



**Міністерство освіти і науки України**

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій**

**Кафедра «Електропостачання та енергетичного  
менеджменту»**

## **ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
«Дослідження режимів роботи ліній з двостороннім  
живленням за допомогою комп'ютерного моделювання»  
з дисципліни для здобувачів першого  
(бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми  
навчання зі спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»**

**Харків  
2023**

Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних  
технологій

Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

## ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
«Дослідження режимів роботи ліній з двостороннім  
живленням за допомогою комп'ютерного моделювання»  
з дисципліни для здобувачів першого  
(бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми  
навчання зі спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

Затверджено  
рішенням Науково-методичної  
ради факультету ЕРКТ ДБТУ  
Протокол № 3  
від 22. 02. 2023 р.

Харків  
2023

УДК 621. 32

П 32

Схвалено на засіданні кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту

Протокол № 7 від 08 лютого 2021р.

**Рецензенти:**

*С. О. Тимчук*, д-р техн. наук, проф., зав кафедри АКІТ Державного біотехнологічного університету.

*Ю. М. Хандола*, канд. техн. наук, доц., зав. каф. ЕРБМІЕ Державного біотехнологічного університету.

П 32 Дослідження режимів роботи ліній з двостороннім живленням за допомогою комп'ютерного моделювання: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ден. форми навчання зі спец. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ Держ. Біотехнол. ун-т ; уклад.: С. А. Попадченко, О. А. Савченко. – Харків: [б. в.], 2023 – 32 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни «Основи електропостачання». Видання включає теоретичну частину та вимоги до їх виконання, визначення потужностей навантаження та знаходження точки струморозподілу, запитання для самоконтролю, а також рекомендовану літературу.

Методичні вказівки призначені здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**УДК 621. 32**

**Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник**, д-р техн. наук.

© Попадченко С. А., Савченко О. А.,  
2023

© ДБТУ, 2023

## Лабораторна робота.

### «Дослідження режимів роботи ліній з двостороннім живленням за допомогою комп'ютерного моделювання»

#### I. Мета роботи:

вивчити та проаналізувати режими роботи ліній електропередавання з двостороннім живленням;

освоїти методи розрахунку електричних параметрів: опір, струм, напруга, потужність;

навчитись проводити дослідження за допомогою комп'ютерного моделювання.

#### II. Звіт по роботі повинен мати:

1. Мету роботи.

2. Розрахунки опорів, потужності, струмів, оригіналу та моделі електричних мереж.

3. Електричні принципові схеми мережі оригіналу та моделі (рис.3,4).

4. Таблицю з даними вимірювань струму та напруги в контрольних точках мережі.

5. Залежності струму  $I = f(l)$ , змін напруги  $U = f(Z_n)$  від довжини та опору лінії побудовані для післяаварійного режиму.

**Примітка.** Залежності можуть бути побудовані по розрахунковим даним.

6. Висновки по роботі.

#### III. Пояснення до роботи

Електричні мережі повинні забезпечити надійне електропостачання всіх трьох груп споживачів за вимогами до на-

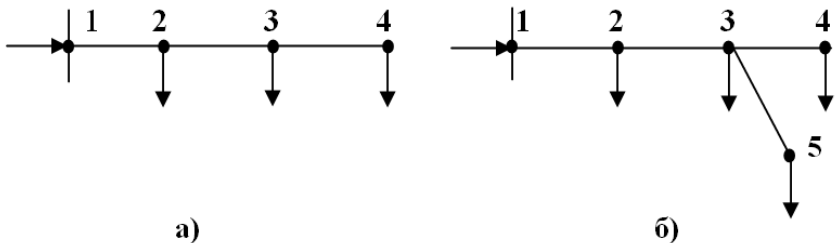
дійності, забезпечити необхідну якість електроенергії бути безпечними для людей і тварин та відповідати вимогам економічності.

Споживачі сільської місцевості, в більшості, мають невелику потужність та розосередження на великій території. Тому для передачі і розподілу електроенергії використовується значна кількість різного виду ліній за їх конфігурацією.

