

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Електричні системи і мережі»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Електромеханіка)***

**За темою № 5 - Фізичні основи методів розрахунку режимів замкнутих
електричних мереж**

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1.

Розробник:

Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, викладач вищої категорії, Шокарьов Д.А.

Рецензенти:

- 1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю. М.*
- 2. К.т.н., професор, завідувач кафедрою електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Лазуренко О.П.*

План лекції:

1. Загальні положення .
2. Стисла характеристика методів розрахунку робочих режимів складнозамкненої мережі.
3. Особливості розрахунку складнозамкненої мережі при декількох живлячих пунктах.
4. Розрахунок робочих режимів складнозамкнених мереж на ЕОМ.
5. Питання для самоконтролю.

Література:

Основна література:

1. Матвійчук А. Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник/ Матвійчук А. Я., В. Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М.Коцюбинського. – Вінниця, 2017. -270 с.
2. Міліх В. І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для здобувач вищої освіти ів електромеханічних спеціальностей / В.І. Міліх, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
3. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи / Третє видання, доповнене та перероблене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 540 с.

Допоміжна література:

1. Шестеренко, В. Є. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування / Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. — Київ, 2015. — 424 с.
2. Електричні системи та мережі. Методичні вказівки до виконання курсового проектування районної електричної мережі для здобувач вищої освіти ів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». /Укл.: А.П. Свірідов, Т.В. Величко – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 80 с.
3. Козлов В. Д. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів: підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова.— К.: НАУ, 2018. – 312 с.

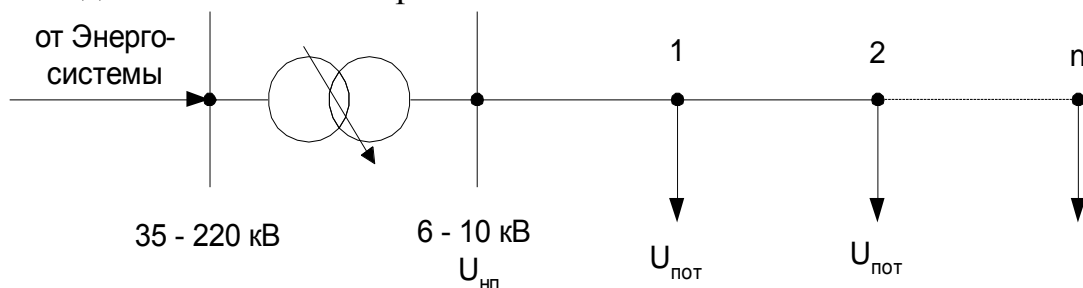
Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Офіційний сайт Міністерство енергетики України <http://mpe.kmu.gov.ua/>
2. Сервер Верховної Ради України. – Режим доступу : www.rada.gov.ua.

1 Загальні положення .

* Складна замкнена (багатоконтурною) мережею називається мережа, яка має вузлові точки, тобто точки в яких з'єднуються не менше трьох ліній не враховуючи навантаження.

Одна із схем такої мережі:



На цьому малюнку: А1 – А4 – центри живлення,
1, 2, 3, 4 – вузлові точки.

Споживачі у вузлах можуть отримувати енергію з трьох сторін.

Розрахунок режимів таких мереж значно складніше ніж розімкнених або простих замкнених мереж.

При розрахунках таких мереж задані навантаження, параметри ліній і напруга хоч би одного з центрів живлення (ЦЖ)

При наявності декількох ЦЖ, один з них (будь-який) із заданою напругою приймають за базисний.

Задача розрахунків – знаходження потужностей (струмів) на ділянках мережі.

Розрахунок розподілу потоків потужності в лініях і напруги у вузлах цих мереж може бути виконаний одним з відомих з ТОЕ методів: метод контурних струмів (потужностей), метод вузлових напруг і метод перетворень. Ці методи використовуються з застосуванням ЕОМ (в основному – метод вузлових напруг).

2 Стисла характеристика методів розрахунку робочих режимів складнозамкненої мережі.

Розглянемо порядок розрахунку мережі для декількох розрахункових випадків:

1. Розрахунок з одним пунктом живлення.

В цьому випадку використовуються два відомих з ТОЕ методи: метод контурних струмів і метод вузлових напруг.

а) Метод контурних струмів

1. Якщо на першому етапі розрахунку поперечними гілками та втратами потужності на ділянках знехтувати, то розрахунок мережі зводиться до послідовності етапів:

- визначається число незалежних контурів рівне числу ліній мінус число вузлів. Незалежним контуром називається такий, в якому хоча б одна з гілок не входить в інші контури, при цьому живлячий пункт умовно за вузол не приймається.

