**Міністерство освіти і науки України**

**Вінницький державний технічний університет**

**Факультет ФЕЕМ**

**Кафедра ЕСЕЕ**

**РОЗРАХУНКОВО – ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до курсової роботи з дисципліни**

**«Математичні задачі електроенергетики»**

*Керівник ас. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.О. Іванков*

*(підпис)*

*Студент гр. 2ЕСЕ – 99 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Степлюк М.О.*

*(підпис)*

*Вінниця 2001*

# Анотація

Розрахунково-пояснювальна записка до курсової роботи студента групи 2ЕСЕ-99 Степлюка Максима Олександровича, ВДТУ, ФЕЕМ, Вінниця 2001.

У даній роботі розглядається розрахунок нормальних усталених режимів електричної системи на підставі методів матричної алгебри і елементів теорії графів. Досліджується надійність електричної мережі.

# Зміст

[Анотація 3](#_Toc530128408)

[Зміст 4](#_Toc530128409)

[Завдання на КР 5](#_Toc530128410)

[Вступ 7](#_Toc530128411)

[1 Побудова та обгрунтування схеми заміщення електричної мережі 8](#_Toc530128412)

[1.1 Обґрунтування способу зображення окремих елементів електричної мережі у схемі заміщення 8](#_Toc530128413)

[1.2 Зображення схеми заміщення у вигляді графа 9](#_Toc530128414)

[1.3 Обгрунтування та проведення нумерації віток схем заміщення 10](#_Toc530128415)

[1.4 Визначення та побудова матриці параметрів режиму і параметрів системи для конкретної електричної мережі 11](#_Toc530128416)

[2 Складання рівнянь стану електричної мережі та їх розв’язання 13](#_Toc530128417)

[2.1 Складання рівнянь стану електричної мережі 13](#_Toc530128418)

[2.2 Вибір методу розв’язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь та його опис 14](#_Toc530128419)

[2.2.1 Опис методу Гауса. 15](#_Toc530128420)

[2.3 Розрахунок  та аналіз результатів. Перевірка на відповідність виконання I і II закону Кірхгофа 17](#_Toc530128421)

[2.3.1 Перевірка отриманих результатів за законами Кірхгофа: 17](#_Toc530128422)

[3 Розрахунок потоків потужності на дільницях електричної мережі, сумарних втрат активної і реактивної потужності, найбільшого значення втрат напруги у мережі 17](#_Toc530128423)

[3.1 Перевірка на відповідність балансу активної та реактивної потужностей у вузлах схеми 17](#_Toc530128424)

[3.1.1 Друга ітерація 17](#_Toc530128425)

[4 Оцінка надійності електропостачання окремих підстанцій електричної мережі 17](#_Toc530128426)

[4.1 Деякі теоретичні відомості про надійність електропостачання споживачів 17](#_Toc530128427)

[4.2 Основні теореми випадкових подій. 17](#_Toc530128428)

[4.3 Розрахунок надійності підстанцій мережі на основі теорем про випадкові події 17](#_Toc530128429)

[4.3.1 Розрахунок надійності першої підстанції. 17](#_Toc530128430)

[4.3.2 Розрахунок надійності другої підстанції. 17](#_Toc530128431)

[4.3.3 Розрахунок надійності третьої підстанції. 17](#_Toc530128432)

[Висновки. 17](#_Toc530128433)

[Література 17](#_Toc530128434)

# Завдання на КР

Від центру живлення А по замкнутій мережі напругою Uн отримають електричну енергію i=1,…,n — підстанцій споживачів електричної енергії (рисунок 1) опори дільниць мережі (Ом), розрахункові навантаження підстанцій (МВА) наведені у таблиці 1.1. Напруга центру живлення у режимі, що розглядається, складає 1,1Uн.

Необхідно визначити потоки потужності на дільницях мережі, напругу у вузлах приєднання електричних навантажень, сумарні втрати активної і реактивної потужностей, найбільшу величину втрат напруги у мережі.