За конфігурацією електричної схеми с мережі діляться на кілька груп: радіальні (рис. 1, а), радіально резервовані, радіально розгалужені(рис. 1, б); петльові мережі, замкнені та інші види.

Якщо від лінії живиться один або кілька послідовно розташованих споживачів, то мережу називають радіальною.

Якщо радіальна мережа має відгалуження, то називається радіально розгалуженою.



**Рисунок 1 – Приклади розімкнених мереж:**

а) нерозгалужена; б) радіально розгалужена

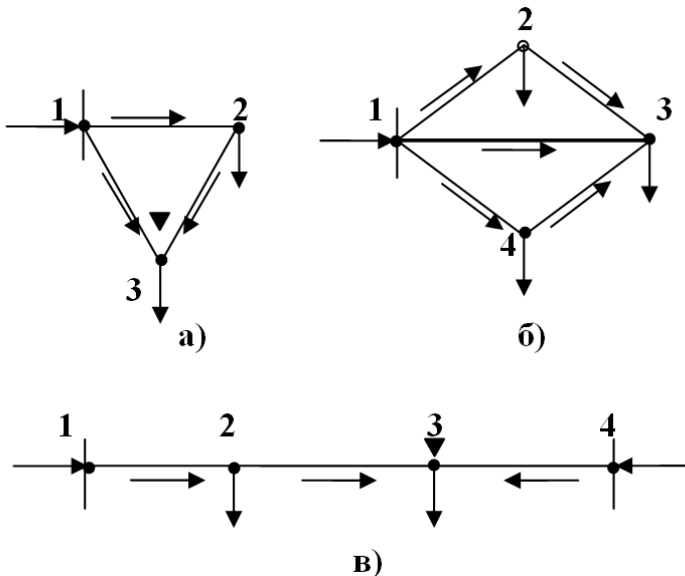
Радіально або радіально розгалужена мережі можуть мати резервне живлення через такі ж самі лінії. В такій конфігурації лінії називаються радіальними резервованими розімкнутими або їх називають скорочено умовно замкненими.

Якщо лінія підключена з двох кінців до одного і того ж джерела струму, то вона називається кільцевою.

Замкнутими електричними мережами називають мережі, в яких електроенергія споживачам може подаватися не менше ніж з двох сторін.

До простих замкнутих мереж відносяться мережі, що складаються з одного контуру (рисунок 2, б) або представляють собою розімкнену лінію, що живиться з двох кінців (рисунок 2, в). У цих мережах кожен вузол навантаження отримує живлення по двох лініях.

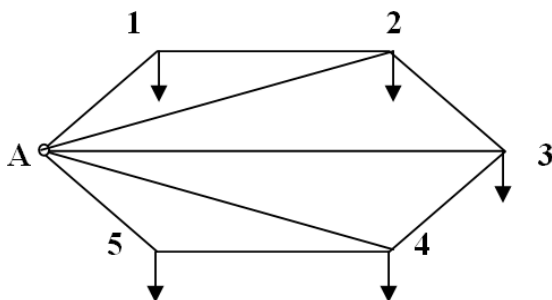
Частина ліній, по яким забезпечується резервне живлення, називається магістральною частиною ліній (магістраллю), а всі інші лінії, приєднані до магістралі, називаються відгалуженнями.



**Рисунок 2 – Приклади простих замкнених мереж:**

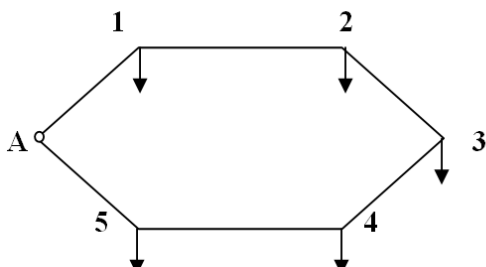
а) – трикутник; б) – складно замкнена лінія; в) – лінія з двостороннім живленням.

Якщо в мережі будуть проведені додаткові внутрішні лінії А-2, А-3 і А-4 (рис. 3), то точки 2 ... 4 отримують живлення з трьох сторін і їх називають вузловими або вузлами, а мережа з вузловими точками - складною замкненою. У цій мережі при обриві лінії на будь-якій з ділянок електропостачання всіх споживачів більш надійне, ніж в простій замкнутої мережі.



