцидентів M формується безпосередньо в програмі RM. При цьому використовується підпрограма-функція MIJ.

Всі підпрограми користуються спільною областю пам'яті COMMON.

1.5 Запитання для самоперевірки

1. Що таке направлений граф електричної мережі?
2. Дайте визначення вузла, вітки, контура, базисного та балансуєчого вузлів.
3. Сформулюйте правила формування першої та другої матриці інцидентів.
4. Чому в розрахунках електричної мережі доцільно граф ділити на дерево та хорди? Як виділення дерева і хорд мережі пов'язані з системою базисних контурів?
5. В чому полягає особливість форматного введення інформації, зокрема, системи форматів ЦДУ?
6. Які переваги забезпечує оголошення COMMON, зокрема, використання мічених блоків COMMON?

1.6 Рекомендована література

1. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики. – Львів: Видавниче об'єднання Вища школа. – 1989. – с. 10-30.
2. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики / Под ред. В.А.Веникова. – Москва: Высшая школа. – 1981. – с. 37-48.
3. Лежнюк П.Д., Нагул В.И., Пауткина Л.Р. Использование подпрограмм-функций для представления схем электрических сетей при расчетах на ЭВМ. – Изв. вузов. Энергетика. - № 5. – 1981. С. 85-87.
4. Ющенко Е.Л. и др. Фортран. – Киев: Вища школа. – 1989. – с. 166-171, 144-165, 177-200.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 ФОРМУВАННЯ ВУЗЛОВОГО РІВНЯННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Метою даної роботи є формування і дослідження особливостей вузлового рівняння електричної мережі.

2.1 Завдання

1. Ознайомитися з алгоритмами формування вузлового рівняння електричної мережі.
2. Вивчити особливості матриці коефіцієнтів системи вузлових рівнянь – матриці вузлових провідностей.
3. Записати матрицю вузлових провідностей для схеми, що задана попередньо в повному і ущільненому (тільки не нульові елементи) виглядах.
4. Вивчити можливості програми формування і ущільнення матриці вузлових провідностей UZUR.
5. Ввести в ЕОМ інформацію про заступну схему заданої мережі і отримати для неї матрицю вузлових провідностей.
6. Дослідити, як змінюється матриця вузлових провідностей при зміні базисного вузла, при вимкненні та вмиканні окремих віток.

2.2 Порядок роботи

1. Перевірити готовність до роботи файлу початкових даних про схему мережі, який підготовлено в лабораторній роботі № 1. Всі подальші дослідження ведуться саме для цієї схеми.
2. Визвати програму UZUR і відлагодити файл початкових даних.
3. Отримати повну матрицю вузлових провідностей і вектор струмів у вузлах.
4. Отримати матрицю вузлових провідностей в ущільненому вигляді.
5. Проаналізувати її і порівняти з аналогічними матрицями, записаними вручну.
6. Поміняти базисний вузол і повторити п.п. 2-4.
7. Вимкнути одну з віток схеми, зберігаючи при цьому зв'язність в графах і повторити п.п. 2-4.
8. Скласти звіт про роботу.

2.3 Зміст звіту

1. Мета і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Заступна схема мережі, яка досліджується.
3. Алгоритми програм, які використовуються в роботі. Короткі відомості про них.
4. Результати дослідження.
5. Порівняльний аналіз результатів досліджень.
6. Висновки.

2.4 Короткі відомості

Система, яка складається з $(m-1)$ рівнянь, що зв'язують напруги вузлів відносно базисного вузла (БВ) з струмами у вузлах і е.р.с. в вітках, називається *системою вузлових рівнянь* (вузловим рівнянням):

$$Y \cdot U_A = J - M \cdot Y_B \cdot E,$$

де $Y = M \cdot Z_B^{-1} \cdot M_t$ - матриця вузлових провідностей; U_A - вектор напруг відносно ББ; J - вектор срумів у вузлах; Y_B, Z_B - діагональна матриця провідностей і опорів віток; E - вектор е.р.с. віток.

$$Y_B =$$

y_1					
	y_2				
		y_3			
			y_4		
				y_5	
					y_6

$$M =$$

	1	3	4	6	2	5
2	-1				-1	
3	-1		-1	1	1	
4		-1				
5			1			

$$M_t =$$

-1					
	-1				
		-1			
	-1		1		
-1	1				
	1	-1			

$$MY_B =$$

$-y_1$				$-y_2$	
$-y_3$		$-y_6$	y_2	y_5	
	$-y_4$			$-y_5$	
		y_6			

$$Y_B =$$

	2	3	4	5
2	y_1+y_2	$-y_2$		
3	$-y_2$	$y_2+y_3+y_5+y_6$	$-y_5$	$-y_6$
4		$-y_5$	y_4+y_5	
5		$-y_6$		y_6

$$(MY_B)E =$$

$-y_1$				$-y_2$	
	$-y_3$		$-y_6$	y_2	y_5
		$-y_4$			$-y_5$
			$-y_6$		

$$\cdot$$

E_1
E_2
E_3
E_4
E_5
E_6

$$=$$

$-y_1 E_1 - y_2 E_2$
$y_2 E_2 - y_3 E_3 + y_5 E_5 - y_6 E_6$
$-y_4 E_4 - y_5 E_5$
$y_6 E_6$

Остаточнo отримаємо:

y_1+y_2	$-y_2$		
$-y_2$	$y_2+y_3+y_5+y_6$	$-y_5$	$-y_6$
	$-y_5$	y_4+y_5	
	$-y_6$		y_6

$$\cdot$$

$U_2 - U_1$
$U_3 - U_1$
$U_4 - U_1$
$U_5 - U_1$

$$=$$

$J_2 + y_1 E_1 + y_2 E_2$
$J_3 - y_2 E_2 + y_3 E_3$
$-y_5 E_5 + y_6 E_6$
$J_4 + y_4 E_4 + y_5 E_5$
$J_5 - y_6 E_6$

Для схеми, приведеної на рисунку 2.1 і, де базисним є вузол під номером 1, вузлове рівняння формується таким чином:

Дана система сформована при суміщенні балансууючого і базисного

вузлів, тому матриця Y є симетричною. В зв'язку з цим, доцільно суміщати базисний і балансуєчий вузли.

При формуванні матриці вузлових провідностей, а також при роботі з нею, доцільно знати деякі її особливості:

- матриця Y симетрична;
- всі діагональні елементи матриці Y додатні, значення їх є сумою провідностей віток, інцидентних з даним вузлом;
- всі недиагональні елементи матриці Y від'ємні, значення їх визначається як провідність вітки, яка безпосередньо зв'язує відповідні вузли.

Оскільки повна матриця Y потребує великого об'єму пам'яті ЕОМ, то в програмах, де використовується вузлове рівняння, користуються тільки частиною цієї матриці, а саме її верхньою трикутною частиною. В нашому прикладі це буде:

$$Y = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline y_1+y_2 & -y_2 & & \\ \hline & y_2+y_3+y_5+y_6 & -y_5 & -y_6 \\ \hline & & y_4+y_5 & \\ \hline & & & Y_6 \\ \hline \end{array}$$

В пам'яті ЕОМ вона зберігається по стовпцях:

$$Y = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \\ \hline y_1+y_2 & -y_2 & y_2+y_3+y_5+y_6 & & -y_5 & y_4+y_5 & & -y_6 & & Y_6 \\ \hline \end{array}$$

Є декілька способів ущільнення матриць. В одному з них застосовується масив нульових елементів:

$$V = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline y_1+y_2 & -y_2 & y_2+y_3+y_5+y_6 & -y_5 & y_4+y_5 & -y_6 & Y_6 \\ \hline \end{array}$$

Адреси ненульових елементів зберігаються в двох масивах:

- масиви порядкових номерів ненульових елементів

$$J_s = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 3 & 5 & 6 & 8 & 10 \\ \hline \end{array}$$

- масиви порядкових номерів діагональних елементів

$$J_T = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 3 & 6 & 10 \\ \hline \end{array}$$

Програма формування вузлового рівняння UZUR.

В програмі UZUR використані такі підпрограми:

- VINP – введення початкових даних. В цій підпрограмі зчитується з файла даних інформація про вузли та вітки мережі. Файл даних записується в формат ЦДУ.

- URU – формування ущільненої матриці вузлових рівнянь і вектора струмів у вузлах.

2.5 Запитання для самоперевірки

1. Сформулюйте правила формування вузлового рівняння в матричній формі.

2. Вкажіть основні особливості матриці вузлових провідностей.

3. Чому в ЕОМ матрицю вузлових провідностей зберігають в ущільненій формі?

4. В чому полягають переваги при розрахунках усталених режимів електричних мереж методу вузлових напруг?

5. Які переваги має використання підпрограм при складанні складних програм?

2.6 Рекомендована література

1. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики. – Львів: Видавниче об'єднання Вища школа. – 1989. – с. 46-47, 53-56, 69-70.

2. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики / Под ред. В.А.Веникова. – М.: Высшая школа. – 1981. – с. 48-53.

3. Лежнюк П.Д. Методические указания к практическим занятиям по курсу “Математические задачи электроэнергетики”, ч.1. – Вінниця: ВПИ. – 1983. – с. 25-37.

4. Ющенко Е.Л. и др. Фортран. – Киев: Вища школа. – 1989. – с. 188, 196, 144-165.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СИСТЕМИ ЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ МЕТОДОМ ГАУСА

Метою даної роботи є дослідження методу Гауса стосовно розв'язування рівнянь стану електричної мережі.

3.1 Завдання

1. Ознайомитись з математичними проблемами розв'язання систем рівнянь стану електричної мережі.

2. Вивчити алгоритм методу Гауса – зі зворотним ходом і без зворотного ходу.

3. Ознайомитись із стандартними підпрограмами, в яких реалізується метод Гауса.

4. Записати файл даних для свого варіанта з заданим та зміненим базисним вузлом.

3.2 Порядок роботи

1. Для заданого варіанта завдання створити файл початкових даних.

2. Зробити розрахунки за методом Гауса.

3. Поміняти базисний вузол і записати, новий файл початкових даних.

4. Повторити розрахунки за методом Гауса.

5. Результати розрахунків записати у звіт лабораторної роботи.

6. Проаналізувати результати і скласти звіт.

3.3 Зміст звіту

1. Описати мету і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Алгоритм програми.
3. Результати досліджень.
4. Порівняльний аналіз результатів досліджень.
5. Висновки.

3.4 Короткі відомості

Метод Гауса називають точним методом розв'язання системи лінійних рівнянь, оскільки при відсутності обчислювальних помилок він приводить до точного розв'язку після кінцевої кількості арифметичних операцій. Суть його зводиться до послідовного виключення невідомих з системи рівнянь. Блок-схема методу Гауса подана на рисунку 3.1.

Розглянемо систему рівнянь

$$\begin{cases} a_{11}^0 x_1 + a_{12}^0 x_2 + a_{13}^0 x_3 + \dots + a_{1n}^0 x_n = b_1^0; \\ a_{21}^0 x_2 + a_{22}^0 x_3 + \dots + a_{2n}^0 x_n = b_2^0; \\ a_{31}^0 x_2 + a_{32}^0 x_3 + \dots + a_{3n}^0 x_n = b_3^0; \\ \dots; \\ a_{n1}^0 x_2 + a_{n2}^0 x_3 + \dots + a_{nn}^0 x_n = a_n^0, \end{cases} \quad (3.1)$$

де $a_{11}^0 \neq 0$.

Виключимо з усіх рівнянь, крім першого, невідоме x_1 . Для цього виконаємо послідовно такі дії:

1. Помножимо перше рівняння в (3.1) на $a_{21}^0 a_{11}^0$;
2. Віднімемо з другого рівняння в (3.1) знайдене;
3. Помножимо перше рівняння в (3.1) на $a_{31}^0 a_{11}^0$;
4. Віднімемо з третього рівняння в (3.1) знайдене і так далі.

В результаті отримаємо систему:

$$\begin{cases} a_{011}^0 x_1 + a_{12}^0 x_2 + a_{13}^0 x_3 + \dots + a_{1n}^0 x_n = b_1^0; \\ a_{22}^1 x_2 + a_{23}^1 x_3 + \dots + a_{2n}^1 x_n = b_2^1; \\ a_{32}^1 x_2 + a_{33}^1 x_3 + \dots + a_{3n}^1 x_n = b_3^1; \\ \dots; \\ a_{n2}^1 x_2 + a_{n3}^1 x_3 + \dots + a_{nn}^1 x_n = b_n^1. \end{cases} \quad (3.2)$$

Розглянемо тепер систему (3.2) і точно таким же чином виключимо з нього x_2 .

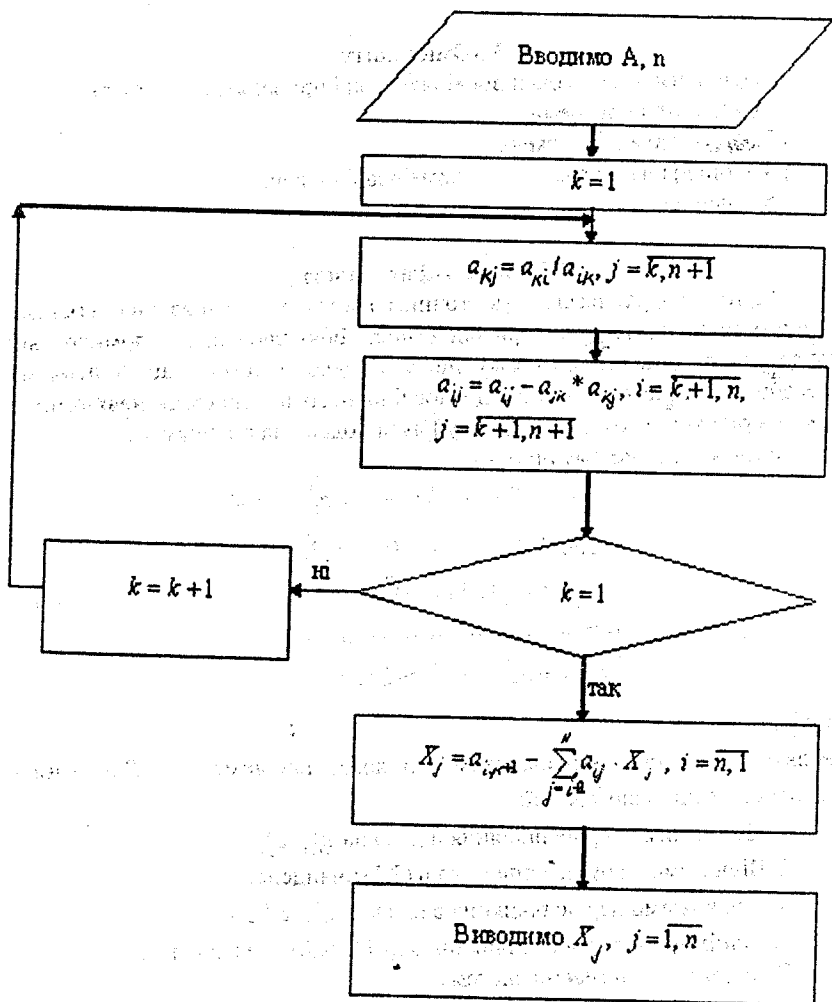


Рисунок 3.1 — Блок-схема метода Гауса

В результаті отримаємо

$$\begin{cases} a_{11}^0 x_1 + a_{12}^0 x_2 + a_{13}^0 x_3 + \dots + a_{1n}^0 x_n = b_1^0; \\ a_{22}^1 x_2 + a_{23}^1 x_3 + \dots + a_{2n}^1 x_n = b_2^1; \\ a_{33}^2 x_3 + \dots + a_{3n}^2 x_n = b_3^2; \\ \dots; \\ a_{n3}^2 x_3 + \dots + a_{nn}^2 x_n = b_n^2. \end{cases}$$

електроенергетики // Под редакцией В.А. Веникова. - М.: Высшая школа, 1981.

3. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. - М.: Наука, 1987.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 **РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СИСТЕМИ ЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ МЕТОДОМ** **ПРОСТОЇ ІТЕРАЦІЇ ТА МЕТОДОМ ЗЕЙДЕЛЯ**

Метою даної лабораторної роботи є дослідження методу простої ітерації та методу Зейделя стосовно розв'язування рівнянь стану електричної мережі.

4.1 Завдання

1. Ознайомитися з математичними проблемами розв'язування системи лінійних рівнянь ітераційними методами - методом простої ітерації та методом Зейделя.
2. Вивчити алгоритми даних методів.
3. Ознайомитись з підпрограмами, які реалізують дані методи.
4. Використовуючи файли початкових даних з лабораторної роботи № 1, зробити розрахунки ітераційними методами.
5. Вивчити переваги та недоліки методу простої ітерації та методу Зейделя.

4.2 Порядок роботи

1. Перевірити файл початкових даних згідно з заданим варіантом.
2. Зробити розрахунки за методом простої ітерації та методом Зейделя.
3. Поміняти базисний вузол і записати новий файл початкових даних.
4. Повторити розрахунки.
5. Результати розрахунків записати у звіт.
6. Проаналізувати результати і скласти звіт.

4.3 Зміст звіту

1. Описати мету і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Записати алгоритм одного з методів.
3. Результати досліджень.
4. Порівняльний аналіз результатів досліджень.
5. Висновки.

4.4 Короткі відомості

Розглянемо визначення норм матриць в просторі векторів та матриць. Якщо в просторі векторів $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ введена норма $\|x\|$, то узгодженою з нею нормою в просторі матриць A є норма

$$\|A\| = \sup_{x \neq 0} \frac{\|Ax\|}{\|x\|}$$

Розглянемо норми вектора x :

$$\|x\|_1 = \max_{1 \leq i \leq n} |x_i|$$

$$\|x\|_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^n |x_j|^2}$$

$$\|x\|_3 = \sqrt{\sum_{i=1}^n |x_i|^3} = \sqrt{(x, x)}$$

де (x, x) – скалярний добуток векторів x та x .

Узгоджені з ними норми матриці такі:

$$\|A\|_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}| \quad (4.1)$$

$$\|A\|_2 = \sqrt{\lambda_{\max}(A^*A)}$$

$$\|A\|_3 = \sqrt{\lambda_{\max}(A^*A)^{3/2}} \quad (4.2)$$

де $D = A \cdot A$, λ_D^i – власні значення матриці D ; A^* – матриця, спряжена з матрицею A .