- задаємося незалежними невідомими потужностями (струмами).

- усі потужності на кожній ділянці виразимо крізь задані навантаження по 1 закону Кірхгофа.

- складаємо контурні рівняння за 2 законом Кірхгофа. Число рівнянь повинно дорівнювати числу невідомих або числу контурів.

- з n складених контурних рівнянь знаходимо n невідомих контурних потужностей (струмів)

- визначається потужність на кожній ділянці.

- перевіряється правильність рішень за цифрами по 1 і 2 закону Кірхгофа; визначаємо точку потокорозділу (струморозділу).

2. Приклади розрахунків складнозамкнених мереж цим методом приведені в додатку до навчального посібника: Блок В.М. « Электрические системы и сети»

б) Метод вузлових напруг .

Етапи розрахунку:

- задаємося невідомими напругами в усіх вузлах.

- визначаємо потужності (струми) для кожної лінії на ділянках, так як в мережі з двостороннім живленням, при цьому в якості живлючих пунктів приймаються кінці кожної лінії з відповідним навантаженням. В лініях без навантаження визначається лише зрівняльний струм (потужність).

- знаючи потужності (струми), що підтікають до вузлів або відтікають від них, складаємо за 1 законом Кірхгофа умовні рівняння. Число рівнянь дорівнює числу невідомих вузлів напруги (або числу вузлів), при цьому живлячий пункт за вузол не приймається.

- із систем вузлових рівнянь знаходять невідомі напруги у вузлах.

- визначаємо потужності на кожній ділянці як в мережі з двостороннім живленням.

Наступні пункти повторюють операції методу контурних струмів.

Розглядаючи область використання цих методів, вкажемо, що найбільш відповідним методом є метод з меншим числом рівнянь. Тому:

- якщо в розглядаємій мережі контурів менше ніж вузлів, то використовуємо метод контурних струмів.

- якщо вузлів менше ніж контурів, то використовують метод вузлових потенціалів (напруг).

3 Особливості розрахунку складнозамкненої мережі при декількох живлячих пунктах.

Розглянемо особливості розрахунку складнозамкненої мережі при декількох живлячих пунктах:

- в цьому випадку можуть бути задані напруга або потужність. При цьому для одних живлячих пунктів задані тільки напруга, для інших – тільки потужність. Потужності всіх живлячих пунктів не можуть бути вибрані довільно, тобто необхідно виконати умови балансу потужностей. Тому один із живлячих пунктів (будь-який) із заданою напругою вибирається в якості балансуєчого вузла, потужність цього вузла вибирається із умови балансу потужності даної мережі, тобто потужність балансуєчого вузла в першому приближенні визначається як алгебраїчна сума навантажень (навантажувальних потужностей). При цьому потужності навантаження (відомі) приймаємо зі знаком «+», а потужності живлячих пунктів які залишилися зі знаком «-».

Після визначення втрат потужності в мережі $\sum \Delta S$ потужність балансуєчого вузла уточнюється так, щоб в балансі враховувалися також втрати потужності.

$$\dot{S}_{Albal} = \dot{S}'_{Al} + \sum \Delta \dot{S}$$

Якщо в мережі тільки один живлячий пункт, то його зручно приймати за балансуєчий.

Далі розрахунки проводяться так, щоб отримати необхідне число рівнянь, що дорівнює числу невідомих. Крім рівнянь контурних струмів (потужностей) або вузлів напруги складаються додаткові рівняння:

1. для кожного вузла із заданою напругою. Ця напруга повинна дорівнювати напрузі балансуєчого вузла мінус сумарне падіння напруг між балансуєчим і розглядаємим вузлом.

2. складається рівняння за 1 законом Кірхгофа для живлячих пунктів із заданою потужністю.

Таким чином, як загальне число невідомих, так і загальне число рівнянь збільшується на число живлячих пунктів, крім балансуєчого.

4 Розрахунок робочих режимів складнозамкнених мереж на ЕОМ.

Всі викладені вище методи розрахунку складнозамкнених мереж практично можуть бути використані тільки для мереж з невеликим числом контурів і вузлів. Крім того, ці методи мають ряд приближень, так як не враховують ряд факторів:

1 - не враховують втрати потужності і напруги.

2 - не враховують поперечні провідності, що в районних мережах призводить до великих похибок.

3 - не враховується залежність навантаження (потужності) від напруги.