Завдання розв’язати методом контурних струмів з застосуванням матричної форми запису цих рівнянь і матричних методів розрахунку.

Також треба визначити надійність електропостачання споживачів електричної енергії усіх *n* - підстанцій. Передача електроенергії здійснюється трифазними одноколовими лініями електропостачання. Ймовірність пошкодження ЛЕП складає Pj (наведена у табл.1.3). Переріз повітряних ліній вибраний з умови передачі 100 відсоткової потужності кожним колом однієї лінії.

Варіант завдання на курсову роботу вибрати у відповідності з порядковим номером прізвища студента у списку групи.

Таблиця 1.1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  варіанта | №  рисунка електро-мережі | Напруга мережі, кВ | Розрахункова потужність споживачів п/ст. | | | |
| S1, МВА | S2, МВА | S3, МВА | S4, МВА |
| 17 | 1-17 | 110 | 15+j18 | 19+j20 | 20+j22 | − |

Таблиця 1.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  варі  анта | Опори ЛЕП, Ом | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Активні | | | | | | | | | | Індуктивні | | | | | | | | | |
| Позначення віток ЛЕП | | | | | | | | | | Позначення віток ЛЕП | | | | | | | | | |
| 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 | 2-3 | 2-4 | 2-5 | 3-4 | 3-5 | 4-5 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 | 2-3 | 2-4 | 2-5 | 3-4 | 3-5 | 4-5 |
| 17 | - | - | 5 | - | 4 | 5 | - | 3 | - | - | - | - | 4 | - | 3 | 1,5 | - | 2 | - | - |

Таблиця 1.3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варіанта | Ймовірність пошкодження ЛЕП, 10-3 | | | | | | | | | |
| Позначення ЛЕП | | | | | | | | | |
| 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 | 2-3 | 2-4 | 2-5 | 3-4 | 3-5 | 4-5 |
| 17 | - | - | 0,9 | - | 1,1 | 1,5 | - | 1,4 | - | - |

**Рис. 1**



# Вступ

Розрахунки параметрів електричних систем в різних режимах, пошук, створення і вдосконалення математичних методів і моделей розв'язання цих задач ніколи не були легкими для інженерів. Саме ці проблеми охопює дисципліна «Математичні задачі електроенергетики». Дисципліна є складовою частиною прикладної математики і спрямована лише на розв'язання енергетичних задач.

Прикладна математика, на відміну від теоретичної або чистої математики, являється наукою відшукування і вдосконалення практичних прийнятних методів розв'язку математичних задач, що виникають за межами математики.

Математичний опис електроенергетичної підсистеми, звісно, повинен мати свою специфіку, відмінну від теплоенергетичної чи гідроенергетичної частин системи. При складанні математичного опису необхідно врахувати, електрична система включає в себе силові елементи – генератори, трансформатори, перетворювачі, навантаження і електричні мережі.

Щоб подати математичний опис системи, необхідно у вигляді математичної моделі представити усі зв'язки між змінними величинами процесів. Вивчення цих процесів, влючаючи їх математичну інтерпритацію, напрямлено на забезпечення кращої роботи системи, основна задача якої – вироблення енергії.

# Побудова та обгрунтування схеми заміщення електричної мережі

## Обґрунтування способу зображення окремих елементів електричної мережі у схемі заміщення

Аналіз умов роботи електричної системи потребує розрахунку її усталеного режиму, метою якого являється визначення таких параметрів режиму, як напругу у вузлах, струми і потужності, що протікають по її окрамим елементам. Для виконання таких розрахунків реальної системи ставиться у відповідність так звана схема заміщення, що являє собою сукупність схем заміщення її окремих елементів, з'єднаних між собою в тій же послідовності, що і в реальній схемі.

Окремі елементи електричної системи в розрахунках усталеного режиму визначаються схемами заміщення, що складаються із елементів електричної мережі: джерел напруги і струму, опорів.