**Рисунок 3 – Схема складної замкненої мережі з одним джерелом живлення.**

Мережа, зображена на рис. 4 забезпечена джерелом живлення А.



**Рисунок 4 – Схема простої замкненої мережі з одним джерелом живлення.**

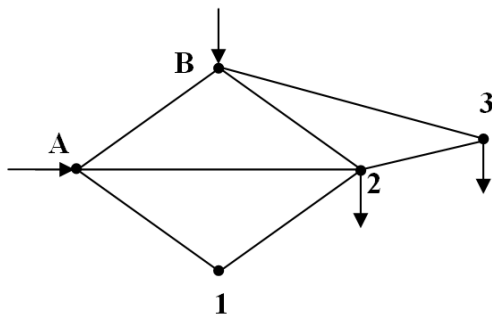
При виході його з ладу припиняється електропостачання всіх споживачів цих мереж. Для підвищення його надійності потрібно збільшити число джерел живлення в мережі.

Для розімкнених нерезервованих мереж характерні довгострокові перерви електропостачання споживачів, викликані втратами часу на пошук пошкодження.

В резервованих мережах вимикання пошкодженої ділянки оперативно можна виконати або автоматично дистанційно діючими пристроями, або приєднати значну частину усіх споживачів до резервного джерела живлення. Більш надійними є замкнені мережі.

До більш складних замкнених мереж відносяться мережі, що містять кілька контурів.

Причому в контури можуть входити лінії як однієї (рисунок 5), так і декількох номінальних напруг (рисунок 6).



**Рисунок 5 – Складно замкнена мережа однієї номінальної напруги.**

У складній замкненій мережі (рис. 6) є вузол, з яким пов'язані три гілки і більш. Складна замкнена мережа містить два і більше контури з декількома джерелами живлення і забезпечує найбільш високу надійність електропостачання.

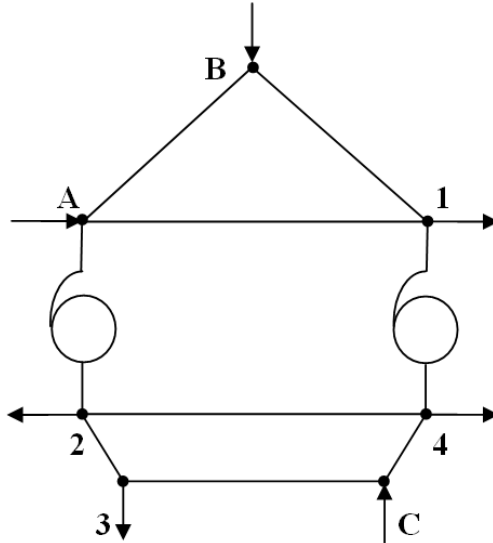


Недоліки замкнених мереж полягають в значно більшій вартості і витраті матеріалів.

Крім того, захист замкнених мереж від коротких замикань складніше, ніж захист радіальних. Цим і пояснюється, що замкнені мережі в сільському господарстві застосовують недостатньо. Їх використовують у вигляді ліній з двостороннім живленням (рис. 2, в), які служать лініями зв'язку сільських підстанцій і іноді електростанцій, що працюють спільно в електричних системах.

Елементи схем заміщення містять активні і пасивні елементи. Пасивні елементи поділяють на поздовжні і поперечні.

Поперечні пасивні елементи - це гілки, включені між вузлами схеми і нейтраллю або землею. Поперечні пасивні елементи відповідності проведених ліній на землю, реакторів і конденсаторів, включеним на землю.



**Рисунок 6 – Складна замкнена мережа декількох номінальних напруг.**

У деяких схемах заміщення втрати в сталі трансформаторів представляють, як поперечні провідності.

Поздовжні пасивні гілки - це гілки, що з'єднують всі вузли, крім вузла з напругою рівною нулю, тобто поздовжні гілки не з'єднані з нейтраллю або землею. Поздовжні гілки включають активні і індуктивні опори ліній електропередач, обмоток трансформаторів і ємності пристроїв поздовжньої компенсації.