Найпростіший ітераційний метод для розв'язування лінійних рівнянь (в матричному вигляді $A \cdot x = D$) є метод простої ітерації. Систему рівнянь приводять до виду:

$$x = Bx + e, \quad (4.3)$$

де $B = [b_{ij}]_n^n$; $b_{ij} = -a_{ij} / a_{jj}$; $i, j = \overline{1, n}$.

$$b_{ii} = 0 \quad e_i = d / a_{ii} \quad (4.4)$$

Ітераційний процес запишеться в такому вигляді:

$$x^{k+1} = Bx^k + e, k = 0, 1, 2, \dots \quad (4.5)$$

Для збіжності методу простих ітерацій при будь-якому початковому наближенні x^0 ітераційного процесу (4.5), необхідно і достатньо, щоб всі власні значення матриці B були за абсолютною величиною менші за одиницю.

Оскільки ця умова пов'язана з необхідністю розв'язування рівняння $|B - \lambda E| = 0$, то в загальному випадку це призводить до значних обчислень (4). На практиці використовують більш зручну достатню ознаку збіжності, яка пов'язана з поняттям норми матриці.

Достатньою умовою збіжності методу простої ітерації є умова: якщо $\|B\| < 1$, то система рівнянь (4.3) має єдиний розв'язок і ітераційний процес (4.5) сходиться.

Алгоритм методу простої ітерації

1. Обчислюємо елементи матриці B і вектора e за (4.4)
2. Обчислюємо $\|B\|_1$, позначивши

$$c_i = \sum_{j=1}^n |b_{ij}|, i = \overline{1, n}$$

$\|B\| = c = \max_{1 \leq i \leq n} c_i$. Якщо $C < 1$, то ітераційний процес сходиться.

3. За початкове наближення x^0 обираємо вектор e : $x^0 = e$.
Позначимо

$$\delta^k = x^k - e.$$

Розв'язуємо систему рівнянь $\delta^k = Bx^k$. Тоді $x^{k+1} = \delta^k + x^0$

4. Обчислюємо кількість ітерацій для отримання необхідної точності Δ розв'язку:

$$\frac{\|B\|_1^{k+1}}{1 - \|B\|_1} \|e\|_1 = \frac{c^{k+1}}{1-c} \|e\|_1 \leq \Delta$$

звідки $(k+1) \lg c \leq \lg \Delta - \lg \|e\|_1 + \lg(1-c)$

$$k > \frac{1}{\lg c} [\lg \|e\|_1 - \lg(\Delta(1-c))] - 1. \quad (4.6)$$

5. Реалізуємо, згідно з обчисленим K , кількість ітерацій.

Ітераційний метод Зейделя відрізняється від методу простої ітерації тим, що на $k+1$ ітерації при обчисленні i -ї компоненти вектора x^k використовуються значення $x_1^{k+1}, x_2^{k+1}, \dots, x_{i-1}^{k+1}$, обчислені на цій ітерації.

Ітераційний процес Зейделя має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1^{k+1} = \sum_{j=2}^n b_{1,j} x_j^k + e_1; \\ x_2^{k+1} = b_{2,1} x_1^{k+1} + \sum_{j=3}^n b_{2,j} x_j^k + e_2; \\ \dots \\ x_n^{k+1} = \sum_{j=1}^{n-1} b_{n,j} x_j^{k+1} + e_n. \end{array} \right. \quad (4.7)$$

В матричному вигляді система рівнянь (4.8) має вигляд:

$$x^{k+1} = Cx^{k+1} + Dx^k + e, \quad (4.8)$$

$$\text{де } C = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ b_{2,1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ b_{3,1} & b_{3,2} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n,1} & b_{n,2} & \dots & b_{n,n-1} & 0 \end{pmatrix}, D = \begin{pmatrix} 0 & b_{1,2} & b_{1,2} & \dots & b_{1,n-1} & b_{1,n} \\ 0 & 0 & b_{2,3} & \dots & b_{2,n-1} & b_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & b_{n-1,n} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Для збіжності методу Зейделя необхідно і достатньо, щоб усі власні значення матриці $[D+(C-E)\lambda]$ були за модулем менші за одиницю. Рівняння $|D+(C-E)\lambda|=0$ еквівалентне рівнянню

$$\begin{aligned} & |a_{1,1}\lambda| a_{1,2} a_{1,3} \dots a_{1,n} \\ & a_{2,1} \lambda a_{2,2} \lambda a_{2,3} \dots a_{2,n} \\ & \dots \\ & a_{n,1} \lambda a_{n,2} \lambda a_{n,3} \lambda \dots a_{n,n} \lambda \end{aligned} = 0. \quad (4.9)$$

Оскільки умови збіжності методу простої ітерації пов'язані з розв'язком рівняння $|B-\lambda E|=0$, а умови збіжності методу Зейделя – з розв'язком (4.9), то області збіжності методу простої ітерації та методу Зейделя різні. Тобто, може статися, що для деяких систем метод Зейделя сходиться, а метод простої ітерації розходиться, і навпаки.

Для того, щоб не розв'язувати систему рівнянь (4.9), використаємо достатні умови збіжності методу Зейделя.

Припустимо, що при всіх і виконуються умови

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{i,j}| \leq q |a_{i,i}|, i = \overline{1, n}, q < 1. \quad (4.10)$$

Тоді

$$\|x^{k+1} - x^*\|_1 \leq q \|x^k - x^*\|_1.$$

Обчислювальна схема методу Зейделя

Для реалізації методу Зейделя необхідно:

1. Перевірити виконання (4.10). Якщо воно виконується для всіх i , то обчислюємо елементи матриці B за (4.11):

$$b_{i,j} = -a_{i,j}/a_{i,i}; i, j = \overline{1, n}; b_{i,i} = 0; e_i = d_i/a_{i,i}.$$

2. Обчислюємо норму матриці B :

$$\|B\|_1 = \max_{1 \leq i \leq n} |c_i| = C; c_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |b_{i,j}|.$$

3. Обираємо за початкове наближення $x^0 = e$. Визначаємо необхідну кількість ітерацій для певної точності за (4.6).

4. Представляємо ітераційний процес (4.8) у вигляді

$$\delta_i^k = \sum_{j=1}^{i-1} b_{i,j} x_j^{k+1} + \sum_{j=i+1}^n b_{i,j} x_j^k; \quad z = \frac{1}{2, n}; \quad x_i^{k+1} = \delta_i^k + e_i;$$

$$\delta_1^k = \sum_{j=2}^n b_{1,j} x_j^k; \quad x_1^{k+1} = \delta_1^k + e_1$$

і реалізуємо його k разів.

4.5 Запитання для самоперевірки

1. Сформулюйте необхідні та достатні умови для розв'язання системи лінійних рівнянь методом простої ітерації та методом Зейделя.
2. Що таке норма матриці і як вона впливає на ітерційні методи?
3. Як впливає домінування головних елементів матриці на збіжність методу простої ітерації та методу Зейделя?
4. Як задати в програмі кінець ітераційного процесу?

4.6 Рекомендована література

1. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики. - Львів: Видавниче об'єднання Вища школа, 1989.
2. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики // Под редакцией В.А.Веникова. - М.: Высшая школа, 1981.
3. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. - М.: Наука, 1987.
4. Численные методы в инженерных исследованиях. В.Е. Краскевич, К.Х. Зелинский, В.И. Гречко. - К.: Высшая школа. Головное изд-во, 1986.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

РОЗРАХУНОК УСТАЛЕНОГО РЕЖИМУ МЕТОДОМ НЬЮТОНА

Метою даної лабораторної роботи є моделювання параметрів та розрахунок усталеного режиму електроенергетичної системи методом Ньютона.

5.1 Завдання

1. Ознайомитись з математичними проблемами розв'язування системи нелінійних рівнянь методом Ньютона.
2. Вивчити алгоритм методу Ньютона.
3. Ознайомитись з різними модифікаціями методу Ньютона.
4. Записати файл даних для свого варіанта з заданим та змінним базисним вузлом.

5.2 Порядок роботи

1. Для заданого варіанта завдання створити файл початкових даних.
2. Зробити розрахунки усталеного режиму методом Ньютона.
3. Поміняти базисний вузол і записати новий файл початкових даних.
4. Повторити розрахунки.
5. Результати розрахунків записати в звіт.
6. Проаналізувати результати і скласти звіт.

5.3 Зміст звіту

1. Описати мету і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Алгоритм програми.
3. Результати досліджень.
4. Порівняти результати досліджень і зробити аналіз.
5. Зробити висновки по роботі.

5.4 Короткі відомості

Рівняння усталеного режиму електричної системи трифазного змінного струму, яке пов'язує потужності, струми і напруги в вузлах, що задаються, при відсутності ЕРС в вітках має вигляд:

$$S_y = 3 \cdot U_\delta \cdot I, \quad (5.1)$$

$$Y_y \cdot (U - U_\delta) = 3 \cdot I, \quad (5.2)$$

де S_y - стовпець потужностей (джерела або споживача) вузлів схеми заміщення системи; $U_\delta = \text{diag}(U_1)$ - діагональна матриця напруг у вузлах схеми заміщення; U - стовпець напруг у вузлах схеми; $U_\delta = U_{\delta 12}$ - стовпець, кожний елемент якого дорівнює напрузі в балансуєчому вузлі ($U - U_\delta = U_\Delta$); I - стовпець струмів у вузлах, що задаються.

В рівнянні (5.1) потужність трифазного кола визначають лінійним значенням напруги і фазні струми. Система нелінійних (5.1) та лінійних (5.2) рівнянь при заданих потужностях вузлів в загальному випадку може бути розв'язана тільки ітераційним методом, наприклад, методом Ньютона. В основі методу Ньютона лежить лінеаризація нелінійного рівняння.

Розглянемо спочатку метод Ньютона для скалярних рівнянь, а потім для векторних.

Для аналізу використовуємо нелінійне рівняння

$$f(x) = 0. \quad (5.3)$$

Щоб природно підійти до ітерацій Ньютона, проведемо деякі допоміжні міркування. А саме, коли $f(x) \in c^2[a, b]$, $x \in [a, b]$ - точний розв'язок (5.3),

$$f(\bar{x}) = 0.$$

За формулою Тейлора отримаємо

$$f(\bar{x}) = f(x) + \frac{f'(x)}{1!}(\bar{x} - x) + \frac{f''(\xi)}{2!}(\bar{x} - x)^2, \quad (5.4)$$

де x – довільна інша точка з координатами $[a, b]$; $\xi \in (x, \bar{x})$ – деяка середня точка.

Очевидно, що в малій околиці точного рішення \bar{x} залишковий член формули (5.4) має другий порядок малості по $\bar{x} - x$, тому приблизно можна вважати, що

$$f(x) + f'(x)(\bar{x} - x) = 0. \quad (5.5)$$

Тоді значення x

$$\bar{x} = x - \frac{f(x)}{f'(x)}. \quad (5.6)$$

Звідки

$$x_n = x_{n-1} - \frac{f(x_{n-1})}{f'(x_{n-1})}, \quad n = 1, 2, \dots \quad (5.7)$$

Дана ітерація і складає основу методу Ньютона для приблизного розв'язку рівняння (5.3).

Для подальшого розв'язування припустимо, що на відрізку $[a, b]$

$f(x) = 0$. Тоді будуть справедливими нерівності

$$\left| \frac{1}{f'(x)} \right| \leq M_1, \quad (5.8)$$

$$\left| f''(x) \right| \leq M_2. \quad (5.9)$$

Очевидним є те, що існує число $\delta > 0$ таке, що для будь-якого x_0 , задовольняючого нерівність $|x - x_0| < \delta$, ітераційний процес Ньютона

сходиться до точного рішення \bar{x} . При цьому справедлива така оцінка швидкості сходження

$$|x - x_n| \leq \frac{1}{c} c(x - x_0)^2, \quad (5.10)$$

де $c = \frac{1}{2} M_1 M_2$.

За визначенням ітерацій Ньютона (5.7) маємо

$$0 = f(x_{n-1}) + f'(x_{n-1})(x_n - x_{n-1}), \quad (5.11)$$

якщо $x = x_{n-1}$, то вираз (5.4) отримасмо у такому вигляді

$$0 = f(x_{n-1}) + f'(x_{n-1})(\bar{x} - x_{n-1}) + \frac{1}{2} f''(\xi)(\bar{x} - x_{n-1})^2 \quad (5.12)$$

де $\xi \in (x_{n-1}, \bar{x})$ - середня точка.

Віднімаючи з рівняння (5.12) рівняння (5.11), отримасмо

$$0 = f'(x_{n-1})(\bar{x} - x_n) + \frac{1}{2} f''(\xi)(\bar{x} - x_{n-1})^2. \quad (5.13)$$

Звідки

$$|\bar{x} - x_n| \leq \frac{1}{2} \frac{|f''(\xi)|}{|f'(x_{n-1})|} (\bar{x} - x_{n-1})^2 \leq c(\bar{x} - x_{n-1})^2 \quad (5.14)$$

або

$$q_n \leq q_{n-1}^2, \quad (5.15)$$

де $q_n = c|\bar{x} - x_n|$.

Послідовно використовуючи (5.15), отримуємо

$$q_n \leq q_{n-1}^2 \leq q_{n-2}^2 \leq \dots \leq q_0^{2^n}, \quad (5.16)$$

$$|\bar{x} - x_n| \leq c(\bar{x} - x_0) \cdot 2^{-n}. \quad (5.17)$$

Це і є оцінка. Вона показує, якщо x_0 вибране за умови

$$c|\bar{x} - x_0| = \theta < 1, \quad (5.18)$$

то метод Ньютона сходиться, причому

$$|\bar{x} - x_n| \leq \frac{1}{c} \theta^{2^n}, \quad n=1, 2, \dots \quad (5.19)$$

Нерівність (5.18) визначає ту точність δ довкола точки \bar{x} , з якої необхідно вибирати початкове наближення x_0 . Очевидно, можна

стверджувати, що $\delta < \frac{1}{c}$.

Оцінка (5.19) показує, що при успішному виборі x_0 ітерації x_n сходяться до точного рішення \bar{x} дуже швидко. Метод Ньютона є таким, що швидко сходиться ітераційним методом. Це дає йому перевагу над іншими методами.

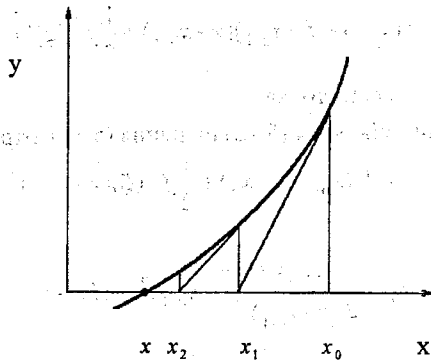


Рисунок 5.1 - Метод Ньютона

Метод Ньютона ще називають *методом дотичних*. Це пояснюється тим, що з геометричної точки зору наближення x_n є точка перетину з віссю x дотичної прямої, проведеної до графіка $y=f(x)$ в точці $M_{n-1}(x_{n-1}, f(x_{n-1}))$ (рис. 5.1).

Необхідно підкреслити, що метод Ньютона має значу чутливість до вибору початкового наближення. При невдалому виборі метод розходиться або дає цикли, які розходяться (рис. 5.2)

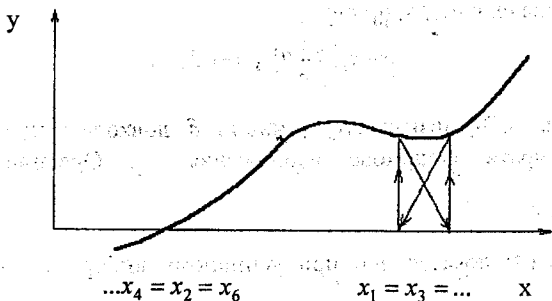


Рисунок 5.2 - Метод Ньютона розходиться

Для ілюстрації даного методу розглянемо систему рівнянь

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2) = 0 \\ f_2(x_1, x_2) = 0 \end{cases} \quad (5.20)$$

Для отримання ітерацій методу Ньютона поступимо по аналогії, як і для одного розв'язування рівняння. Тобто, вважаємо, що (\bar{x}_1, \bar{x}_2) – точний розв'язок системи (5.20).

Запишемо $f_1(x_1, x_2)$ і $f_2(x_1, x_2)$ в ряд Тейлора

$$0 = f_1(x_1, x_2) = f_1(x_1, x_2) + \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(x_1, x_2)(x_1 - x_1) + \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(x_1, x_2)(x_2 - x_2), \quad (5.21)$$

$$0 = f_2(x_1, x_2) = f_2(x_1, x_2) + \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(x_1, x_2)(x_1 - x_1) + \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(x_1, x_2)(x_2 - x_2). \quad (5.22)$$

Точний розв'язок $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2)$ визначається через приблизний розв'язок $x = (x_1, x_2)$, як розв'язок системи лінійних рівнянь.

Це призводить до визначення приблизного розв'язку $x^{(n)} = (x_1^{(n)}, x_2^{(n)})$ по наближенню $x^{(n-1)} = (x_1^{(n-1)}, x_2^{(n-1)})$ як розв'язок системи лінійних рівнянь відносно x_1^n, x_2^n

$$\begin{cases} f_1(x_1^{(n-1)}, x_2^{(n-1)}) + \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(x_1^{(n-1)}, x_2^{(n-1)})(x_1^{(n)} - x_1^{(n-1)}) + \\ + \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(x_1^{(n-1)}, x_2^{(n-1)})(x_2^{(n)} - x_2^{(n-1)}) = 0 \\ f_2(x_1^{(n-1)}, x_2^{(n-1)}) + \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(x_1^{(n-1)}, x_2^{(n-1)})(x_1^{(n)} - x_1^{(n-1)}) + \\ + \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(x_1^{(n-1)}, x_2^{(n-1)})(x_2^{(n)} - x_2^{(n-1)}) = 0 \end{cases}$$

Якщо початкове наближення $x^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)})$ вибрано вдало, то послідовність $x^{(n)}$ знаходиться при $n \rightarrow \infty$ до точного рішення. Таким же чином можна довести теорему, аналогічно тій, що була доведена для одного рівняння вище.