Джерела електроенергії можуть бути представлені у вигляді джерела напруги з ЕДС Е і внутрішнім опором Z (рис. 2.1), або у вигляді джерела струму J, значення якого рівно струму усталеного режиму І (рис. 2.1), причому останній зазвичай зображують так званим визначальним струмом (рис. 2.1).

Навантаження (споживачі ел.енергії) мають схему заміщення або у вигляді опору Z (рис. 2.1), або (аналогічно джерелу живлення) у вигляді джерела струму, рівному взятому з оберненим знаком струму навантаження (рис. 2.1), або ж у вигляді визначального струму (рис. 2.1).

рис. 2.1



З використанням даних позначень схему заміщення електричної мережі можна подати наступним чином:

Рис. 3.



## Зображення схеми заміщення у вигляді графа

Для спрощення зображення електричної мережі, та відображення її структури, схему електричної мережі зображають у вигляді графа, граф — це зображення електричної мережі у вигляді вузлів, і віток які з’єднують ці вузли, причому вітки зображаються без зображення опорів.

Якщо у графі можна вибрати шлях, який з’єднує його любі дві вершини, то цей граф називається зв’язаним, якщо ж це неможливо то такий граф називають незв’язаним. Якщо ребра графа мають фіксовані напрямки то такий граф називають направляючим.

Кожне ребро направленого графа має початкову і кінцеву точки.

Нашу схему електричної мережі можна зобразити у вигляді зв’язаного графа (рис. 5).



Рисунок 4

Тут виділено вітки дерева і хорди графа.

Дерево це найменший зв’язаний підграфграф, який можна виділити у вихідному графі, яка з’єднує усі вузли графа, та немає замкнених контурів.

Хорди це усі інші вітки які не ввійшли до дерева графа.

У подальших розрахунках усе що відноситься до дерева графа, буде позначатись індексом α, а все що стосується хорд графа позначатиметься індексом β.

Також у нашому графі можна виділити 1 замкнений контур.

## Обгрунтування та проведення нумерації віток схем заміщення

В нашій схемі вже вказано нумерацію вузлів, тому нам залишилося лише вказати напрямки віток графу, та їх нумерацію.

Напрямки шляхів графу визначаються таким чином: у дереві графу напрямок обирається від вузла балансу до віток, а вітки хорди по напрямку обходу контуру у якому вони знаходяться.

Нумерують вітки таким чином: вітки дерева нумерують по кінцевих вузлах, усі інші вітки нумеруються довільно (повне зображення графа із нумерацією, напрямками віток та розбиттям на дерево і хорди вказано на рис. 4).

## Визначення та побудова матриці параметрів режиму і параметрів системи для конкретної електричної мережі

Для направленого графа можуть бути визначені:

1. Матриця з′єднання віток в вузлах (перша матриця інциденції)

2. Матриця з′єднання віток в незалежні контури (друга матриця інциденції), які служать для узагальненого аналітичного представлення графа. Перша матриця інциденції прямокутна матриця , число рядків якої дорівнює числу вершин графа «n», а число стовпців — числу ребер «m». Вона позначається наступним чином:

MΣ = ( m i j ) i = 1....n j = 1....m

Елементи матриці MΣ можуть приймати одне з трьох значень :

m i j = +1 , якщо вузол і є початковою вершиною вітки j;

m i j = -1 , якщо вузол і є кінцевою вершиною вітки j;

m i j = 0 , якщо вузол і не є вершиною вітки j;

Друга матриця інцеденції – це прямокутна матриця , число рядків якої дорівнює числу незалежних контурів графа, «k» , а число стовпців – числу віток «m». Вона позначається наступним чином:

N ( n i j ), i = 1....k , j = 1....m .

Елементи матриці N можуть приймати одне з трьох значень :

n i j = + 1, якщо вітка «j» входить в контур «і» і їх напрямки співпадають;

n i j = - 1, якщо вітка «j» входить в контур «і» і їх напрямки не співпадають;

n i j = 0 , якщо вітка «j» не входить в контур «і».

Запишемо першу та другу матрицю інциденції для даного графа.