До активних елементів схеми заміщення мережі відносять джерела ЕРС і струму. Джерела ЕРС в розрахунках електричних систем використовуються рідко, частіше застосовуються джерела струму.

При роботі мереж розглядаються усталені нормальні і аварійні режими. У розрахунках усталених режимів пасивні нелінійні елементи зазвичай не враховують, і поздовжня схема заміщення розглядається як лінійна. Але нелінійність джерел живлення враховують.

До основних переваг замкнутих мереж відносяться більш висока надійність електропостачання споживачів і підвищена економічність через менші втрати активної потужності.

Недоліком є ускладнення їх експлуатації, а також подорожчання через велику кількість ліній в складнозамкнутих мережах.

Розрахунки режимів замкнутих електричних мереж значно складніші, ніж розімкнутих.

У розімкнутих мережах потужності на окремих ділянках знаходять простим послідовним підсумовуванням навантажень і втрати потужності.

У замкнутих мережах розподіл потужностей по гілках схеми не очевидний і залежить від довжин і перерізів прово-

дів ділянок, величин навантажень вузлів і режимів напруг джерел живлення.

Тому для розрахунку замкнутих мереж застосовують спеціальні методи.

Як і для розімкнутих мереж, електричні розрахунки замкнутих мереж виконують, як правило, для найбільш характерних нормальних сталих режимів найбільших і найменших навантажень.

Крім того, при аналізі замкнутих мереж додатково потрібне проведення розрахунків післяаварійних режимів при відключенні окремих елементів мережі. Це пов'язано з тим, що відключення ділянки замкнутої мережі може викликати істотну зміну режиму напруг і потоків потужності, які можуть виявитися неприпустимими.

Більшість практичних розрахунків замкнутих мереж виконують на персональному комп'ютері (ПК).

З одного боку, це пояснюється великими складнощами розрахунків через розгалуженості реальних мереж, що містять велику кількість контурів, вузлів і ділянок мережі.

З іншого боку, для таких розрахунків створені досить ефективні алгоритми і програми на ПК.

Освоєння методів розрахунку замкнутих мереж необхідно для розуміння фізичної сутності процесів, пов'язаних з режимами електричної мережі, і умов, при яких проводяться розрахунки на ПК.

Лінія з двостороннім живленням є окремим випадком простої (одноконтурної) замкнутої мережі.

У вигляді такої лінії може бути представлена одноконтурна мережа, якщо її джерело живлення подумки розділити на два, тоді напруги обох вузлів, що живлять, будуть рівні за модулем і по фазі.

Поєднання надійності і економічності та якості електроенергії забезпечується правильністю вибору схеми електропостачання.

При розрахунку ліній з двохстороннім живленням задають такі режими роботи електромереж:

- нормальний режим, відповідно до якого проектується мережа;
- післяаварійний режим, який настає після вимкнення якого-небудь елемента мережі або джерела струму.

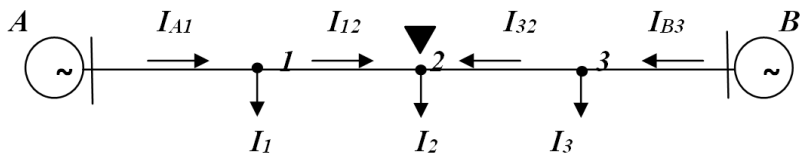
Розрахунок складних замкнутих мереж проводять у такій послідовності:

- визначають магістраль, для якої вибирають однорідні проводи стандартного перерізу;
- послідовним звертанням схеми складної замкнутої мережі перетворюють її у лінію з двохстороннім живленням;
- в лінії з двохстороннім живленням знаходять потужність або струм, що витікають із джерел живлення, визначають розподіл їх по магістралі та знаходять точку струморозподілу;
- обчислюють втрату напруги до точки струморозподілу в нормальному режимі;
- обчислюють втрату напруги в після аварійних режимах (живлення від одного джерела струму) і якщо втрата напруги перевищує допустиму, то приймають рішення: змінюють переріз проводу; використовують лінійні засоби регулювання напруги.

Розглянемо деякі теоретичні положення розрахунку ліній з двохстороннім живленням.