5.5 Запитання для самоперевірки

1. Дати порівняльну характеристику методів розрахунків усталеного режиму ЕЕС.
2. Сформулювати типи задач, які доцільно розв'язувати за методом Ньютона.
3. Як впливає вибір початкових умов на збіжність методу Ньютона?

4. Чому метод Ньютона називають методом дотичних?

5. Чому при розрахунках методом Ньютона доцільним є врахування слабкої заповненості матриці коефіцієнтів?

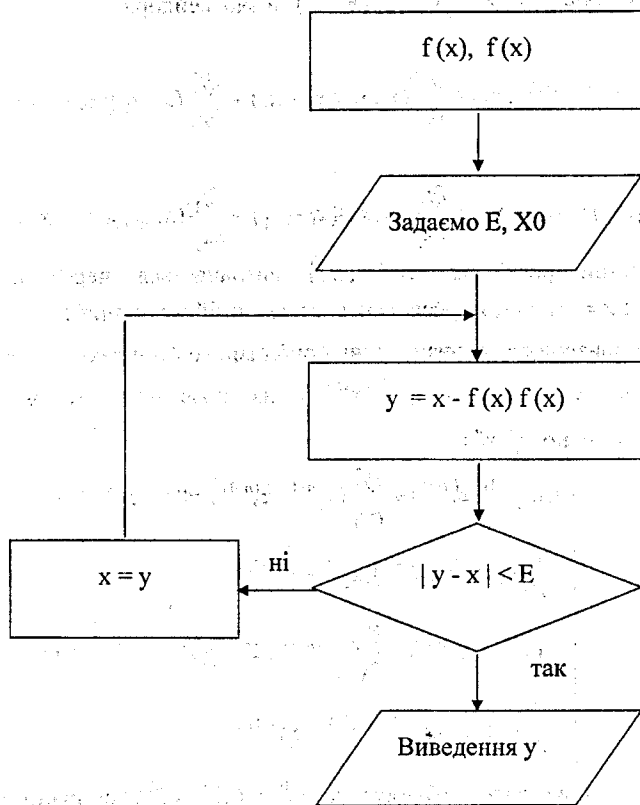


Рисунок 5.3 – Блок-схема методу Ньютона

5.6 Рекомендована література

1. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики: - Львів: Виробниче об'єднання Вища школа. – 1989.

2. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики // Под редакцией В.А. Веникова – 2-е изд. – М. : Высш. школа, 1981.

3. Боглаев Ю.П. Вычислительная математика и программирование. – М.: Высш. школа, 1990.

4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ЗА НАПРУГОЮ ТА РЕАКТИВНОЮ ПОТУЖНІСТЮ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Метою даної роботи є розрахунок оптимальних за напругою та реактивною потужністю режимів електричної мережі.

6.1 Завдання

1. Ознайомитись з елементами теорії оптимальних розрахунків режимів електричної мережі.
2. Вивчити можливості програм Б-2-600, OPTQU.
3. Внести інформацію про задану схему в EOM і отримати результати розрахунків.
4. Дослідити, як змінюються втрати потужності в порівнянні з розрахунками усталеного режиму.

6.2 Порядок роботи

1. Для заданої схеми заміщення мережі створити окремий файл початкових даних (присвоїти файлу ім'я, яке складається з перших двох букв свого прізвища).
2. Визвати програму OPTQU і зробити розрахунок оптимального режиму електричної мережі.
3. Проаналізувати отримані результати.
4. Поміняти довільно нумерацію вузлів і повторити п.п. 1-4 (рекомендується робити це, попередньо скопіювавши файл даних).
5. Поміняти базисний вузол і повторити п.п. 1-4.
6. Скласти звіт про роботу.

6.3 Зміст звіту

1. Описати мету і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Створити файл початкових даних.
3. Алгоритми програм, які використовуються в роботі. Короткі відомості про них.
4. Результати досліджень.
5. Проаналізувати отримані результати.
6. Висновки.

6.4 Короткі відомості

Задачею оптимального розподілу потужностей є досягнення мінімуму сумарних надлишків на електричних станціях енергосистеми. Її рішення в повному об'ємі викликає суттєві ускладнення як обчислювального характеру, так і інформаційного забезпечення. Тому при

розв'язанні задачі оптимального розподілу потужностей використовують декомпозицію. В припущенні, що навантаження не залежать від напруг, на першому етапі визначають найвигідніший розподіл активних потужностей електричних станцій. На другому етапі проводиться оптимізація режиму електричної мережі за напругами, реактивними потужностями і коефіцієнтами трансформації.

Оскільки генерація реактивної потужності впливає головним чином на режим напруг і потокорозподіл, то критерієм оптимальності на другому етапі є втрати активної потужності. Мінімізуючи втрати активної потужності, можна знизити і витрати палива електричних станцій системи.

Постановка питання про ізольований розподіл окремо активних та окремо реактивних потужностей можлива при таких припущеннях:

1) припускається, що генерація реактивної потужності не зв'язана з якими-небудь витратами. Тоді єдиною метою оптимального розподілу реактивних потужностей може бути зниження втрат активної потужності в мережах;

2) вважають, що активні потужності станцій та навантажень задані і незмінні. Це припущення є наближенням тому, що зміна втрат в мережах потребує зміни активної потужності якої-небудь станції.

Для більшості оптимізаційних розрахунків при названих припущеннях задача оптимізації режиму електричної мережі за напругою та реактивною потужністю запишеться таким чином:

мінімізувати втрати активної потужності

$$\Delta P(Q_s, U_i, k_i) \Rightarrow \min, \quad (6.1)$$

при обмеженнях:

- за балансними рівняннями навантажень, потужностей джерел живлення та втрат:

$$\left. \begin{aligned} w_p &= \sum_{i=1}^m P_{\mu} + \Delta P - \sum_{s=1}^s P_s = 0; \\ w_Q &= \sum_{i=1}^m Q_{\mu} + \Delta Q - \sum_{s=1}^s Q_s = 0; \end{aligned} \right\} \quad (6.2)$$

- за напругами в вузлах (в тому числі таких, які не мають власних джерел регулювання напруги):

$$U_{i\min} \leq U_i \leq U_{i\max}; \quad (6.3)$$

- за реактивними потужностями джерел:

$$Q_{s\min} \leq Q_s \leq Q_{s\max}; \quad (6.4)$$

- за коефіцієнтами трансформації трансформаторів, що регулюються

$$k_{i\min} \leq k_i \leq k_{i\max}. \quad (6.5)$$

У випадку комплексних коефіцієнтів трансформації обмеження накладаються на зміни дійсних та уявних складових.

Тут і надалі використані такі позначення: $s = \overline{I, S}$ - поточний індекс

електростанції (ДРП); $t = \overline{1, T}$ - поточний індекс трансформатора; $s = \overline{1, m}$ - поточний індекс вузла розрахункової схеми; S - кількість електричних станцій (враховуючи ДРП); m - кількість вузлів розрахункової схеми без балансувального.

Задача (6.1)-(6.5) - це нелінійна задача математичного програмування і розв'язується вона звичайно числовими методами.

Для розрахунків оптимального за напругою та реактивною потужністю режиму електричної мережі застосовуємо програму Б-2-600.

Програма Б-2-600 розроблена об'єднаною лабораторією режимів енергосистем ВНПЕ - ОЦ ГТУ і призначена для розрахунку усталеного режиму електричної мережі з оптимізацією його за напругою, реактивною потужністю джерел та коефіцієнтами трансформації, а також для дооптимізації миттєвого режиму енергосистеми за всіма змінними.

Програма Б-2-600 базується на ітераційному процесі, в кожному циклі якого проводиться розрахунок усталеного режиму без врахування обмежень і виконується крок оптимізації. Розрахунок усталеного режиму виконується за програмою Б-2-600 методом Ньютона. Обмеження в формі нерівностей при оптимізації враховуються за допомогою штрафних функцій з застосуванням "зсуву" меж. Крок оптимізації виконується модифікованим градієнтним методом з вибором особистих градієнтних множників.

Для підвищення надійності розрахунків та покращення збіжності ітераційного процесу прийнято розподіл генераторних вузлів на опорні та неопорні.

Системи лінійних алгебраїчних рівнянь, отримані в розрахунках усталеного режиму і в розрахунку похідних, розв'язуються методом Гаусса з використанням впорядкованого виключення змінних.

Цільова функція має вигляд:
мінімізувати

$$F = \Delta P(Q_s, U, k_t) + \sum_{s=1}^s \Pi Q_s + \sum_{s=1}^s \Pi U_s + \sum_{i=1}^m \Pi U_i + \sum_{i=1}^L \Pi \Pi \quad (6.6)$$

за умов балансу потужностей в вузлах

$$\left. \begin{aligned} P_{i\mu} &= P_i(U, \delta, k) - P_{Si} = 0, \quad i = \overline{1, m}; \\ Q_{i\mu} &= Q_i(U, \delta, k) - Q_{Si} = 0, \quad i = \overline{1, m}; \end{aligned} \right\} \quad (6.7)$$

і виконанні режимних та технічних обмежень в формі нерівностей

$$\left. \begin{aligned} Q_{s\min} &\leq Q_s(U, \delta, k) \leq Q_{s\max}, \quad s = \overline{1, s}; \\ I_{l\min} &\leq I_l \leq I_{l\max}, \quad l = \overline{1, L}; \\ U_{i\min} &\leq U_i \leq U_{i\max}, \quad i = \overline{1, m}; \\ k_{t\min} &\leq k_t \leq k_{t\max}, \quad t = \overline{1, T}. \end{aligned} \right\} \quad (6.8)$$

Якщо в мережі є трансформатори з поздовжньо-поперечним

регулюванням напруги, то задаються обмеження на зміну їх дійсних та уявних складових.

В (6.6)-(6.8) $\Delta P(Q_s, U_i, k_i)$ - сумарні втрати; $Ш_Q, Ш_{U_s}, Ш_{U_i}, Ш_{II}$ - штрафи при порушенні обмежень за реактивною потужністю, напругою в генераторних і навантажувальних вузлах, за струмом в лініях, що контролюються; L - число ліній, що контролюється.

Як незалежні параметри, що визначають режим електричної мережі, вибрано:

- реактивні потужності в усіх неопорних вузлах;
- коефіцієнти трансформації трансформаторів з РПН, в тому числі із поздовжньо-поперечним регулюванням напруги;
- напруга в опорних генераторних вузлах.

Спрощена блок-схема розв'язування задачі (6.6)-(6.8) за програмою Б-2-600 зображена на рис. 6.1.

Використана методика розв'язування вказаної задачі передбачає в кожному циклі оптимізації виконання:

а) розрахунку усталеного режиму електричної мережі при відомих значеннях параметрів, що регулюються;

б) кроку оптимізації, в якому проходить зміна значень параметрів, що регулюються, які є незалежними змінними при оптимізації режиму.

Розрахунок усталеного режиму проводиться з урахуванням умов у вигляді рівнянь (6.7). Виконання умов (6.8), а також мінімізація втрат переносяться на етап оптимізації режиму.

Ознакою закінчення розрахунку є або мала кількість складових вектор-градієнта, або задане число ітерацій (типове значення 35).

Граничний об'єм задачі, що розв'язується, такий як і для програми Б-6-200.

Проведемо розрахунок оптимального за напругою і реактивною потужністю режиму електричної мережі за програмою ОРТQU.

Програма ОРТQU розроблена на кафедрі "Електричні системи" ВДТУ. На відміну від відомих програм [2, 3], які використовують чисельні методи оптимізації, програма ОРТQU базується на моделюванні оптимізаційного процесу тепловою функцією Максвелла і критеріальному методі.

При розв'язуванні на ЕОМ задачі (6.1)-(6.5) числовими методами спостерігається повільна збіжність ітераційних процесів і потребує великих затрат оперативної пам'яті. Вказаних проблем можна уникнути, якщо процес оптимізації функції (6.1) при обмеженнях (6.4) замінити прямим розрахунком її мінімального значення за допомогою R-схеми (схеми заміщення мережі, складеної лише з активних її опорів). Ще Д.Максвел встановив, що в будь-якому електричному колі, яке має в собі активні опори і джерела струму, розподіл струмів завжди такий, що теплова функція [3]

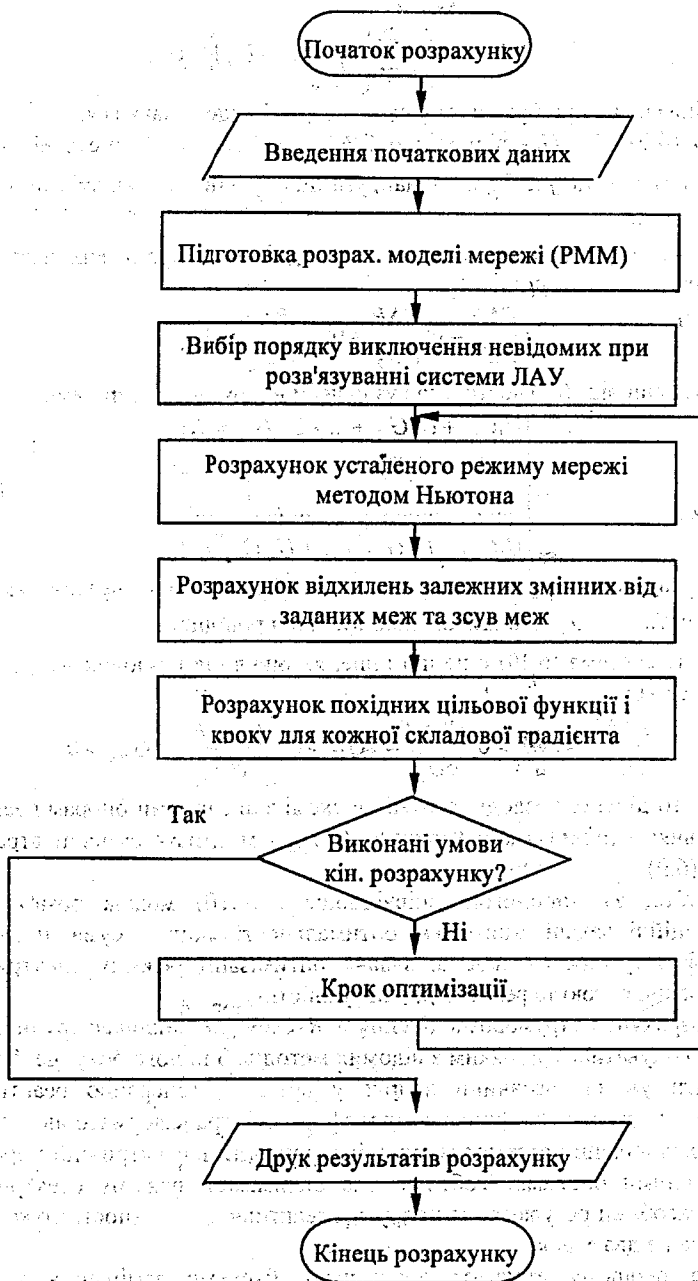


Рисунок 6.1 - Спрощена блок-схема програми оптимізації режиму електричної мережі Б-2-600

$$\Delta P = 0,5 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m [E_{ij} - (U_i - U_j)]^2 \cdot G_{ij} \quad (6.9)$$

буде мінімальна при будь-якому складі струмів, що задаються.

В (6.9) E_{ij} , G_{ij} - відповідно ЕРС і активна провідність вітки, яка з'єднує вузли i та j ; U_i , U_j - напруга цих вузлів; m - кількість вузлів в мережі.

Дійсно, умовою екстремуму (6.9) є рівність нулю всіх частинних похідних

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial U_1} = 0; \frac{\partial \Delta P}{\partial U_2} = 0; \dots; \frac{\partial \Delta P}{\partial U_m} = 0.$$

Взявши від (6.9) похідні за вузловими напругами, одержимо

$$\begin{cases} U_1 G_{11} + U_2 G_{12} + \dots + U_m G_{1m} = I_1; \\ U_1 G_{21} + U_2 G_{22} + \dots + U_m G_{2m} = I_2; \\ \dots; \\ U_1 G_{m1} + U_2 G_{m2} + \dots + U_m G_{mm} = I_m, \end{cases} \quad (6.10)$$

де I_i - вузлові струми, що задаються; G_{ii} - власні вузлові активні провідності; G_{ij} - взаємні активні вузлові провідності.

Але система (6.10) є не що інше, як рівняння вузлових напруг. Так як другі похідні

$$\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial U_1^2} = 2G_{11} > 0; \frac{\partial^2 \Delta P}{\partial U_2^2} = 2G_{22} > 0; \dots; \frac{\partial^2 \Delta P}{\partial U_m^2} = 2G_{mm} > 0$$

додатні, то дійсно, розподіл струмів у схемі з активними опорами завжди задовольняє перший закон Кірхгофа (6.10) і мінімізує сумарні втрати в мережі (6.9).

Тобто, за допомогою співвідношень (6.10) можна розв'язувати оптимізаційні задачі, критерієм оптимальності яких є сумарні втрати активної потужності, зокрема, задачу оптимізації режиму електричної мережі за напругою та реактивною потужністю.

Розрахунок струморозподілення в R -схемі не викликає труднощів і може виконуватись будь-яким з відомих методів. З іншого боку, необхідно визначити умови (величини напруг у вузлах і генерацію реактивної потужності джерел, коефіцієнти трансформації трансформаторів з РПН) при яких знайдений струморозподіл буде існувати в електричній мережі з комплексними опорами. Тобто задача оптимізації режиму електричної мережі засобами регулювання напруги і реактивної потужності може бути розділена на два етапи.

На першому етапі за допомогою R -схеми заміщення мережі визначається струморозподіл, що називається *економічним*, який забезпечує мінімум втрат активної потужності при заданому складі

навантаження.

На другому етапі обчислюються параметри регулювальних пристроїв, а саме - як коефіцієнти трансформації трансформаторів, величина навантажень джерел реактивної потужності, які забезпечують в реальній неоднорідній електричній мережі економічний або найбільш близький до нього потекорозподіл.