Перша матриця інцеденції:



Перша матриця інцеденції для вузла балансу



Перша матриця інцеденції включаючи вузол балансу



Друга матриця інцеденції:



# Складання рівнянь стану електричної мережі та їх розв’язання

## Складання рівнянь стану електричної мережі

Запишемо вхідні данні для нашої задачі:

Комплексна одиниця



При визначенні визначального струму ставимо знак «-», якщо у вузлі «і» споживач електричної енергії і знак «+», якщо у вузлі знаходиться джерело електричної енергії.

Стовбцева матриця потужності споживачів ВА



Напруга мережі В



Комплекні опори віток мережі:

Ом



Визначальна матриця струмів

А



Матриця провідностей віток



Ом



Матриця коефіцієнтів розподілу визначальних струмів для дерева графа:



## Вибір методу розв’язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь та його опис

Розв`язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь проводимо за допомогою метода Гауса.

### Опис методу Гауса.

Розв’язання системи «n» лінійних алгебраїчних рівнянь виду: А \* Х = В за алгоритмом Гауса складається із двох етапів. На першому етапі вихідна система за «n» однотипних кроків перетворюється таким чином, що матриця коефіцієнтів перетвореної системи стає верхньою трикутною. На другому етапі послідовно визначаються значення невідомих від Хn до Х1.

Послідовність операцій, які виконуються при прямому ході наступна:

На першому кроці у вихідній системі рівнянь

а11 × х1 + а12 × х2 + ... + а1n × хn = в1

а21 × х1 + а22 × х2 + ... + а2n × хn = в2

.........................................................

аn1 × х1 + аn2 × х2 + ... + аmn × хn = вn

перше рівняння ділиться на а11. Далі х1 виключається із всіх послідовно рівнянь (і=2...n) шляхом множення першого рівняння кожний раз на аі1 і вирахування із і-го рівняння. В результаті цих операцій отримується система рівнянь із матрицею коефіцієнтів :



.................................................

 , де



Виконання операцій першого кроку потребують, щоб а11 не дорівнював нулю.

Другий крок полягає у виключенні х2 із рівнянь 3...n, які отримали в першому кроці системи шляхом аналогічних операцій при використанні в якості ведучого елемента аnn (1).

В результаті система приводиться до вигляду А(2) \* Х = В(2)

Третій і наступні етапи виконуються аналогічно. Формули для розрахунку коефіцієнтів системи рівнянь на довільному кроці записуються так:



На останньому кроці (k = n) визначають .

В результаті перетворень матриці коефіцієнтів А вихідна система рівнянь перетвориться у верхню трикутну:



..................................................................................................



## Розрахунок та аналіз результатів. Перевірка на відповідність виконання I і II закону Кірхгофа

Матриця контурних опорів:

Ом



Для знаходження контурних струмів запишемо розширену матрицю коефіцієнтів розподілу визначальних струмів для дерева графа:



Також запишемо частину контурного рівняння у вигляді константи:



Запишемо матрицю контурних струмів:

А



Згідно визначення хорд графа запишемо .



А мадрицю струмів у вітках дерева графа:

А.



Тоді матриця струмів у вітках графа:

А.



І спади напруг віток схеми такі:

В



Запишемо матрицю вузлових напруг мережі:

В



В



Напруга джерела буде такою:

В.



### Перевірка отриманих результатів за законами Кірхгофа:

Перший закон Кірхгофа:



≈0



≈0



Другий закон Кірхгофа:

≈0



≈0



# Розрахунок потоків потужності на дільницях електричної мережі, сумарних втрат активної і реактивної потужності, найбільшого значення втрат напруги у мережі

## Перевірка на відповідність балансу активної та реактивної потужностей у вузлах схеми

Тут проводяться розрахунки по визначенню потоків потужності у вітках схеми, а також сумарних втрат активної та реактивної потужностей.