Припустимо, що в лінії, рис. 7, точка 1 живиться від джерела «А», а точка 3 – від джерела «В». Точку 2, яка жи-

вється від обох джерел, називають точкою струмоподілу і позначають на схемі трикутником.



**Рисунок 7 – Принципова схема лінії з двостороннім живленням**

Позначимо струми навантаження  $i_1, i_2, i_3$ , а струми, що проходять по ділянках магістральної частини  $I_{A1}, I_{12}, I_{32}, I_{B3}$ . Сума струмів, що витікають із джерел живлення, дорівнює сумі струмів навантаження:

$$I_{A1} + I_{B3} = i_1 + i_2 + i_3, \quad (1)$$

Напруги джерел живлення можуть бути як рівними  $U_A = U_B$ , так і нерівними  $U_A \neq U_B$ .

Для струмів, що виходять із джерела А та В, згідно [1,2] запишемо:

$$I_{A1} = \frac{U_A - U_B}{\sqrt{3}Z_{AB}} + \frac{\sum_k i_k Z_{K-B}}{Z_{AB}}; \quad (2)$$

$$I_{B3} = \frac{U_B - U_A}{\sqrt{3}Z_{AB}} + \frac{\sum_k i_k Z_{K-A}}{Z_{AB}}, \quad (3)$$

де  $U_A, U_B$  - лінійна напруга на шинах джерел струму;

$Z_{K-B}, Z_{K-A}$  - опори ділянок в напрямках від джерела В до  $k$  та від джерела А до  $k$  - і точки (вузла);

$Z_{AB}$  - повний опір лінії від джерела  $A$  до  $B$ .

Якщо  $i_1 = i_2 = i_3 = 0$ , а  $U_A \neq U_B$ , то в лінії буде протікати зрівнювальний струм, обумовлений різницею напруг і зсувом фаз між ними:

$$I_{3p} = \frac{U_A - U_B}{\sqrt{3}Z_{AB}}. \quad (4)$$

За умови, що  $U_A = U_B$  із джерела витікають лише струми навантаження, які називаються лінійними навантажувальними струмами:

$$I_{A1} = \frac{\sum_{k=1}^k i_k Z_{K-B}}{Z_{AB}}; \quad I_{B3} = \frac{\sum_{k=1}^k i_k Z_{K-A}}{Z_{AB}}. \quad (5)$$

За умовами, що провід однакового перерізу та рівний коефіцієнт потужності споживачів, струми та потужності джерел живлення ( $U_A = U_B$ ) визначають за формулами:

- струми:

$$I_{A1} = \frac{\sum_{k=1}^k i_k l_{K-B}}{L_{AB}}; \quad I_{B3} = \frac{\sum_{k=1}^k i_k l_{A-K}}{L_{AB}}; \quad (6)$$

- повні потужності:

$$S_{A1} = \frac{\sum_{k=1}^k S_k l_{K-B}}{L_{AB}}; \quad S_{B3} = \frac{\sum_{k=1}^k S_k l_{A-K}}{L_{AB}}, \quad (7)$$

де  $l_k$  - довжина ділянки від джерела  $B$  до  $K$  від джерела  $A$  до  $k$ -ї точки;

$L_{AB}$  - довжина магістральної частини лінії.

Якщо коефіцієнти потужності навантажень не рівні, то визначають окремо активні і реактивні потужності джерел за формулами:

$$P_{A1} = \frac{\sum_1^k P_k l_{K-B}}{L_{AB}}; \quad Q_{A-1} = \frac{\sum_1^k q_k l_{A-K}}{L_{AB}}; \quad (8)$$

$$P_{B3} = \frac{\sum_1^k P_k l_{K-A}}{L_{AB}}; \quad Q_{B3} = \frac{\sum_1^k q_k l_{A-K}}{L_{AB}}. \quad (9)$$

Отже в лініях з двостороннім живленням спочатку визначають струм або потужність, що витікає з джерел, а потім струми (потужності), що протікають по окремих ділянках лінії.

Точка, в якій струм або потужність змінюють свій знак, є точкою струморозподілу.