В умовах експлуатації ЕЕС економічний режим не може бути використаний через дискретність та обмеженість діапазонів зміни параметрів регулювальних пристроїв. Введення терміну "економічний режим" дозволяє отримати еталонне рішення в частині мінімально можливих втрат активної потужності та зіставити з ним розрахункові втрати в усталеному режимі при заданих параметрах регулювальних пристроїв. Це дає відповідь на питання про доцільність оптимізації режиму ЕЕС і його оперативної корекції.

Методика визначення оптимального, з позиції мінімуму втрат активної потужності, режиму електричної мережі, заснована на використанні теплової функції, та алгоритм програми OPTQU проведено в [4]. Блок-схема програми розрахунку оптимального за напругою та реактивною потужністю режиму електричної мережі показана на рис. 6.2.

Особливістю програми OPTQU є те, що окрім параметрів оптимального режиму електричної мережі, вона дозволяє об'єднати отримані результати оптимізації в узагальнені (критеріальні) залежності [5]. Останні зв'язують критерій оптимальності (в даному випадку сумарні втрати активної потужності в мережі) з параметрами, які оптимізуються (струмами в вітках, вузловими напругами, коефіцієнтами трансформації і інше). За ними може бути визначена чутливість втрат до відхилення параметрів режиму мережі від їх оптимальних значень, що дозволяє виявити основні причини підвищених втрат і підтвердити рішення щодо їх усунення чи послаблення. Тобто, узагальнені залежності характеризують властивості мережі та можуть бути використані, наприклад, для створення програми функціонування пристроїв регулювання напруги і реактивної потужності, які дозволяють забезпечити мінімум втрат активної потужності.

Нарешті, критеріальні співвідношення дозволяють виявляти основні та відсіювати другорядні фактори в моделях, які застосовують для дослідження складних процесів і явищ.

Граничний об'єм задач, що розв'язуються, 300 вузлів, 450 віток. Кількість вузлів з джерелами реактивної потужності (вузлів, балансуєчих за реактивною потужністю) в програмі обмежена такою умовою: вітка не може бути обмежена двома балансуєчими вузлами. Між ними має бути хоча б один навантажувальний вузол.

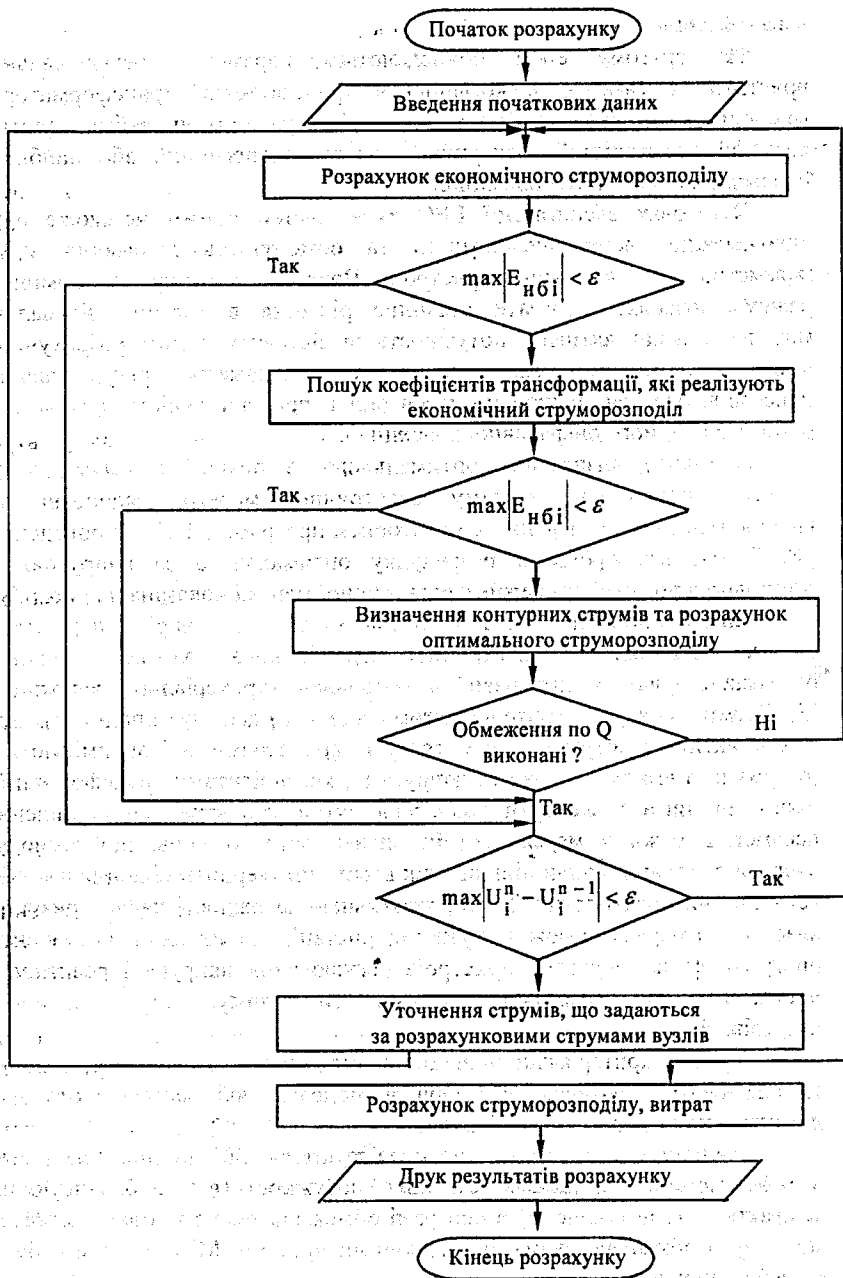


Рисунок 6.2 - Спрощена блок-схема програми оптимізації режиму електричної мережі OPTQU

6.5 Запитання для самоперевірки

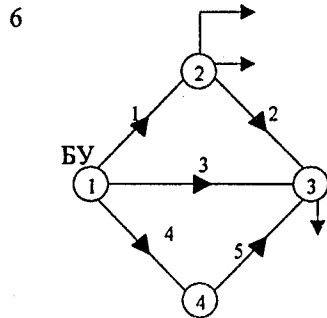
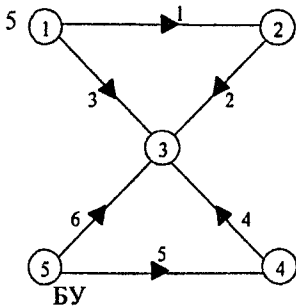
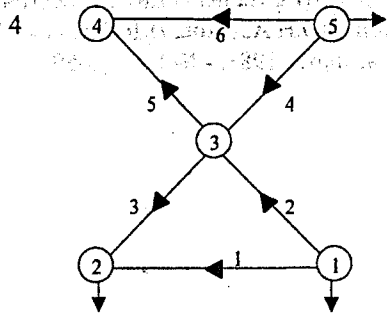
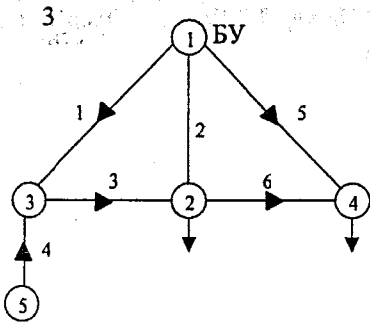
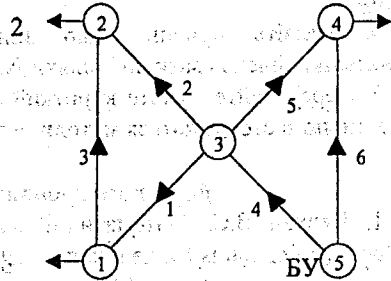
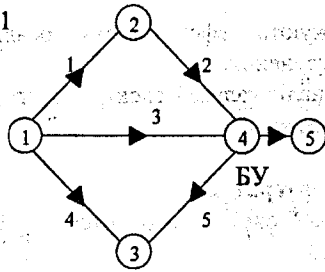
1. Назвіть основні етапи розв'язування оптимізаційної задачі і дайте коротку характеристику кожного з них.
2. На основі яких принципів вибирається критерій оптимальності?
3. Яким вимогам мусить відповідати математична модель задачі оптимізації?
4. Назвіть причини, що знижують ефективність реалізації оптимальних рішень і можливі шляхи їх усунення.
5. Перерахуйте і дайте короткий аналіз галузей електроенергетики, де ефективно застосовуються методи оптимізації.

6.6 Рекомендована література

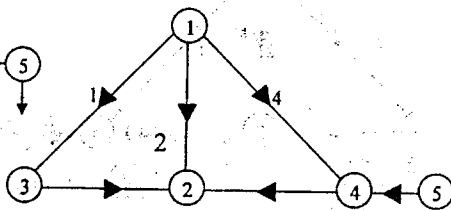
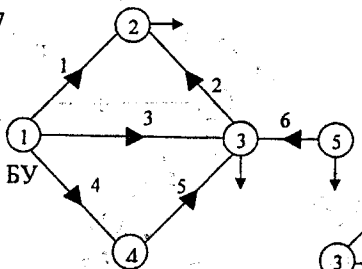
1. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики. - Львів: Виробниче об'єднання Вища школа. - 1989.
2. Крумм Л.А. Методы оптимизации при управлении электроэнергетическими системами. - Новосибирск: Наука, 1981. - 317 с.
3. Методы оптимизации режимов энергосистем / Под ред. В.М.Горнштейна. - М.: Энергия, 1981. - 336 с.
4. Оптимизация режимов электрических сетей с трансформаторными связями / Ю.Н.Астахов, П.Д.Лежнюк, В.И.Нагул, П.В.Ярных // Энергетика и транспорт. - 1983. - № 1. С. 48-59.

Додаток А
Завдання до лабораторних робіт

А.1 Варіанти схем з'єднань електричних мереж



7



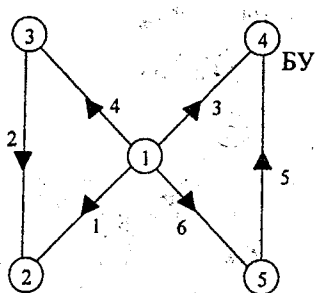
БУ

3

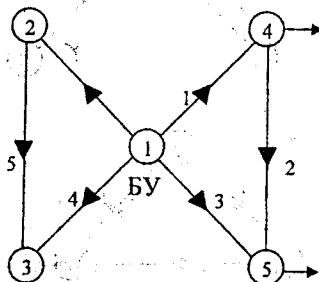
5

6

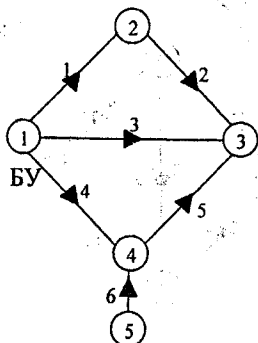
9



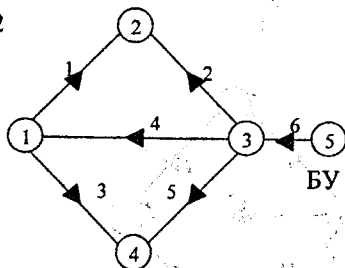
10



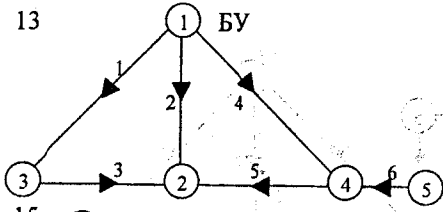
11



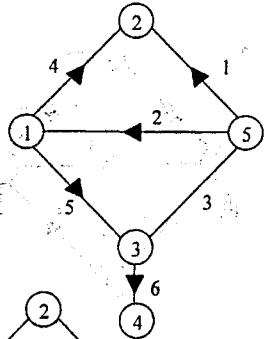
12



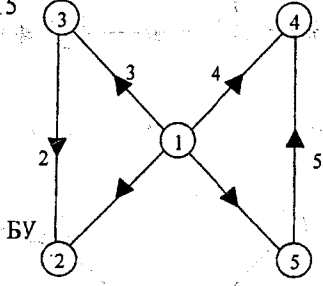
13



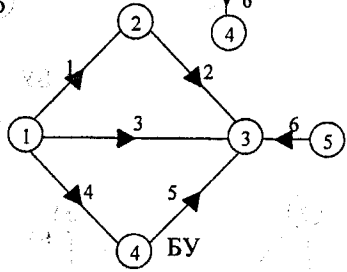
14



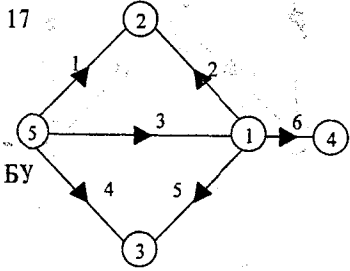
15



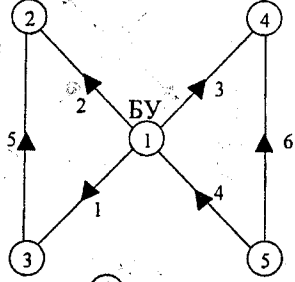
16



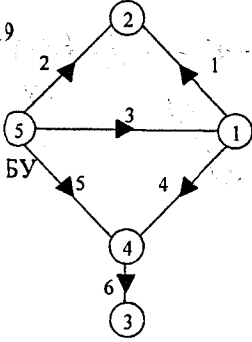
17



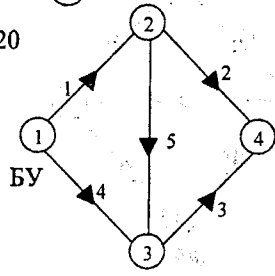
18



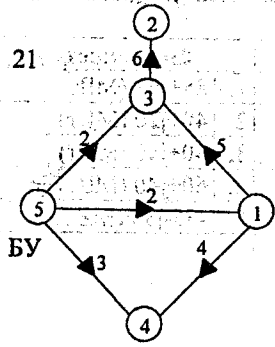
19



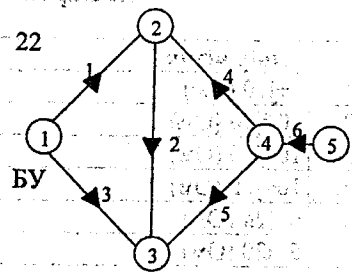
20



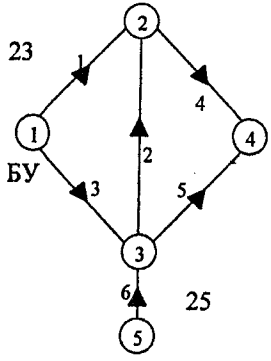
21



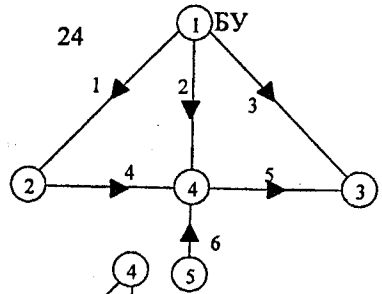
22



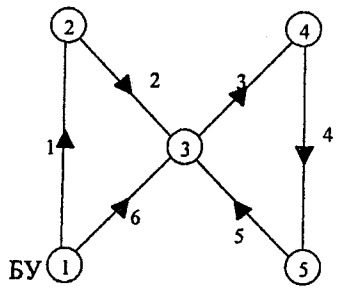
23



24



25



А.2 Параметри електричної мережі

Опір віток		Потужність вузлів	
1.	$5+j10$ (Ом)	1.	$85+j75$ (МВт)
2.	$10+j20$ (Ом)	2.	$40+j20$ (МВт)
3.	$10+j10$ (Ом)	3.	$40+j40$ (МВт)
4.	$10+j25$ (Ом)	4.	$60+j40$ (МВт)
5.	$6+j24$ (Ом)	5.	$-55-j35$ (МВт)
6.	$5+j20$ (Ом)		

Додаток Б

Приклад виконання та оформлення лабораторних робіт

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕСС

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ №1-6

Дослідження параметрів електричних кіл за допомогою ЕОМ

Виконав: ст. гр. _____

Прийняв: _____

Вінниця 2003 р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

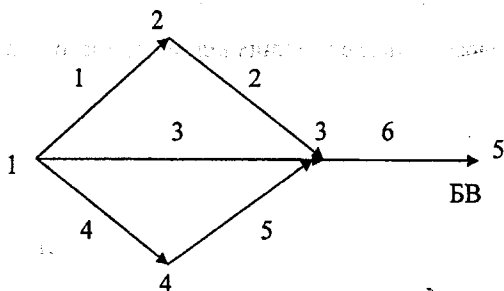
Побудова графа електричної мережі

Мета роботи: дослідження можливості представлення в ЕОМ графа мережі послідовністю пар чисел - номерів вузлів, які обмежують вітку, а також побудувати на її основі першу та другу матриці інциденцій.

Зміст завдання

1. Описати метод і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Навести схему мережі, яка досліджується.
3. Алгоритми програм, які використовуються в роботі. Короткі відомості про них.
4. Результати досліджень.
5. Порівняльний аналіз результатів досліджень.
6. Висновки.

Завдання до варіанта № 16



№	1	2	3	4	5	6
Опір вітки (Ом)	$5+j10$	$10+j70$	$10+j10$	$10+j25$	$6+j24$	$5+j20$
Потужність у вузлі(МВт)	$85-j75$	$40+j70$	$40+j40$	$60+j40$	$-55-j35$	

Виконання роботи

При аналізі усталених режимів електричних мереж використовуються перша та друга матриці інциденцій.

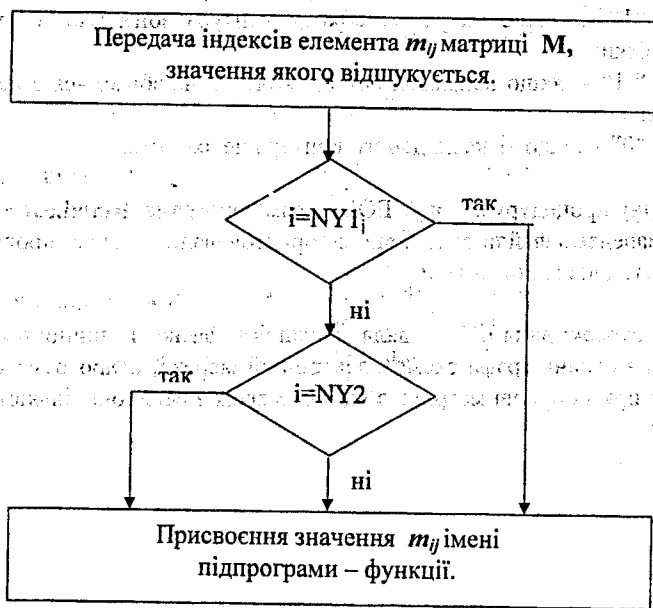
Сформуємо першу та другу матриці інциденцій M , N для даної схеми.