Визначення матриці повної потужності у вітках схеми проводиться у відповідності з виразом:



де  – матриця повної потужності у вітках схеми, розміру (n × m); m – кількість віток схеми;

Знак «Σ« позначає складання повних матриць, що включають у себе також вузол балансу;

Знак «Д» – позначає діагональну матрицю;

UYΣД  - діагональна матриця лінійних напруг вузлів, що включає вузол балансу



В



MΣ - перша матриця інциденцій, що включає і вузол балансу;

 - діагональна матриця спряжених значень струмів у вітках схеми:



А.



Тоді визначимо матрицю повної потужності у вітках схеми:



ВА



Для того, щоб отримати потужність центру живлення треба додати всі елементи останнього рядка матриці SB.

ВА



Втрати потужності у вітках  визначаються як сума значень по стовпцях матриці .



ВА



Отримані результати розрахунків необхідно перевірити у відповідності із співвідношенням:



ВА



ВА



де  - загальна потужність центру живлення, МВА;

 - загальна потужність електричних навантажень електричної системи.



Баланс потужностей при виконанні першого кола розрахунків не співпадає на відносно велику величину похибки . Це пов’язано з тим, що початкове визначення величини визначальних струмів Ji базувалось на використанні в формулі номінальної напруги мережі UH. Вказане значення напруги UH значно відрізняється від дійсного значення напруги у вузлах. Тому необхідно зробити повторне коло розрахунків і скористатись замість UH знайденими значеннями напруги вузлів.



### Друга ітерація

Запишемо струми у вітках враховуючи попередні розрахунки:

А



Також запишемо частину контурного рівняння у вигляді константи:



Запишемо матрицю контурних струмів:

А



Згідно визначення хорд графа запишемо .



А мадрицю струмів у вітках дерева графа:

А.



Тоді матриця струмів у вітках графа:

А.



І спади напруг віток схеми такі:

В



Запишемо матрицю вузлових напруг мережі:

В



В



Перевірка отриманих результатів за законами Кірхгофа:

Перший закон Кірхгофа:



≈0



≈0



Другий закон Кірхгофа:

≈0



≈0



Діагональна матриця вузлових напруг:



Діагональна матриця струмів у вітках (комплексно спряжених):



Матриця повної потужності у вітках схеми:



Для того, щоб отримати потужність центру живлення треба додати всі елементи останнього рядка матриці SB.



Втрати потужності у вітках  визначаються як сума значень по стовпцях матриці .



Отримані результати розрахунків необхідно перевірити у відповідності із співвідношенням:



Потоки потужностей у вітках:



# Оцінка надійності електропостачання окремих підстанцій електричної мережі

## Деякі теоретичні відомості про надійність електропостачання споживачів

Електричні системи об’єднують велике число різноманітних технічних установок, як генеруючи, так і тих, які передають енергію; особливо велике число установок, які перетворюють енергію. Звісно, що умови роботи великої кількості навіть однорідних технічних установок різко відрізняються один від одного і носять з точки зору енергетичної системи як цілого випадковий характер. Так, наприклад, та чи інша установка споживачів випадково може бути або увімкнене на, або вимкнена від електричної мережі, працювати з тією чи іншою ступінню використання. В результаті накладання одне на одного таких випадкових подій отримується та чи інша величина попиту електричної потужності в енергосистемі, яка залежить від кількості випадкових подій. Аварійні пошкодження окремих елементів електричної мережі, або зниження даної потужності також являються випадковими подіями, які виникають в результаті накладання великого числа несприятливих умов.

В енергетиці дуже важливо при вирішенні задач оптимізації, інакше кажучи виборі оптимальних рішень, використовувати імовірнісні характеристики випадкових явищ. Так, наприклад, надійність електропостачання окремих споживачів залежить від випадкових подій. Вона визначається аварійними пошкодженнями обладнання, через яке споживач отримує електричну енергію. Можна вибрати схему живлення споживача або більш надійною, або менш надійною. Очевидно, що оптимальна схема буде відповідати мінімуму народних затрат. Щоб знайти цей мінімум, потрібно оцінити не тільки затрати на створення тієї чи іншої схеми електроспоживання, а також і ймовірний збиток від ушкоджень схем, які розглядаються. Визначення ймовірного збитку неможливо без використання методів теорії імовірностей.