Між тим, сучасні енергетичні системи мають складні структури і містять сотні і десятки сотень замкнених контурів і вузлів. В цьому зв'язку безпосереднє рішення системи рівнянь для таких випадків можливо тільки за допомогою ЕОМ, при цьому вимагаються спеціальні методи, які можуть бути достатньо просто переведенні на мову машин. В основі розрахунку і аналізу

складнозамкнених мереж в якості математичного апарату використовується матрична алгебра. Таким чином необхідно насамперед знати рівні напруги всіх вузлів, до яких підключені споживачі і джерела електричної енергії, для цих розрахунків в основному використовують метод вузлових напруг.

Як відомо із ТОЕ вузлове рівняння для i -го невідомого вузла в канонічній формі має вигляд:

$$\sum_{ij=1}^n \dot{Y}_{ij} \cdot \dot{U}_{i\Delta} = \sum \dot{I}_i \quad (1)$$

\dot{Y}_{ij} – комплексна провідність гілки (лінії), включеною між вузлами i і j .
 $i \neq j$

$\dot{U}_{j\Delta}$ – комплексне значення вузлової напруги між j -м і базисними вузлами.

\dot{I}_i – комплексне значення струму навантаження в i -тому вузлі мережі.

Мережа з n незалежними вузлами описуються системою n рівнянь вузлових напруг. В матричній формі рівняння вузлових напруг (1) запишеться у вигляді матричного рівняння:

$$\dot{Y} \dot{U}_{\Delta} = \dot{I}, \quad (2)$$

\dot{Y} – квадратна матриця вузлових провідностей,

\dot{U}_{Δ} – стовбова матриця вузлових напруг,

\dot{I} – стовбова матриця струмів навантаження.

Значення вказаних матриць:

$$\dot{I} = \begin{pmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dots \\ \dot{I}_n \end{pmatrix}, \quad \dot{U}_{\Delta} = \begin{pmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dots \\ \dot{U}_n \end{pmatrix}, \quad \dot{Y} = \begin{pmatrix} \dot{Y}_{11} \dots \dot{Y}_{1n} \\ \dot{Y}_{21} \dots \dot{Y}_{2n} \\ \dots \\ \dot{Y}_{n1} \dots \dot{Y}_{nn} \end{pmatrix}$$

Із виразу (2) можна знайти матрицю вузлових напруг:

$$\dot{U}_{\Delta} = \dot{Y}^{-1} \dot{I}, \quad (3)$$

де \dot{Y}^{-1} – зворотня матриця.

Якщо навантаження у вузлах задані струмами, то матричне рівняння (3) являється лінійним і його можна розраховувати на ЕОМ за допомогою метода Гаусса. Але часто навантаження споживача або джерела живлення задаються потужностями. Тоді права частина рівняння (2) запишеться:

$$\dot{I} = U^{-1} S \quad (4)$$

Рівняння (2) в такому випадку буде мати вигляд:

$$\dot{I} \dot{U}_{\Delta} = U^{-1} S \quad (5)$$

В цьому рівнянні має місце не лінійна залежність, тому для рішення не лінійних рівнянь застосовують наближені (ітераційні) методи розрахунку, тобто такі методи, які дозволяють отримувати рішення із заданою точністю шляхом виконання однотипних розрахунків (ітерацій), що повторюються. Число ітерацій заздалегідь невідомо і залежить від швидкості «сходження» ітерацій метода і прийнятих вихідних наближених змінних.

Із ітераційних методів числового рішення нелінійних рівнянь найбільш поширені:

- методи простої ітерації
- методи Зейделя (або Зайделя)
- метод Ньютона.

Метод простої ітерації зводиться до рішення системи нелінійних рівнянь декількома етапами. Для необхідної точності розрахунків такий метод вимагає звичайно 15÷16 ітерацій. Для розрахунку режимів мережі на ЕОМ використовують більш вдосконалені методи, які забезпечують сходження при меншому числі операцій, ніж у цьому методі.

В теперішній час використовують в основному два інших методи.

Метод Зейделя оснований на тому, що уточнення на (i+1) ітерації напруги k-того вузла використовують зразу ж для обчислювання всіх наступних змінних. При цьому в якості першої ітерації приймається напруга, що дорівнює Uном.

Цей метод інколи не дає необхідної швидкості сходження результатів.

Більш розповсюджений метод при розрахунку складно замкнених мереж на ЕОМ – метод Ньютона, який завжди забезпечує високу швидкість сходження. Цей метод зводиться до послідовної заміни нелінійної системи рівнянь до деякої лінійної, тобто проводиться приближена лінеаризація нелінійної функції до лінійної.

4. Питання для самоконтролю

- 1 Розрахунок режиму розгалуженої розімкнутої мережі однієї номінальної напруги.
- 2 Розрахунок режиму розімкнутої мережі декількох номінальних напруг.
- 3 Електричний розрахунок розподільних електричних мереж.
- 4 Основи розрахунку режимів замкнутих мереж.