Схема електричної мережі в пам'яті ЕОМ зберігається в такому вигляді:

NY1	1	2	1	1	4	3
NY2	2	3	3	4	3	5

Перша та друга матриці інцидентів в ЕОМ не зберігаються, оскільки вони мало заповнені і займають великий обсяг пам'яті. Елементи цих матриць доцільно отримувати з масивів NY1, NY2 тоді, коли це потрібно в алгоритмах, наприклад формування вузлового або контурного рівнянь мережі.

Заповнення матриці M здійснюється за алгоритмом, блок-схема якого приведена нижче.



У випадку, якщо не виконується жодна з умов наведеного вище алгоритму, комірку першої матриці інцидентії заповнюють нулем, таким чином матриця M є мало заповнена.

Для даної схеми матриця M буде мати вигляд:

		вітки					
$M =$		0	0	1	0	1	1
		0	1	0	0	-1	0
		1	-1	-1	-1	0	0
		0	0	0	1	0	-1
		-1	0	0	0	0	0
		вузли					

Сформуємо матрицю **N** для даної схеми.

		ВІТКИ						контури
		0	1	-1	0	1	0	
N=	0	0	0	-1	1	0	1	
	1	0	0	-1	1	0	1	

На перетині стрічки матриці, (яка відповідає контуру схеми), та стовпця (який відповідає вітці схеми) розташовуємо:

- ✓ "1" - якщо напрямок обходу контура збігається з напрямком вітки;
- ✓ "-1" - якщо напрямок обходу контура не збігається з напрямком вітки;
- ✓ "0" - якщо вітка до даного контура не входить.

Дану процедуру виконує ЕОМ, а саме програма **Rmod.exe**

Наведемо файли даних, які використовувались даною програмою та результатів, які ми отримали.

Висновок: дана робота дала можливість засвоїти принцип побудови матриць з'єднань графа схеми електричної мережі, а програма особливо корисна при побудові матриць з'єднань мереж з великою кількістю вузлів та віток.

Файл данных до лабораторной работы №1

	Информация об узлах								
	Нузла Нузла	Уном Умин	Рн Умакс	Qн Рг мин	Рг Рг макс	Qг Тип узла	Умод	Qмин	Qмакс
0201	1.	110.	85.	75.					
0201	2.	110.	40.	70.					
0201	3.	110.	40.	40.					
0201	4.	110.	60.	40.					
0201	5.	110.	-55.	35.			115.	100.	100.
0202	5.	115.	121.			-1.			
0000									

Информация о ветвях

	Ннач	Нкон	R	X	УС	Кт
	Ннач	Нкон	Кт мин	Кт мкс	Кт ст.	
В ст. 0302 в позиции 7-8 указывается тип РПН, а в 73-й признак, что тр-р регулир.						

0301	1.	2.	5.	10.		
0301	2.	3.	10.	70.		
0301	1.	3.	10.	10.		
0301	1.	4.	10.	25.		
0301	4.	3.	6.	24.		
0301	3.	5.	5.	20.		

0000
0000

0400 Статические х-ки нагрузки. Их номера в позициях 7-8 с 1-го по 10-й.
Удельные х-ки потерь на корону. Их номера в позициях 7-8 с 11-го по 30-й.

0401	1	0.83	-0.3	0.47	3.7	-7.	4.3
0401	2	0.83	-0.3	0.47	4.9	-10.1	6.2

0401 3 0. 0. 1. 0. 0. 1.
 0401 11 3.4 330 кВ, п.п.
 0401 12 2.5 330 кВ, х.п.
 0401 13 16. 750 кВ
 0000
 0000

Файл результатов до лабораторной работы №1

=====

ТЕСТОВЫЙ ПРИМЕР 1
 СЕТЬ 110 - 330 кВ

=====

=====

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

=====

КОЛИЧЕСТВО УЗЛОВ - 5 КОЛИЧЕСТВО ВЕТВЕЙ - 6 БАЗИСНЫЙ УЗЕЛ - 5- й

ИНФОРМАЦИЯ О ВЕТВЯХ

N	NY1	NY2	R	X	YC	Kт	Kт min	Kт max	Ст.рег.
1	3	5	5.000	20.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
2	2	3	.000	70.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
3	1	3	.000	10.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
4	4	3	6.000	24.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00

5	1	2	5.000	10.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
6	1	4	.000	25.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00

ИНФОРМАЦИЯ ОБ УЗЛАХ

N	N УЗЛА	U ном.	P нагр.	Q нагр.	P ген.	Q ген.	U мод.	Q min	Q max
1	1	110.0	85.00	75.00	.00	.00	.0	.0	.0
2	2	110.0	40.00	70.00	.00	.00	.0	.0	.0
3	3	110.0	40.00	40.00	.00	.00	.0	.0	.0
4	4	110.0	60.00	40.00	.00	.00	.0	.0	.0
5	5	110.0	55.00	35.00	.00	.00	115.0	100.0	100.0

Первая матрица соединений

0	0	1	0	1	1
0	1	0	0	-1	0
1	-1	-1	-1	0	0
0	0	0	1	0	-1
-1	0	0	0	0	0

Вторая матрица соединений

0	1	-1	0	1	0
0	0	-1	1	0	1

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Формування вузлового рівняння електричної мережі

Мета роботи: формування і дослідження вузлового рівняння електричної мережі за допомогою ЕОМ.

Зміст завдання

1. Мета і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Заступна схема мережі яка досліджується в роботі.
3. Алгоритм програм, які використовуються в роботі. Короткі відомості про них.
4. Результати досліджень.
5. Порівняльний аналіз результатів досліджень.
6. Висновки.

Теоретичні відомості

Вузлове рівняння

Система, що складається з $(k-1)$ рівнянь, які зв'язують напруги вузлів відносно базисного вузла (БВ) з струмами у вузлах і ЕРС в вітках, називається системою вузлових рівнянь (вузловим рівнянням).

Дана схема містить в собі "к" вузлів, де $k = 5$ (для даного варіанта), з яких $(n-k-1)$ незалежні. Вузол 5 приймаємо балансуєчим в схемі.

Примітка: далі для спрощення розрахунку вважаємо, що балансуєчий і базисний за напругою вузли суміщені, тобто є одним вузлом.

Кількість незалежних рівнянь за першим законом Кірхгофа дорівнює кількості незалежних вузлів n . Якщо за невідомі взяти n вузлових напруг, то режим мережі достатньо описати тільки вузловим рівнянням, що витікає з закону Ома та першого закону Кірхгофа. Рівняння вузлових напруг слідує з першого закону Кірхгофа, якщо всі струми в вітках виразити через вузлові напруги і провідності віток. Кількість вузлових рівнянь (для постійного струму) дорівнює кількості незалежних вузлів n . При цьому напругою одного із вузлів $\{(n+1)\text{-го}\}$ можна задатися довільно.

Для схеми з ЕРС у вітках вузлове рівняння в матричній формі буде мати вигляд:

$$Y_{\Delta} U_{\Delta} = I - M Y_{\Delta} E,$$

де $Y_{\Delta} = M Z_{\Delta}^{-1} M_{\Delta}$ - матриця вузлових провідностей; U_{Δ} - вектор напруг вузлів відносно БВ; I - вектор струмів у вузлах; Y_{Δ}, Z_{Δ} - діагональні матриці провідностей та опорів віток; E - вектор ЕРС віток;

Дана схема не містить ЕРС в вітках, отже, рівняння можна переписати в наступному вигляді:

$$Y_{\Delta} U_{\Delta} = I. \tag{1}$$

Для кола змінного струму вузлові напруги, струми у вузлах, власні та взаємні провідності вузлів – комплексні величини. Якщо аналогічно використати матрицю власних та взаємних провідностей \dot{Y}_e з комплексними елементами \dot{Y}_{ik} , а також вектори-стовпці фазних струмів в вузлах \dot{I} і вузлових міжфазних напруг \dot{U} з комплексними елементами \dot{I}_k та \dot{U}_k , то систему рівнянь вузлових напруг для кола змінного струму можна записати в матричній формі:

$$\dot{Y}_e \dot{U} = \sqrt{3} \dot{I}. \quad (2)$$

В справедливості цього рівняння можна переконатись, якщо взяти до уваги правило множення матриць з комплексними елементами. При рішенні на ЕОМ рівняння вузлових напруг для мережі змінного струму, як правило приводиться до системи дійсних рівнянь порядку $2n$, де n число незалежних вузлів. Для цього представляють матриці і вектор-стовпці з комплексними елементами у вигляді сум матриць і вектор-стовпців з дійсними елементами (при цьому потрібно в вигляді такої суми представити кожен комплексний елемент і врахувати правило додавання матриць).

$$\left. \begin{aligned} \dot{Y}_y &= G_y - jB_y; \\ \dot{U} &= U' + jU''; \\ \dot{I} &= I' + jI''; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Підставляючи (3) в (2), отримаємо:

$$(G_y - jB_y)(U' + jU'') = \sqrt{3}(I' + jI''). \quad (4)$$

Запишемо окремо дійсні і уявні матричні доданки в останньому рівнянні:

$$\left. \begin{aligned} G_y U' + B_y U'' &= \sqrt{3} I'; \\ -B_y U' + G_y U'' &= \sqrt{3} I''. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Таким чином систему рівнянь вузлових напруг для кола змінного струму можна записати в матричній формі таким чином:

$$\begin{bmatrix} G_y & B_y \\ -B_y & G_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U' \\ U'' \end{bmatrix} = \sqrt{3} \begin{bmatrix} I' \\ I'' \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Вираз (5) є системою дійсних рівнянь порядку $2n$ і вміщує в себе $2n$ невідомих дійсних і уявних складових вузлових напруг (U'_k, U''_k).

Для даної схеми, котра містить 5 вузлів, будемо мати такі параметри:

$$G_y = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & g_{15} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & g_{25} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} & g_{35} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} & g_{45} \\ g_{51} & g_{52} & g_{53} & g_{54} & g_{55} \end{vmatrix}; \quad B_y = \begin{vmatrix} b_1 & b_1 & b_1 & b_1 & b_1 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ b_2 & b_2 & b_2 & b_2 & b_2 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ b_3 & b_3 & b_3 & b_3 & b_3 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ b_4 & b_4 & b_4 & b_4 & b_4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ b_5 & b_5 & b_5 & b_5 & b_5 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} U_1' \\ U_2' \\ U_3' \\ U_4' \\ U_5' \end{vmatrix} + j \begin{vmatrix} U_1'' \\ U_2'' \\ U_3'' \\ U_4'' \\ U_5'' \end{vmatrix}; \quad I = \begin{vmatrix} I_1' \\ I_2' \\ I_3' \\ I_4' \\ I_5' \end{vmatrix} + j \begin{vmatrix} I_1'' \\ I_2'' \\ I_3'' \\ I_4'' \\ I_5'' \end{vmatrix}$$

З урахуванням рівняння (6) запишемо систему дійсних рівнянь (7) в такому вигляді:

$$\begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & g_{15} & b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & g_{25} & b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} & g_{35} & b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} & b_{35} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} & g_{45} & b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} & b_{45} \\ g_{51} & g_{52} & g_{53} & g_{54} & g_{55} & b_{51} & b_{52} & b_{53} & b_{54} & b_{55} \\ -b_{11} & -b_{12} & -b_{13} & -b_{14} & -b_{15} & g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & g_{15} \\ -b_{21} & -b_{22} & -b_{23} & -b_{24} & -b_{25} & g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & g_{25} \\ -b_{31} & -b_{32} & -b_{33} & -b_{34} & -b_{35} & g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} & g_{35} \\ -b_{41} & -b_{42} & -b_{43} & -b_{44} & -b_{45} & g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} & g_{45} \\ -b_{51} & -b_{52} & -b_{53} & -b_{54} & -b_{55} & g_{51} & g_{52} & g_{53} & g_{54} & g_{55} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} U_1' \\ U_2' \\ U_3' \\ U_4' \\ U_5' \\ U_1'' \\ U_2'' \\ U_3'' \\ U_4'' \\ U_5'' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} I_1' \\ I_2' \\ I_3' \\ I_4' \\ I_5' \\ I_1'' \\ I_2'' \\ I_3'' \\ I_4'' \\ I_5'' \end{vmatrix}$$

Дана система зазвичай розв'язується таким чином.

Один із вузлів схеми, наприклад, $(n+1)$ (в нашому випадку "1") приймається за балансуєчий. Напряга в цьому вузлі заздалегідь відома і в нашому випадку рівна 110 кВ.

Замість виродженої системи вузлових напруг (7) з повною матрицею Y , вирішується система рівнянь з неповною матрицею Y . Таку систему отримують з системи (7) шляхом відкидання по останній стрічці з блоку дійсних і уявних коефіцієнтів системи, а стовпець з номером балансуєчого вузла переносять в праву частину. Отримаємо рівняння в такому вигляді:

$$\dot{Y}_6 \dot{U} = \dot{I} - \dot{Y}_6 \dot{U}_6,$$

де

$$Y_6 U_6 = \begin{matrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} & b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} & b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \\ -b_{11} & -b_{12} & -b_{13} & -b_{14} & g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ -b_{21} & -b_{22} & -b_{23} & -b_{24} & g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ -b_{31} & -b_{32} & -b_{33} & -b_{34} & g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ -b_{41} & -b_{42} & -b_{43} & -b_{44} & g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{matrix} \begin{matrix} g_{61} U_6' \\ g_{62} U_6' \\ g_{63} U_6' \\ g_{64} U_6' \\ -b_{61} U_6'' \\ -b_{62} U_6'' \\ -b_{63} U_6'' \\ -b_{64} U_6'' \end{matrix}$$

Отже систему запишемо в кінцевому вигляді таким чином :

$$\begin{matrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} & b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} & b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \\ -b_{11} & -b_{12} & -b_{13} & -b_{14} & g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ -b_{21} & -b_{22} & -b_{23} & -b_{24} & g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ -b_{31} & -b_{32} & -b_{33} & -b_{34} & g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ -b_{41} & -b_{42} & -b_{43} & -b_{44} & g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{matrix} \times \begin{matrix} U_1' \\ U_2' \\ U_3' \\ U_4' \\ U_1'' \\ U_2'' \\ U_3'' \\ U_4'' \end{matrix} = \begin{matrix} I_1' \\ I_2' \\ I_3' \\ I_4' \\ I_1'' \\ I_2'' \\ I_3'' \\ I_4'' \end{matrix} - \begin{matrix} g_{61} U_6' \\ g_{62} U_6' \\ g_{63} U_6' \\ g_{64} U_6' \\ -b_{61} U_6'' \\ -b_{62} U_6'' \\ -b_{63} U_6'' \\ -b_{64} U_6'' \end{matrix}$$

Сформуємо неповну матрицю вузлових провідностей з урахуванням, відповідно, активних та реактивних опорів віток мережі заданих в завданні:

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

Матриця M - перша матриця інцидентії з урахуванням балануючого вузла.

Згідно з правилами формування матриці вузлових провідностей

$$G_y := M \cdot Z_{av}^{-1} \cdot M^T \quad B_y := M \cdot Z_{rv}^{-1} \cdot M^T$$

і, враховуючи діагональні матриці опорів віток,

$$Z_{av} := \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \end{bmatrix} \quad Z_{rv} := \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 70 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 24 & 0 \\ 0 & 0 & 00 & 0 & 0 & 20 \end{bmatrix}$$

маємо:

$$G_y = \begin{vmatrix} 0.0471 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0943 & 0.0000 & -0.0800 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0792 & -0.0400 \\ 0.0000 & -0.0800 & -0.0400 & 0.2200 \end{vmatrix} \quad B_y = \begin{vmatrix} 0.0118 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0400 & 0.0000 & -0.0400 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0100 & -0.0002 \\ 0.0000 & -0.0400 & -0.0002 & 0.0412 \end{vmatrix}$$

Побудуємо матрицю коефіцієнтів для системи вузлових рівнянь:

$$Y_k = \begin{vmatrix} 0.0471 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0118 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ -0.0000 & 0.0943 & 0.0000 & -0.0800 & 0.0000 & 0.0400 & 0.0000 & -0.0400 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0792 & -0.0400 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0100 & -0.0002 \\ 0.0000 & -0.0800 & -0.0400 & 0.2200 & 0.0000 & -0.0400 & -0.0002 & 0.0412 \\ -0.0118 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0471 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & -0.0400 & 0.0000 & 0.0400 & 0.0000 & 0.0943 & 0.0000 & -0.0800 \\ 0.0000 & 0.0000 & -0.0100 & 0.0002 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0792 & -0.0400 \\ 0.0000 & 0.0400 & 0.0002 & -0.0412 & 0.0000 & 0.0800 & -0.0400 & 0.2200 \end{vmatrix}$$

Виходячи з умов завдання, виразимо струми в вузлах через потужності навантажень відповідного вузла, які задані в завданні.

Оскільки потужність навантаження споживача задана статичною характеристикою, то нелінійний струм джерела знаходиться таким виразом:

$$I_k(U) = \frac{P_k(\bar{U}) - Q_k(\bar{U})}{\sqrt{3}\bar{U}_k}$$

Приведемо вектори величин, що знаходяться в правій частині системи рівнянь вузлових напруг.

$$U_6 = \begin{vmatrix} 110000 \\ 110000 \\ 110000 \\ 110000 \end{vmatrix} \quad Y_{y6} = \begin{vmatrix} g_{61} \\ g_{62} \\ g_{63} \\ g_{64} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -0.0471 \\ -0.1430 \\ -0.0392 \\ -0.1000 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} b_{61} \\ b_{62} \\ b_{63} \\ b_{64} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -0.0118 \\ 0 \\ -0.0098 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Підставивши числові значення, отримаємо систему рівнянь, що подана нижче.

Висновок: дана робота дала можливість засвоїти принцип формування і дослідження вузлового рівняння електричної мережі за допомогою ЕОМ.