## Основні теореми випадкових подій.

Надійність електропостачання окремих споживачів залежить від випадкових подій. Вона визначається аварійними пошкодженнями обладнання, за допомогою якого споживач отримує електричну енергію.

Розрахунки ймовірності збереження електропостачання для окремих підстанцій системи виконуються на основі законів складних випадкових подій.

Для незалежних випадкових подій ці закони можна сформулювати таким чином:

1) ймовірність виникнення навіть однієї з n незалежних та несумісних подій Ai дорівнює сумі ймовірностей цих подій:



2) для сумісних незалежних подій формула визначення ймовірності виникнення навіть однієї з n подій така:



де Р(Ai)– ймовірність події Ai.

3) ймовірність одночасного виникнення двох несумісних подій А і В дорівнює нулю. Одночасне виникнення двох подій А і В символічно позначається їх добутком АВ.

Р(АВ) = 0

4) ймовірність одночасного виникнення двох незалежних і сумісних подій дорівнює добутку їх ймовірностей:

Р(АВ) = Р(А) ⋅ Р(В)

Якщо кількість подій n, то формула (2.20) у загальному вигляді зміниться таким чином:



де П – символ добутку.

5) сума ймовірностей протилежних подій дорівнює одиниці:



Подія  протилежна даній події А.

Ймовірність протилежної події визначається так:



## Розрахунок надійності підстанцій мережі на основі теорем про випадкові події

В нас задано такі імовірності пошкодження віток повітряних віток ліній передач:



### Розрахунок надійності першої підстанції.

Для цього зобразимо схему за допомогою якої перша підстанція може отримувати електричну енергію.



Визначимо імовірність того, що перша підстанція не отримує електричну енергію:



Тепер визначимо імовірність отримання електричної енергії підстанцією №1:



### Розрахунок надійності другої підстанції.

Для цього зобразимо схему за допомогою якої перша підстанція може отримувати електричну енергію.



Визначимо імовірність того, що перша підстанція не отримує електричну енергію:



Тепер визначимо імовірність отримання електричної енергії підстанцією №1:



### Розрахунок надійності третьої підстанції.

Для цього зобразимо схему за допомогою якої перша підстанція може отримувати електричну енергію.



Визначимо імовірність того, що перша підстанція не отримує електричну енергію:



Тепер визначимо імовірність отримання електричної енергії підстанцією №1:



# Висновки.

Дана курсова робота заключалась в тому, що потрібно було розрахувати електричну систему нормального уставленого режиму на підставі методів теорії граф.

Також були визначені та побудовані матриці параметрів режиму та параметрів системи.

Розрахунок проводився в дві ітерації. Це пояснюється тим, що коли ми проводили розрахунок елементів матриці визначальних струмів, у формулі було використано номінальну напругу мережі. Точніше, вважалось, що напруга в мережі доходить до споживачів без втрат. Насправді це не так. Ітерації проводились лише за для того, щоб в результаті отримати більш точні результати.

Коли мережа має складну конфігурацію, то основними складнощами при досліджені являються: складання алгебраїчних рівнянь стану електричної мережі, визначення великої кількості шуканих величин. Складання і розв’язання цих рівнянь зручно проводити матричними методами на підставі ЕОМ.

В енергетиці дуже широке значення має теорія ймовірностей. Вона дозволяє вибрати більш надійну схему електропостачання, що в свою чергу забезпечить мінімальні витрати народного господарства.

# Література

1. Расчеты и анализ режимов сетей. Под ред. В.А. Веникова. М., «Энергия», 1974.

2. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики. Под ред. В.А. Веникова. М., Высшая школа, 1981.

3. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики. – Львів: Вища школа, 1989

4. Курков С.О. Положення про виконання курсових проектів і робіт у ВДТУ. Вінниця, ВДТУ. 1998.