$0.05U_1'$	0	0	0	$0.01U_1''$	0	0	0	$\frac{85U_1' - 75U_1''}{U_1'^2 + U_1''^2}$	0.0471·110
0	$0.09U_2'$	0	$-0.08U_4'$	0	$+0.04U_2''$	0	$-0.04U_4''$	$\frac{40U_2' - 70U_2''}{U_2'^2 + U_2''^2}$	0.1430·110
0	0	$0.08U_3'$	$0.0400U_4'$	0	0	$+0.01U_3''$	0	$\frac{40U_3' - 40U_3''}{U_3'^2 + U_3''^2}$	0.0392·110
0	$-0.08U_2'$	$-0.04U_3'$	$+0.22U_4'$	0	$-0.04U_2''$	0	$0.04U_4''$	$\frac{60U_4' - 40U_4''}{U_4'^2 + U_4''^2}$	0.1000·110
$0.01U_1'$	0	0	0	$0.05U_1''$	0	0	0	$\frac{85U_1'' + 75U_1'}{U_1'^2 + U_1''^2}$	0.0118·110
$0U_1'$	$-0.04U_2'$	0	$+0.04U_4'$	0	$0.09U_2''$	0	$-0.08U_4''$	$\frac{40U_2'' + 70U_2'}{U_2'^2 + U_2''^2}$	0
0	0	$-0.01U_3'$	0	0	0	$0.08U_3''$	$-0.04U_4''$	$\frac{40U_3'' + 40U_3'}{U_3'^2 + U_3''^2}$	0.0098·110
0	$+0.04U_2'$	0	$-0.04U_4'$	0	$0.08U_2''$	$-0.04U_3''$	$0.22U_4''$	$\frac{60U_4'' + 40U_4'}{U_4'^2 + U_4''^2}$	0

Файл данных до лабораторной работы №2

	Информация об узлах								
	Узла Узла	Уном Умин	Рн Умакс	Qн Рг мин	Рг Рг макс	Qг Тип узла	Умод	Qмин	Qмакс
0201	1.	110.	85.	75.					
0201	2.	110.	40.	70.					
0201	3.	110.	40.	40.					
0201	4.	110.	60.	40.					
0201	5.	110.	-55.	35.			115.	100.	100.
0202	5.	115.	121.				-1.		
0000									

Информация о ветвях

	Ннач	Нкон	R	X	УС	Кт
	Ннач	Нкон	Кт мин	Кт макс	Кт ст.	
В ст.0302 в позиции 7-8 указывается тип РПН, а в 73-й признак, что тр-р регулир.						

0301	1.	2.	5.	10.		
0301	2.	3.	10.	70.		
0301	1.	3.	10.	10.		
0301	1.	4.	10.	25.		
0301	4.	3.	6.	24.		
0301	3.	5.	5.	20.		

0000
0000

0400 Статические х-ки нагрузки. Их номера в позициях 7-8 с 1-го по 10-й.
Удельные х-ки потерь на корону. Их номера в позициях 7-8 с 11-го по 30-й.

0401	1	0.83	-0.3	0.47	3.7	-7.	4.3
0401	2	0.83	-0.3	0.47	4.9	-10.1	6.2

0401 3 0. 0. 1. 0. 0. 1.
 0401 11 3.4
 0401 12 2.5
 0401 13 16.
 0000
 0000

330 кВ, п.п.
 330 кВ, х.п.
 750 кВ

Файл результатов до лабораторной работы №2

ТЕСТОВЫЙ ПРИМЕР 1
 СЕТЬ 110 - 330 кВ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

КОЛИЧЕСТВО УЗЛОВ - 5 КОЛИЧЕСТВО ВЕТВЕЙ - 6 БАЗИСНЫЙ УЗЕЛ - 5- й

ИНФОРМАЦИЯ О ВЕТВЯХ

N	NY1	NY2	R	X	YC	Kт	Kт min	Kт max	Ст.пер.
1	3	5	5.000	20.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
2	2	3	.000	70.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
3	1	3	.000	10.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
4	4	3	6.000	24.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
5	1	2	5.000	10.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
6	1	4	.000	25.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00

ИНФОРМАЦИЯ ОБ УЗЛАХ

N	N УЗЛА	U ном.	P нагр.	Q нагр.	P ген.	Q ген.	U мод.	Q min	Q max
1	1	110.0	85.00	75.00	.00	.00	110.0	.0	.0
2	2	110.0	40.00	70.00	.00	.00	110.0	.0	.0
3	3	110.0	40.00	40.00	.00	.00	110.0	.0	.0
4	4	110.0	60.00	40.00	.00	.00	110.0	.0	.0
5	5	110.0	55.00	35.00	.00	.00	115.0	100.0	100.0

УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 3

УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 3

ny = 5 2 4 1 3

ny1= 3 2 1 4 1 1

ny2= 5 3 3 3 2 4

Матрица узловых проводностей

.0471	.0000	.0000	.0000	.0118	.0000	.0000	.0000
.0000	.0943	.0000	-.0800	.0000	.0400	.0000	-.0400
.0000	.0000	.0792	-.0400	.0000	.0000	.0100	-.0002
.0000	-.0800	-.0400	.2200	.0000	-.0400	-.0002	.0412
.0118	.0000	.0000	.0000	-.0471	.0000	.0000	.0000
.0000	.0400	.0000	-.0400	.0000	-.0943	.0000	.0800
.0000	.0000	.0100	-.0002	.0000	.0000	-.0792	.0400
.0000	-.0400	-.0002	.0412	.0000	.0800	.0400	-.2200

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

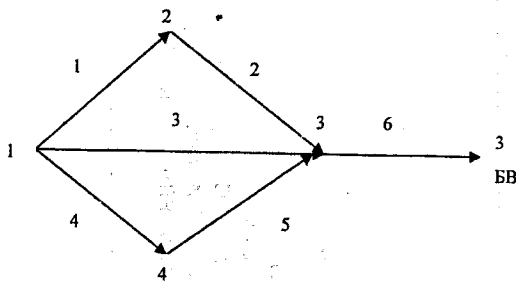
Розв'язання системи лінійних рівнянь методом Гауса

Мета роботи: дослідження методу Гауса стосовно розв'язування системи рівнянь стану електричної мережі.

Зміст завдання

1. Описати метод і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Тестовий приклад і його розв'язування.
3. Алгоритм програми, які використовуються в роботі. Короткі відомості про них.
4. Результати досліджень.
5. Порівняльний аналіз результатів досліджень.
6. Висновки.

Завдання Варіант № 16



Граф схеми.

№	1	2	3	4	5	6
Опір вітки (Ом)	$5+j10$	$10+j70$	$10+j10$	$10+j25$	$6+j24$	$5+j20$
Потужність у вузлі(МВт)	$85-j75$	$40+j70$	$40+j40$	$60+j40$	$-55-j35$	

Метою даного дослідження є дослідження методу Гауса стосовно розв'язування системи рівнянь стану електричної мережі.

Метод Гауса називають точним методом розв'язання не виродженої системи лінійних рівнянь, приведення її до еквівалентної системи з трикутковою матрицею.

Дану процедуру виконує ЕОМ, а саме програма **Gauss.exe**.

Наведемо файли даних, які використовувались даною програмою, та результатів, які ми отримали.

Висновок: дана робота дала можливість засвоїти принцип методу Гауса стосовно розв'язування системи рівнянь стану електричної мережі.

Файл данных до лабораторной работы №3

	Нузла Нузла	Uном Uмин	Pн Uмакс	Qн Pг мин	Pг Pг макс	Qг Тип узла	Uмод	Qмин	Qмакс
0201	1.	110.	85.	75.					
0201	2.	110.	40.	20.					
0201	3.	110.	40.	40.					
0201	4.	110.	60.	40.					
0201	5.	110.	-55.	-35.			115.	100.	100.
0202	5.	105.	121.			-1.			
0000									

Информация о ветвях

Nнач	Nкон	R	X	УС	Kт
Nнач	Nкон	Kт мин	Kт макс	Kт ст.	

В ст.0302 в позиции 7-8 указывается тип РПН, а в 73-й признак, что тр-р регулир.

0301	1.	2.	5.	10.
0301	2.	3.	10.	20.
0301	1.	3.	10.	10.
0301	1.	4.	10.	25.
0301	4.	3.	6.	24.
0301	5.	3.	5.	20.

0000

0000

0400

Статические х-ки нагрузки. Их номера в позициях 7-8 с 1-го по 10-й.

Удельные х-ки потерь на корону. Их номера в позициях 7-8 с 11-го по 30-й.

0401	1	0.83	-0.3	0.47	3.7	-7.	4.3
0401	2	0.83	-0.3	0.47	4.9	-10.1	6.2

0401 3 0. 0. 1. 0. 0. 1.
 0401 11 3.4
 0401 12 2.5
 0401 13 16.
 0000
 0000

330 кВ, п.п.
 330 кВ, х.п.
 750 кВ

Файл результатов до лабораторной работы №3

=====

ТЕСТОВЫЙ ПРИМЕР 1
 СЕТЬ 110 - 330 кВ

=====

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

=====

КОЛИЧЕСТВО УЗЛОВ - 5 КОЛИЧЕСТВО ВЕТВЕЙ - 6, БАЗИСНЫЙ УЗЕЛ - 5- й

ИНФОРМАЦИЯ О ВЕТВЯХ

=====

N	NY1	NY2	R	X	УС	Кт	Кт min	Кт max	Ст.пер.
1	5	3	5.000	20.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
2	2	3	10.000	20.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
3	1	3	10.000	10.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
4	4	3	6.000	24.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
5	1	2	5.000	10.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
6	1	4	10.000	25.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00

ИНФОРМАЦИЯ ОБ УЗЛАХ

N	N УЗЛА	U ном.	P нагр.	Q нагр.	P ген.	Q ген.	U мод.	Q min	Q max
1	1	110.0	85.00	75.00	.00	.00	.0	.0	.0
2	2	110.0	40.00	20.00	.00	.00	.0	.0	.0
3	3	110.0	40.00	40.00	.00	.00	.0	.0	.0
4	4	110.0	60.00	40.00	.00	.00	.0	.0	.0
5	5	110.0	55.00	-35.00	.00	.00	115.0	100.0	100.0

УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 3

УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 3

ny = 5 2 4 1 3

ny1 = 5 2 1 4 1 1

ny2 = 3 3 3 3 2 4

Матрица узловых проводностей

.0471	.0000	.0000	.0000	.0118	.0000	.0000	.0000
.0000	.1200	.0000	-.0800	.0000	.0600	.0000	-.0400
.0000	.0000	.0737	-.0345	.0000	.0000	.0236	-.0138
.0000	-.0800	-.0345	.1645	.0000	-.0400	-.0138	.1038
.0118	.0000	.0000	.0000	-.0471	.0000	.0000	.0000
.0000	.0600	.0000	-.0400	.0000	-.1200	.0000	.0800
.0000	.0000	.0236	-.0138	.0000	.0000	-.0737	.0345
.0000	-.0400	-.0138	.1038	.0000	.0800	.0345	-.1645

Струми у вузлах

Ja = .0909 .3636 .5455 .7727

Jp = .4091 -.1818 -.3636 -.6818

Напруги вузлів відносно ВВ

.091 .364 .545 .773 .409 -.182 -.364 -.682

Напряга у вузлах
 Ua= 115.41 114.82 114.64 114.32 115.00
 Up= .09 .36 .55 .77 .00

	Нузла Нузла	Уном Умин	Информация об узлах			Qr Тип узла	Uмод	Qмин	Qмакс
			Rn Uмакс	Qn Rr мин	Rr Rr макс				
0201	1.	110.	85.	75.					
0201	2.	110.	40.	20.					
0201	3.	110.	40.	40.					
0202	3.	115.	121.			115.	100.	100.	
0201	4.	110.	60.	40.		-1.			
0201	5.	110.	-55.	-35.					
0000									

Информация о ветвях

Nнач	Nкон	R	X	УС	Кт
Nнач	Nкон	Кт мин	Кт макс	Кт ст.	

В ст.0302 в позиции 7-8 указывается тип РПН, а в 73-й признак, что тр-р регулир.

0301	1.	2.	5.	10.	
0301	2.	3.	10.	20.	
0301	1.	3.	10.	10.	
0301	1.	4.	10.	25.	
0301	4.	3.	6.	24.	
0301	5.	3.	5.	20.	
0000					
0000					

0400 Статические х-ки нагрузки. Их номера в позициях 7-8 с 1-го по 10-й.
 Удельные х-ки потерь на корону. Их номера в позициях 7-8 с 11-го по 30-й.

0401	1	0.83	-0.3	0.47	3.7	-7.	4.3	
0401	2	0.83	-0.3	0.47	4.9	-10.1	6.2	
0401	3	0.	0.	1.	0.	0.	1.	
0401	11	3.4						330 кВ, п.п.
0401	12	2.5						330 кВ, х.п.
0401	13	16.						750 кВ
0000								
0000								

=====

ТЕСТОВЫЙ ПРИМЕР 1
 СЕТЬ 110 - 330 кВ

=====

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

=====

КОЛИЧЕСТВО УЗЛОВ - 5 КОЛИЧЕСТВО ВЕТВЕЙ - 6 БАЗИСНЫЙ УЗЕЛ - 3- Й

ИНФОРМАЦИЯ О ВЕТВЯХ

=====

N	NY1	NY2	R	X	YC	Kт	Kт min	Kт max	Ст.пер.
1	2	3	10.000	20.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
2	1	3	10.000	10.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
3	4	3	6.000	24.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
4	5	3	5.000	20.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
5	1	2	5.000	10.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
6	1	4	10.000	25.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00

=====

ИНФОРМАЦИЯ ОБ УЗЛАХ

N	N УЗЛА	U ном.	P нагр.	Q нагр.	P ген.	Q ген.	U мод.	Q min	Q max
1	1	110.0	85.00	75.00	.00	.00	.0	.0	.0
2	2	110.0	40.00	20.00	.00	.00	.0	.0	.0
3	3	110.0	40.00	40.00	.00	.00	115.0	100.0	100.0
4	4	110.0	60.00	40.00	.00	.00	.0	.0	.0
5	5	110.0	55.00	-35.00	.00	.00	.0	.0	.0

УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 1

УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 1

ny = 5 3 4 2 1

ny1= 2 1 4 5 1 1

ny2= 3 3 3 3 2 4

Матрица узловых проводностей

.0471	-.0471	.0000	.0000	.0118	-.0118	.0000	.0000
-.0471	.1763	-.0392	-.0400	-.0118	.0916	-.0098	-.0200
.0000	-.0392	.0737	.0000	.0000	-.0098	.0236	.0000
.0000	-.0400	.0000	.1200	.0000	-.0200	.0000	.0600
.0118	-.0118	.0000	.0000	-.0471	.0471	.0000	.0000
-.0118	.0916	-.0098	-.0200	.0471	-.1763	.0392	.0400
.0000	-.0098	.0236	.0000	.0000	.0392	-.0737	.0000
.0000	-.0200	.0000	.0600	.0000	.0400	.0000	-.1200

Струмы у узлах

Ja= .0909 .3636 .5455 .3636

Jp= .4091 -.3636 -.3636 -.1818

відрізнятися на величину, меншу заданої похибки ε , тобто, до виконання умови

$$|x_i^{k+1} - x_i^k| < \varepsilon, \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

Для виконання умови (3) при будь-якій заданій точності рішення, тобто при будь-якому як завгодно малому значенні ε , необхідно, щоб

$$\lim_{k \rightarrow \infty} x_i^k = x_i^*, \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

де x_i^* - точне рішення даної системи рівнянь.

При виконанні (4) для будь-якого наближення $x_i^{(0)}$, ітераційний процес називається *збіжним*. В іншому разі ітераційний процес не приводить до рішення і називається *розбіжним*.

Наведемо файли результатів програми.

Висновок: дана робота дала можливість засвоїти принцип розв'язання вузлового рівняння електричної мережі за допомогою ЕОМ методом простої ітерації.

Файли даних і файли результатів до лабораторної роботи №4

	Інформація об узлах								
	Нузла Нузла	Уном Умин	Рн Умакс	Qн Рг мин	Рг Рг макс	Qг Тип узла	Uмод	Qмин	Qмакс
0201	1.	110.	85.	75.					
0201	2.	110.	40.	20.					
0201	3.	110.	40.	40.					
0201	4.	110.	60.	40.					
0201	5.	110.	-55.	-35.			115.	100.	100.
0202	5.	105.	121.			-1.			
0000									

	Інформація о ветвях					
	Ннач Ннач	Нкон Нкон	R Кт мин	X Кт мкс	УС Кт ст.	Кт

В ст.0302 в позиции 7-8 указывается тип РПН, а в 73-й признак, что тр-р регуляр.

0301	1.	2.	5.	10.
0301	2.	3.	10.	20.
0301	1.	3.	10.	10.
0301	1.	4.	10.	25.
0301	4.	3.	6.	24.
0301	5.	3.	5.	20.
0000				

0400	Статические х-ки нагрузки. Их номера в позициях 7-8 с 1-го по 10-й.					
	Удельные х-ки потерь на корону. Их номера в позициях 7-8 с 11-го по 30-й.					
0401	1	0.83	-0.3	0.47	3.7	-7. 4.3
0401	2	0.83	-0.3	0.47	4.9	-10.1 6.2

0401 3 0. 0. 1. 0. 0. 1.
 0401 11 3.4
 0401 12 2.5
 0401 13 16.
 0000
 0000

330 кВ, п.п.
 330 кВ, х.п.
 750 кВ

ТЕСТОВЫЙ ПРИМЕР 1
 СЕТЬ 110 - 330 кВ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

КОЛИЧЕСТВО УЗЛОВ - 5 КОЛИЧЕСТВО ВЕТВЕЙ - 6 БАЗИСНЫЙ УЗЕЛ - 5- й

ИНФОРМАЦИЯ О ВЕТВЯХ

N	NY1	NY2	R	X	YC	Kт	Kт min	Kт max	Ст.рег.
1	5	3	5.000	20.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
2	2	3	10.000	20.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
3	1	3	10.000	10.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
4	4	3	6.000	24.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
5	1	2	5.000	10.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
6	1	4	10.000	25.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00

ИНФОРМАЦИЯ ОБ УЗЛАХ

N	N УЗЛА	U ном.	P нагр.	Q нагр.	P ген.	Q ген.	U мод.	Q min	Q max
1	1	110.0	85.00	75.00	.00	.00	.0	.0	.0
2	2	110.0	40.00	20.00	.00	.00	.0	.0	.0

3	3	110.0	40.00	40.00	.00	.00	.0	.0	.0
4	4	110.0	60.00	40.00	.00	.00	.0	.0	.0
5	5	110.0	55.00	-35.00	.00	.00	115.0	100.0	100.0

Кількість НЕ в матриці Якобі - 32

ny = 5 2 4 1 3

ny1= 5 2 1 4 1 1

ny2= 3 3 3 3 2 4

vtt= .0471 .0118 .1200 -.0800 .0600 -.0400 .0737 -.0345 .0236

-.0138

vtt= -.0800 -.0345 .1645 -.0400 -.0138 .1038 .0118 -.0471 .0600

-.0400

vtt= -.1200 .0800 .0236 -.0138 -.0737 .0345 -.0400 -.0138 .1038

.0800

vtt= .0345 -.1645

js = 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3

js = 4 4 4 4 4 4 5 5 6 6

js = 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8

js = 8 8

jsp = 1 5 2 4 6 8 3 4 7 8

jsp = 2 3 4 6 7 8 1 5 2 4

jsp = 6 8 3 4 7 8 2 3 4 6

jsp = 7 8

Струми у вузлах

Ja= .0909 .3636 .5455 .7727

Jp= .4091 -.1818 -.3636 -.6818

Розв'язування СЛР методом Зейделя

0-а ітерація

xk= .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000

Максим. небаланс - 9.1112 по змінній 8

70

1-а ітерація

xk= 1.9318 3.0303 7.4012 7.7234 -8.2102 .4558 5.8584 9.1112

Максим. небаланс - 10.2381 по змінній 6

2-а ітерація

xk= 3.9844 10.9884 10.8443 7.1685 -7.6971 10.6940 11.3277 12.6632

Максим. небаланс - 4.3050 по змінній 2

3-а ітерація

xk= 3.8561 6.6834 9.4983 5.4995 -7.7292 11.4658 12.8710 13.4688

Максим. небаланс - 1.2301 по змінній 2

4-а ітерація

xk= 3.8641 5.4533 8.3740 4.4743 -7.7272 11.7295 13.0798 13.3873

Максим. небаланс - .8425 по змінній 2

5-а ітерація

xk= 3.8636 4.6109 7.8122 4.0799 -7.7273 11.3855 12.9357 13.1928

Максим. небаланс - .1791 по змінній 6

6-а ітерація

xk= 3.8636 4.4551 7.6374 3.9944 -7.7273 11.2064 12.8047 13.0769

Максим. небаланс - .0842 по змінній 6

7-а ітерація

xk= 3.8636 4.4490 7.6177 4.0060 -7.7273 11.1222 12.7420 13.0332

Максим. небаланс - .0352 по змінній 2

8-а ітерація

xk= 3.8636 4.4842 7.6350 4.0285 -7.7273 11.1032 12.7228 13.0242

Максим. небаланс - .0216 по змінній 2

9-а ітерація

xk= 3.8636 4.5058 7.6500 4.0416 -7.7273 11.1036 12.7210 13.0257

Максим. небаланс - .0091 по змінній 2

Зроблено 10 ітерац. по Зейделю

Напруги у вузлах відносно БВ

3.864 4.515 7.657 4.046 -7.727 11.108 12.723 13.028

Напряга у вузлах

Ua= 107.27 126.11 127.72 128.03 115.00

Up= 3.86 4.51 7.66 4.05 .00

Информация об узлах

	Нузла Нузла	Uном Uмин	Rн Uмакс	Qн Rг мин	Rг Rг макс	Qг Тип узла	Uмод	Qмин	Qмакс
0201	1.	110.	85.	75.					
0201	2.	110.	40.	20.					
0201	3.	110.	40.	40.			115.	100.	100.
0202	3.	115.	121.			-1.			
0201	4.	110.	60.	40.					
0201	5.	110.	-55.	-35.					
0000									

Информация о ветвях

Nнач	Nкон	R	X	УС	Кт
Nнач	Nкон	Кт мин	Кт макс	Кт ст.	

В ст.0302 в позиции 7-8 указывается тип РПН, а в 73-й признак, что тр-р регулир.

0301	1.	2.	5.	10.
0301	2.	3.	10.	20.
0301	1.	3.	10.	10.
0301	1.	4.	10.	25.
0301	4.	3.	6.	24.
0301	5.	3.	5.	20.

0000

0000

0400 Статические х-ки нагрузки. Их номера в позициях 7-8 с 1-го по 10-й.

Удельные х-ки потерь на корону. Их номера в позициях 7-8 с 11-го по 30-й.

0401	1	0.83	-0.3	0.47	3.7	-7.	4.3
0401	2	0.83	-0.3	0.47	4.9	-10.1	6.2
0401	3	0.	0.	1.	0.	0.	1.
0401	11	3.4					
0401	12	2.5					
0401	13	16.					

0000
0000

330 кВ, п.п.
330 кВ, х.п.
750 кВ

ТЕСТОВЫЙ ПРИМЕР 1
СЕТЬ 110 - 330 кВ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

КОЛИЧЕСТВО УЗЛОВ - 5 КОЛИЧЕСТВО ВЕТВЕЙ - 6 БАЗИСНЫЙ УЗЕЛ - 3-й

ИНФОРМАЦИЯ О ВЕТВЯХ

N	NY1	NY2	R	X	YC	Kт	Kт min	Kт max	Ст.рег.
1	2	3	10.000	20.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
2	1	3	10.000	10.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
3	4	3	6.000	24.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
4	5	3	5.000	20.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
5	1	2	5.000	10.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
6	1	4	10.000	25.000	.00	.0000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00

ИНФОРМАЦИЯ ОБ УЗЛАХ

N	N УЗЛА	U ном.	P нагр.	Q нагр.	P ген.	Q ген.	U мод.	Q min	Q max
1	1	110.0	85.00	75.00	.00	.00	.0	.0	.0
2	2	110.0	40.00	20.00	.00	.00	.0	.0	.0
3	3	110.0	40.00	40.00	.00	.00	115.0	100.0	100.0
4	4	110.0	60.00	40.00	.00	.00	.0	.0	.0
5	5	110.0	55.00	-35.00	.00	.00	.0	.0	.0

Кількість НЕ в матриці Якобі - 40

ny = 5 3 4 2 1

ny1 = 2 1 4 5 1 1

ny2 = 3 3 3 3 2 4

vtt = .0471 -.0471 .0118 -.0118 -.0471 .1763 -.0392 -.0400 -.0118
.0916

vtt = -.0098 -.0200 -.0392 .0737 -.0098 .0236 -.0400 .1200 -.0200
.0600

vtt = .0118 -.0118 -.0471 .0471 -.0118 .0916 -.0098 -.0200 .0471
-.1763

vtt = .0392 .0400 -.0098 .0236 .0392 -.0737 -.0200 .0600 .0400
-.1200

js = 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2

js = 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4

js = 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6

js = 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8

jsp = 1 2 5 6 1 2 3 4 5 6

jsp = 7 8 2 3 6 7 2 4 6 8

jsp = 1 2 5 6 1 2 3 4 5 6

jsp = 7 8 2 3 6 7 2 4 6 8

Струми у вузлах

Ja = .0909 .3636 .5455 .3636

Jp= .4091 -.3636 -.3636 -.1818

Розв'язування СЛР методом Зейделя

0-а ітерація

xk= .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000

Максим. небаланс - 8.8549 по змінній 5

1-а ітерація

xk= 1.9318 2.5786 8.7733 3.8898 -8.8549 -.0197 7.3896 3.0237

Максим. небаланс - 4.7874 по змінній 1

2-а ітерація

xk= 6.7192 6.8645 8.6852 3.8033 -8.7492 4.2601 9.0687 3.6928

Максим. небаланс - 5.7781 по змінній 5

3-а ітерація

xk= 12.0486 6.2011 8.3639 3.9610 -2.9712 5.6277 9.7817 4.3380

Максим. небаланс - 1.7660 по змінній 1

4-а ітерація

xk= 10.2826 5.4820 7.9349 3.6266 -1.8653 6.0341 9.9563 4.4261

Максим. небаланс - .8939 по змінній 1

5-а ітерація

xk= 9.3887 4.9545 7.6524 3.4744 -1.5505 5.9956 9.9155 4.4251

Максим. небаланс - .6159 по змінній 1

6-а ітерація

xk= 8.7728 4.7313 7.5415 3.3941 -1.6872 5.8902 9.8536 4.3871

Максим. небаланс - .2153 по змінній 1

7-а ітерація

xk= 8.5575 4.6688 7.5141 3.3747 -1.8308 5.8151 9.8132 4.3628

Максим. небаланс - .0869 по змінній 5

8-а ітерація

xk= 8.5121 4.6706 7.5180 3.3750 -1.9177 5.7811 9.7961 4.3512

Максим. небаланс - .0339 по змінній 5

9-а ітерація

xk=	8.5271	4.6851	7.5267	3.3799	-1.9516	5.7712	9.7917	4.3480
Максим. небаланс -	.0205		по змінній		1			
10-а ітерація								
xk=	8.5476	4.6959	7.5325	3.3835	-1.9591	5.7710	9.7920	4.3479
Максим. небаланс -	.0126		по змінній		1			
11-а ітерація								
xk=	8.5603	4.7011	7.5351	3.3852	-1.9574	5.7729	9.7932	4.3486
Максим. небаланс -	.0052		по змінній		1			
Зроблено 12 ітерац. по Зейделю								
Напруги у вузлах відносно БВ								
	8.565	4.703	7.536	3.386	-1.955	5.774	9.794	4.349
Напруга у вузлах								
Ua=	113.05	120.77	124.79	119.35	115.00			
Up=	8.57	4.70	7.54	3.39	.00			

Мета роботи: Вивчити принцип розрахунку усталеного режиму електричної мережі за допомогою ЕОМ.

Зміст завдання

1. Мета і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Схема заміщення мережі, яка досліджується в роботі.
3. Алгоритми програм, які використовуються в роботі. Короткі відомості про них.
4. Результати досліджень.
5. Порівняльний аналіз результатів досліджень.
6. Висновки.

Теоретичні відомості

Розрахунок усталеного режиму електричної мережі на ЕОМ проводиться здебільшого за допомогою розв'язування рівнянь стану системи методом Ньютона.

Метод Ньютона

Коротка характеристика

Методу Ньютона притаманна, при відносно нескладній схемі, швидка збіжність. Метод Ньютона використовується при рішенні широкого класу нелінійних рівнянь. Суть методу полягає в послідовній заміні на кожній ітерації системи нелінійних рівнянь деякою системою лінійних рівнянь, рішення якої дасть значення невідомих, найбільш близьке до рішення нелінійної системи, ніж початкове наближення.

Суть методу

Пояснимо ідею цього методу на прикладі рішення рівняння $\omega(x) = 0$.

Розв'язок рівняння x – точка, в якій крива $\omega(x)$ проходить через нуль. Задамо початкові наближення $x^{(0)}$. Подамо рівняння відносно точки $x^{(0)}$ лінійним рівнянням у такому вигляді:

$$\omega(x^{(0)}) + \frac{\partial \omega}{\partial x}(x^{(0)})(x - x^{(0)}) = 0, \quad (1)$$

ліва частина якого представляє два перших доданки розкладеної в ряд Тейлора функції $\omega(x)$. Вирішимо лінійне рівняння (5.1) і знайдемо поправку $\Delta x^{(1)}$ до початкового наближення:

$$\Delta x^{(1)} = x^{(1)} - x^{(0)} = -\frac{\omega(x^{(0)})}{\frac{\partial \omega}{\partial x}(x^{(0)})}$$

За нове наближення невідомого приймемо:

$$x^{(1)} = x^{(0)} + \Delta x^{(1)} = x^{(0)} - \frac{\omega(x^{(0)})}{\frac{\partial \omega}{\partial x}(x^{(0)})}$$

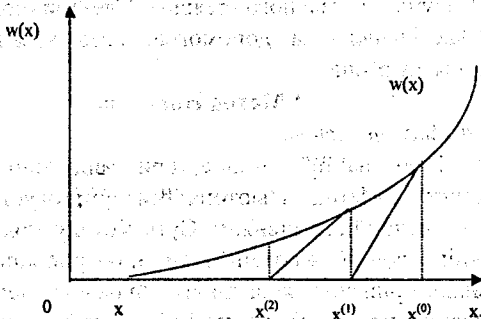
Аналогічно знаходимо наступні наближення :

$$x^{(i+1)} = x^{(i)} - x^{(i+1)} = x^{(i)} - \frac{\omega(x^{(i)})}{\frac{\partial \omega}{\partial x}(x^{(i)})}$$

Ітераційний процес сходиться, якщо функція $\omega(x)$ стає близькою до нуля. Процес збігається, якщо абсолютна величина нев'язки (або небалансу) менша заданої, тобто при

$$|\omega(x^{(i)})| \leq \varepsilon.$$

Зауважимо, що контроль збіжності за величиною поправки $\Delta x^{(i)}$ може привести до неправильного результату. Дамо геометричну інтерпретацію методу Ньютона.



Один крок методу Ньютона зводиться до заміни кривої $\omega(x)$ на пряму $\omega(x^{(0)}) + \frac{\partial \omega}{\partial x}(x^{(0)})(x - x^{(0)})$, яка є дотичною до цієї кривої в точці $x = x^{(0)}$. Тому метод Ньютона також називають методом дотичних. Наближення $x^{(i+1)}$ є точка перетину дотичної з кривою $\omega(x)$ в точці $x = x^{(i)}$ з віссю x .

Розглянемо розв'язування за методом Ньютона системи нелінійних алгебраїчних рівнянь з дійсними змінними:

$$\left. \begin{aligned} \omega_1(x_1, x_2, x_3) &= 0; \\ \omega_2(x_1, x_2, x_3) &= 0; \\ \omega_3(x_1, x_2, x_3) &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Якщо використовувати вектор-стовпець X і вектор функцію $W(X)$, де

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, \quad W(X) = \begin{pmatrix} \omega_1(x_1, x_2, x_3) \\ \omega_2(x_1, x_2, x_3) \\ \omega_3(x_1, x_2, x_3) \end{pmatrix},$$

то систему можна записати в матричному вигляді: $W(X) = 0$.

Нехай $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}$ - початкові наближення невідомих. Замінімо кожне з нелінійних рівнянь лінійним, отриманим розкладанням в ряд Тейлора. Наприклад, перше рівняння після лінеаризації буде мати вигляд:

$$\omega_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}) + \frac{\partial \omega_1}{\partial x_1}(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)})(x_1 - x_1^{(0)}) + \frac{\partial \omega_1}{\partial x_2}(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)})(x_2 - x_2^{(0)}) + \frac{\partial \omega_1}{\partial x_3}(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)})(x_3 - x_3^{(0)}) = 0.$$

Запишемо матрицю Якобі, тобто матрицю похідних системи функцій ω_k потужність змінній x_k :

$$\frac{\partial W}{\partial X} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \omega_1}{\partial x_1} & \frac{\partial \omega_1}{\partial x_2} & \frac{\partial \omega_1}{\partial x_3} \\ \frac{\partial \omega_2}{\partial x_1} & \frac{\partial \omega_2}{\partial x_2} & \frac{\partial \omega_2}{\partial x_3} \\ \frac{\partial \omega_3}{\partial x_1} & \frac{\partial \omega_3}{\partial x_2} & \frac{\partial \omega_3}{\partial x_3} \end{pmatrix}$$

Тоді систему лінеаризованих рівнянь можна записати в матричному вигляді таким чином:

$$W(X^{(0)}) + \frac{\partial W}{\partial X}(X^{(0)})(X - X^{(0)}) = 0.$$

Ця система лінійна відносно поправок $\Delta x_k^{(1)} = x_k^{(1)} - x_k^{(0)}$.

Припустимо, що матриця Якобі $\frac{\partial W}{\partial X}$ не вироджена, тобто її визначник не дорівнює нулю. Розв'яжемо систему і знайдемо поправки, наприклад, за методом Гауса. Потім знайдемо перше наближення змінних:

$$W(X^{(0)}) + \frac{\partial W}{\partial X}(X^{(0)})(X - X^{(0)}) = 0.$$

Кожен крок ітераційного процесу полягає в рішенні лінійної системи

$$\frac{\partial W}{\partial X}(X^{(i)})\Delta X^{(i+1)} = -W(X^{(i)})$$

та визначення наступного і визначення невідомих:

$$X^{(i+1)} = X^{(i)} + \Delta X^{(i+1)}.$$

Часто ітераційний процес Ньютона записують в матричній формі:

$$X^{(i+1)} = X^{(i)} - \left\| \frac{\partial W}{\partial X}(X^{(i)}) \right\|^{-1} W(X^{(i)}). \quad (5.2)$$

Цей запис ні в якому разі не означає, що за методом Ньютона рахується обернена матриця $\left\| \frac{\partial W}{\partial X} \right\|^{-1}$, а потім множиться напруга вектор $W(x^{(0)})$. Поправки завжди знаходяться в результаті рішення лінійної системи за методом Гауса (або в деяких випадках – за методом Зейделя), а вираз (5.2) використовується для зручності запису і аналізу ітераційного процесу Ньютона.

Контроль збіжності здійснюється за вектором небалансів $|\omega_k(x^{(0)})| \leq \varepsilon$ і повинен виконуватись для всіх небалансів.

Метод Ньютона поширено застосовується для розрахунку ustalених режимів електросистем на ЕОМ. Він не міг претендувати на практичне застосування в задачах розрахунку мереж до використання ЕОМ через трудомісткі розрахунки, пов'язані із знаходженням матриці похідних.

Користуючись ЕОМ, зокрема програмою "RUR I", розрахуємо ustalений режим схеми, заданої в завданні попередньої роботи.

Наведемо файл результатів програми.

Висновок: дана робота дала можливість засвоїти принцип розрахунку ustalеного режиму електричної мережі методом Ньютона за допомогою ЕОМ.

0401 11 3.4
0401 12 2.5
0401 13 16.
0000
0000

330 кВ, п.п.
330 кВ, х.п.
750 кВ

Файл результатов до лабораторной работы №5

ТЕСТОВЫЙ ПРИМЕР 1
СЕТЬ 110 - 330 кВ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

КОЛИЧЕСТВО УЗЛОВ - 5 КОЛИЧЕСТВО ВЕТВЕЙ - 6 БАЗИСНЫЙ УЗЕЛ - 5- Й
ИНФОРМАЦИЯ О ВЕТВЯХ

N	NY1	NY2	R	X	YC	Kт	Kт min	Kт max	Ст.рег.
1	3	5	5.000	20.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
2	2	3	.000	70.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
3	1	3	.000	10.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
4	4	3	6.000	24.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
5	1	2	5.000	10.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
6	1	4	.000	25.000	.00	.000	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00

ИНФОРМАЦИЯ ОБ УЗЛАХ

N	N УЗЛА	U ном.	P нагр.	Q нагр.	P ген.	Q ген.	U мод.	Q min	Q max
1	1	110.0	85.00	75.00	.00	.00	.0	.0	.0
2	2	110.0	40.00	70.00	.00	.00	.0	.0	.0

Файл данных до лабораторной работы №5

Информация об узлах

	Нузла- Нузла	Уном Умин	Рн Умакс	Qн Рг мин	Рг Рг макс	Qг Тип узла	Uмод	Qмин	Qмакс
0201	1.	110.	85.	75.					
0201	2.	110.	40.	70.					
0201	3.	110.	40.	40.					
0201	4.	110.	60.	40.					
0201	5.	110.	-55.	35.			115.	100.	100.
0202	5.	115.	121.			-1.			
0000									

Информация о ветвях

	Ннач	Нкон	R	X	УС	Кт
	Ннач	Нкон	Кт мин	Кт мкс	Кт ст.	
В ст.0302 в позиции 7-8 указывается тип РПН, а в 73-й признак, что тр-р регулир.						

0301	1.	2.	5.	10.		
0301	2.	3.	10.	70.		
0301	1.	3.	10.	10.		
0301	1.	4.	10.	25.		
0301	4.	3.	6.	24.		
0301	3.	5.	5.	20.		

0000
0000

0400 Статические х-ки нагрузки. Их номера в позициях 7-8 с 1-го по 10-й.
Удельные х-ки потерь на корону. Их номера в позициях 7-8 с 11-го по 30-й.

0401	1	0.83	-0.3	0.47	3.7	-7.	4.3
0401	2	0.83	-0.3	0.47	4.9	-10.1	6.2
0401	3	0.	0.	1.	0.	0.	1.

3	3	110.0	40.00	40.00	.00	.00	.0	.0	.0
4	4	110.0	60.00	40.00	.00	.00	.0	.0	.0
5	5	110.0	55.00	35.00	.00	.00	115.0	100.0	100.0

ПРАЦЕ ПРОГРАМА RURN

УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 3

УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 3

ny = 5 2 4 1 3

ny1= 3 2 1 4 1 1

ny2= 5 3 3 3 2 4

Матрица узловых проводностей (транспонована)

.0471	.0000	.0000	.0000	.0118	.0000	.0000	.0000
.0000	.0943	.0000	-.0800	.0000	.0400	.0000	-.0400
.0000	.0000	.0792	-.0400	.0000	.0000	.0100	-.0002
.0000	-.0800	-.0400	.2200	.0000	-.0400	-.0002	.0412
.0118	.0000	.0000	.0000	-.0471	.0000	.0000	.0000
.0000	.0400	.0000	-.0400	.0000	-.0943	.0000	.0800
.0000	.0000	.0100	-.0002	.0000	.0000	-.0792	.0400
.0000	-.0400	-.0002	.0412	.0000	.0800	.0400	-.2200

U0 = 110.000

* * * * *

1-а ітерація

* * * * *

A= -.0045 -.0033 -.0050 -.0070

D= -.0029 -.0058 -.0033 -.0062

Матрица Якоби

.0500	.0000	.0000	.0000	.0072	.0000	.0000	.0000
.0000	.1001	.0000	-.0800	.0000	.0367	.0000	-.0400
.0000	.0000	.0825	-.0400	.0000	.0000	.0050	-.0002
.0000	-.0800	-.0400	.2262	.0000	-.0400	-.0002	.0341
.0163	.0000	.0000	.0000	-.0442	.0000	.0000	.0000
.0000	.0433	.0000	-.0400	.0000	-.0885	.0000	.0800

.0000	.0000	.0149	-.0002	.0000	.0000	-.0759	.0400
.0000	-.0400	-.0002	.0482	.0000	.0800	.0400	-.2138

Струми у вузлах

Ja=	.5000	.3636	.5455	.7727
Jp=	-.3182	-.6364	-.3636	-.6818

F=	-.4412	-.3635	-.4964	-.7677	.0829	.5649	.1676	.1819
----	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------

Прирости напруги у вузлах

	-8.127	-9.644	-10.307	-9.880	-4.878	-13.923	-8.459	-8.058
--	--------	--------	---------	--------	--------	---------	--------	--------

Напруга у вузлах

Ua=	105.12	96.08	101.54	101.94	115.00
Up=	-8.13	-9.64	-10.31	-9.88	.00

Максимальний небаланс струмів у вузлі 1, f= .76773,

максимальна поправка напруги у вузлі 2, du= 13.923.

* * * * * 2-а ітерація * * * * *

A=	-.0044	-.0027	-.0049	-.0066
----	--------	--------	--------	--------

D=	-.0039	-.0082	-.0049	-.0086
----	--------	--------	--------	--------

Матриця Якобі

.0509	.0000	.0000	.0000	.0074	.0000	.0000	.0000
.0000	.1025	.0000	-.0800	.0000	.0373	.0000	-.0400
.0000	.0000	.0841	-.0400	.0000	.0000	.0051	-.0002
.0000	-.0800	-.0400	.2286	.0000	-.0400	-.0002	.0346
.0162	.0000	.0000	.0000	-.0432	.0000	.0000	.0000
.0000	.0427	.0000	-.0400	.0000	-.0861	.0000	.0800
.0000	.0000	.0148	-.0002	.0000	.0000	-.0743	.0400
.0000	-.0400	-.0002	.0477	.0000	.0800	.0400	-.2114

Струми у вузлах

Ja=	.4945	.3398	.5453	.7554
-----	-------	-------	-------	-------

Jp=	-.3712	-.7627	-.4493	-.8089
-----	--------	--------	--------	--------

F=	.0042	.0141	.0080	.0127	.0019	.0139	.0066	.0078
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Прирости напруги у вузлах

.084 .298 .187 .174 -.014 -.263 -.149 -.182

Напряга у вузлах

Ua= 105.11 95.81 101.39 101.76 115.00

Up= -8.04 -9.35 -10.12 -9.71 .00

Максимальний небаланс струмів у вузлі 2, f= .01410,

максимальна поправка напруги у вузлі 2, du= .298.

* * * * * 3-а ітерація * * * * *

A= -.0044 -.0028 -.0049 -.0066

D= -.0039 -.0082 -.0049 -.0086

Матриця Якобі

.0509 .0000 .0000 .0000 .0074 .0000 .0000 .0000

.0000 .1025 .0000 -.0800 .0000 .0372 .0000 -.0400

.0000 .0000 .0841 -.0400 .0000 .0000 .0051 -.0002

.0000 -.0800 -.0400 .2286 .0000 -.0400 -.0002 .0345

.0162 .0000 .0000 .0000 -.0432 .0000 .0000 .0000

.0000 .0428 .0000 -.0400 .0000 -.0860 .0000 .0800

.0000 .0000 .0149 -.0002 .0000 .0000 -.0743 .0400

.0000 -.0400 -.0002 .0478 .0000 .0800 .0400 -.2114

Струми у вузлах

Ja= .4949 .3430 .5469 .7581

Jp= -.3709 -.7640 -.4491 -.8093

F= .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000

Прирости напруги у вузлах

.000 .000 .000 .000 .000 .000 .000 .000

Напряга у вузлах

Ua= 105.11 95.81 101.39 101.76 115.00

Up= -8.04 -9.35 -10.12 -9.71 .00

Максимальний небаланс струмів у вузлі 2, f= .00001,

максимальна поправка напруги у вузлі 2, du= .000.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ИНФОРМАЦИЯ О ВЕТВЯХ

N	NY1	NY2	Kt	P нач.	Q нач.	P кон.	Q кон.	Потери P	Потери Q
1	1	2	.000	26.03	47.85	24.61	45.01	1.4198	2.8395
2	1	3	.000	-112.86	-124.18	-113.13	-151.13	.2695	26.9495
3	1	4	.000	1.83	1.33	1.83	1.32	.0000	.0123
4	2	3	.000	-15.39	-24.99	-15.40	-31.50	.0093	6.5071
5	3	5	.000	56.91	42.65	55.00	35.00	1.9124	7.6495
6	4	3	.000	-58.17	-38.68	-60.98	-49.96	2.8199	11.2796

ИНФОРМАЦИЯ ОБ УЗЛАХ

N	N узла	U ном.	P нагр.	Q нагр.	P ген.	Q ген.	U мод.	U фаза	DU %
1	1	110.0	85.00	75.00	.00	.00	102.22	-5.449	.00
2	2	110.0	40.00	70.00	.00	.00	96.27	-5.571	.00
3	3	110.0	40.00	40.00	286.43	315.23	115.00	.000	.00
4	4	110.0	60.00	40.00	.00	.00	101.90	-5.700	.00
5	5	110.0	55.00	35.00	.00	.00	105.42	-4.376	.00

Сумма: P ген. = 286.43 МВт, P нагр. = 280.00 МВт, Q нагр. = 260.00 Мвар.

Зарядная мощность ЛЭП Q зар. = .00 Мвар.

Суммарные потери dP = 6.43 МВт, dQ = 55.24 Мвар,

потери в шунтах dPш = .00 МВт, потери на корону dPк = .00 МВт.

Относительные потери активной мощности dP = 2.25 %.

Относительные потери от перетоков активной мощности - 50.21 %,

относительные потери от перетоков реактивной мощности - 49.79 %.

Разрыв раздела (со следующей страницы)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6
Оптимізація режимів електричної мережі

Мета роботи: *ознайомитись з принципами оптимізації режимів електричної мережі за допомогою ЕОМ.*

Зміст завдання

1. Мета і задачі досліджень, які проводяться в роботі.
2. Схема заміщення мережі, яка досліджується в роботі.
3. Алгоритми програм, які використовуються в роботі. Короткі відомості про них.
4. Результати досліджень.
5. Порівняльний аналіз результатів досліджень.
6. Висновки.

Проведемо оптимізацію заданої мережі за P, Q та U , а також по P і U . Скористаємось для цього ЕОМ, а саме програмами *qi.exe* і *pqi1.exe*. Приведемо файли даних та результатів роботи програми.

Висновок: дана робота дала можливість засвоїти принцип оптимізації режимів електричної мережі за допомогою ЕОМ.

Файл данных до лабораторной работы №6

Информация об узлах

	Нузла	Уном	Qн	Qн	Qг	Uмод	Qмин	Qмакс
	Нузла	Uмин	Uмакс	Qг мин	Qг макс	Тип узла		
0201	1.	110.	85.	75.				
0201	2.	110.	40.	70.				
0201	3.	110.	40.	40.				
0201	4.	110.	60.	40.				
0201	5.	110.	-55.	35.			115.	100.
0202	5.	115.	121.			-1.		100.
0000								

Информация о ветвях

	Nнач	Nкон	R	X	УС	Кт
	Nнач	Nкон	Кт мин	Кт макс	Кт ст.	
В ст.0302 в позиции 7-8 указывается тип РПН, а в 73-й признак, что тр-р регулир.						

0301	1.	2.	5.	10.
0301	2.	3.	10.	70.
0301	1.	3.	10.	10.
0301	1.	4.	10.	25.
0301	4.	3.	6.	24.
0301	3.	5.	5.	20.

0000

0000

0400

Статические х-ки нагрузки. Их номера в позициях 7-8 с 1-го по 10-й.

Удельные х-ки потерь на корону. Их номера в позициях 7-8 с 11-го по 30-й.

0401	1	0.83	-0.3	0.47	3.7	-7.	4.3
0401	2	0.83	-0.3	0.47	4.9	-10.1	6.2
0401	3	0.	0.	1.	0.	0.	1.

0401 11 3.4
0401 12 2.5
0401 13 16.
0000
0000

- 330 кВ, п.п.
330 кВ, х.п.
750 кВ

Файл результатів програми *qm.exe*

ВИННИЦАЭНЕРГО
СЕТЬ 110 - 750 кВ

РАБОТАЕТ ПРОГРАММА ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПО Q И U

ЧИСЛО НЕНУЛЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ КОНТУРНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ = 10
УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 5
УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 5

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ИНФОРМАЦИЯ О ВЕТВЯХ

N	NY1	NY2	Kt	P нач.	Q нач.	P кон.	Q кон.	Потери P	Потери Q
---	-----	-----	----	--------	--------	--------	--------	----------	----------

1	1	2	.000	51.21	57.37	47.92	50.80	3.2891	6.5782
2	1	3	.000	-30.34	228.39	-30.93	169.35	.5904	59.0413
3	1	4	.000	-116.09	-307.71	-117.29	90.97	1.2030	300.7614
4	2	3	.000	-6.60	19.02	-6.61	15.19	.0055	3.8289
5	3	5	.000	-193.39	-67.87	-235.23	-235.23	41.8413	167.3652
6	4	3	.000	-34.78	106.38	-121.47	-240.35	86.6867	346.7468

ИНФОРМАЦИЯ ОБ УЗЛАХ

N	N узла	U ном.	P нагр.	Q нагр.	P ген.	Q ген.	U мод.	U фаза	DU %
1	1	110.0	85.00	75.00	.00	.00	94.82	-28.445	.00
2	2	110.0	40.00	70.00	.00	.00	86.10	-30.025	-7.40
3	3	110.0	40.00	40.00	.00	.00	70.85	-25.661	-22.65
4	4	110.0	60.00	40.00	.00	.00	29.44	19.257	-64.06
5	5	110.0	55.00	35.00	290.23	270.23	115.00	.000	.00

Сумма: P ген. = 413.62 МВт, P нагр. = 280.00 МВт, Q нагр. = 260.00 Мвар.

Зарядная мощность ЛЭП Q зар = .00 Мвар.

Суммарные потери dP = 133.62 МВт, dQ = 884.32 Мвар,

потери в шунтах dPш = .00 МВт, потери на корону dPk = .00 МВт.

Относительные потери активной мощности dP = 32.30 %.

Относительные потери от перетоков активной мощности - 15.99 %,

относительные потери от перетоков реактивной мощности - 84.01 %.

Файл результатов программы *pqi1.exe*

ВИННИЦАЭНЕРГО

СЕТЬ 110 - 750 кВ

РАБОТАЕТ ПРОГРАММА ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО P, Q И U

ЧИСЛО НЕНУЛЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ КОНТУРНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ = 10

УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 5

УЗЛЫ, БАЛАНСИРУЮЩИЕ ПО РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 5

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ИНФОРМАЦИЯ О ВЕТВЯХ

N	NY1	NY2	Kt	P нач.	Q нач.	P кон.	Q кон.	Потери P	Потери Q
1	1	2	.000	-75.73	141.24	-92.92	343.21	17.1974	34.3949
2	1	3	.000	45.37	135.64	45.10	108.25	.2740	27.3953
3	1	4	.000	-53.39	-307.18	-54.69	98.78	1.3017	325.4366
4	2	3	.000	-96.00	334.10	-96.35	90.48	.3480	243.6280
5	3	5	.000	-193.39	-67.87	-235.23	-235.23	41.8413	167.3652
6	4	3	.000	-16.44	110.73	-107.76	-254.54	91.3214	365.2856

ИНФОРМАЦИЯ ОБ УЗЛАХ

N узла	U ном.	P нагр.	Q нагр.	P ген.	Q ген.	U мод.	U фаза	DU %
1	1	110.0	.00	75.00	.00	.00	86.42	-21.539 -7.08
2	2	110.0	.00	70.00	.00	.00	186.34	-56.428 59.84

16

3	3	110.0	.00	40.00	.00	.00	70.85	-25.661	-22.65
4	4	110.0	.00	40.00	.00	.00	28.69	5.729	-64.81
5	5	110.0	.00	35.00	290.23	270.23	115.00	.000	.00

Сумма: P ген.= 152.28 МВт, P нагр.= .00 МВт, Q нагр.= 260.00 Мвар.
 Зарядная мощность ЛЭП Q зар = .00 Мвар.
 Суммарные потери dP= 152.28 МВт, dQ= 1163.51 Мвар,
 потери в шунтах dPш= .00 МВт, потери на корону dPк= .00 МВт.
 Относительные потери активной мощности dP=**** %.
 Относительные потери от перетоков активной мощности - 20.69 %,
 относительные потери от перетоков реактивной мощности - 79.31 %

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Лабораторна робота № 1	
Побудова графа електричної мережі	6
Лабораторна робота № 2	
Формування вузлового рівняння електричної мережі	10
Лабораторна робота № 3	
Розв'язання системи рівнянь методом Гауса.....	14
Лабораторна робота № 4	
Розв'язання системи рівнянь методом простої ітерації та методом Зейделя.....	18
Лабораторна робота № 5	
Розрахунок усталеного режиму методом Ньютона.....	22
Лабораторна робота № 6	
Розрахунок оптимальних режимів електричної мережі	30
Додаток А. Завдання до лабораторних робіт	38
Додаток Б. Контрольний приклад	43

Навчальне видання

П.Д.Лежнюк, В.Ц.Зелінський, В.А.Найчук, С.В.Бевз

Математичне моделювання усталених режимів електричних систем
Лабораторний практикум
з дисципліни "Математичні задачі електроенергетики"
Частина 1

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор В.О.Дружиніна
Коректор Ю.І.Франко

Навчально-методичний відділ ВДТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ

Підписано до друку 24.06.2003р

Формат 29,7x42 1/4

Друк різнографічний

Наклад 85 прим.

Зам. № 2003 - 106

Гарнітура Times New Roman

Папір офсетний

Ум. друк. арк. 39

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95