Якщо задані потужності навантажень, то потоки потужності на головних ділянках лінії з двостороннім живленням в разі, коли  $U_A > U_B$ , визначаються виразами:

$$\underline{S}_{A1} = \frac{\sum_i^* \underline{S}_i \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}^*} + \frac{\underline{U}_A - \underline{U}_B}{\underline{Z}_{AB}^*} \cdot U_{ном}; \quad (10)$$

$$\underline{S}_{B3} = \frac{\sum_i^* \underline{S}_i \cdot \underline{Z}_{iA}^*}{\underline{Z}_{AB}^*} + \frac{\underline{U}_B - \underline{U}_A}{\underline{Z}_{AB}^*} \cdot U_{ном}; \quad (11)$$

де  $U_{ном}$  - номінальна напруга електричної мережі;

$\underline{S}_i$  - потужність і-го навантаження, МВА;

$\underline{Z}_{AB}^*$  - повний опір електропередачі від точки А до точки В (пов'язане значення), Ом;

$\underline{U}_B^*$ ,  $\underline{U}_A^*$  - напруга джерела живлення (пов'язане значення), В.

Якщо задані струми навантажень, то за відповідними виразами визначаються струми головних ділянок:

$$\underline{I}_{A1} = \frac{\sum_i^* \underline{I}_i \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}} + \frac{\underline{U}_A^* - \underline{U}_B^*}{\sqrt{3}\underline{Z}_{AB}} \cdot U_{ном}; \quad (12)$$

$$\underline{I}_{B3} = \frac{\sum_i^* \underline{I}_i \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}} + \frac{\underline{U}_B^* - \underline{U}_A^*}{\sqrt{3}\underline{Z}_{AB}} \cdot U_{ном}, \quad (13)$$

де  $\underline{I}_i$  - струм  $i$ -го навантаження, А.

Другі доданки в цих виразах визначають так званий зрівнювальний струм, викликаний різницею напруг джерел живлення або зсувом їх по фазі.

У разі, якщо напруги живильних вузлів електричної мережі виявляються рівними по модулю і фазі, то рівняння (10) і (11) набувають такого вигляду:

$$\underline{S}_{A1} = \frac{\sum_i^* \underline{S}_i \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}}; \quad \underline{S}_{B3} = \frac{\sum_i^* \underline{S}_i \cdot \underline{Z}_{iA}^*}{\underline{Z}_{AB}}; \quad (14)$$

$$\underline{I}_{A1} = \frac{\sum_i^* \underline{I}_i \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}}; \quad \underline{I}_{B3} = \frac{\sum_i^* \underline{I}_i \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}}. \quad (15)$$

Струми інших ділянок визначаються за першим законом Кірхгофа.

Вузол, до якого потужність підтікає з двох сторін, називається точкою поточкорозподілу (або точкою струморозподілу).



Точки поточкорозподілу по активній і реактивній потужності можуть не збігатися.

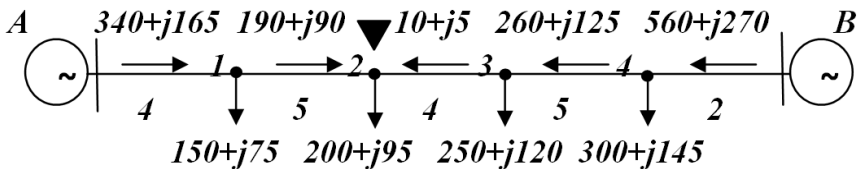
Точку поточкорозподілу по активній потужності зазвичай позначають у вигляді  $\blacktriangledown$ , а по реактивній потужності  $\nabla$ .

Після визначення точки поточкорозподілу кільцева мережа для подальшого розрахунку може бути умовно розділена на дві розімкнуті лінії. Розрахунок потоків потужності, а також розподіл напруг в цих лініях виконується так само, як і для звичайних розімкнутих мереж.

У післяаварійних режимах, коли відключається одне з джерел живлення, розподіл струмів і потоків потужності повністю змінюється.

Розглянемо приклад (рис. 8). Споживачі живляться від електричних ліній напругою 10 кВ з двостороннім живленням.

Вихідні дані показані на рисунку 8. Напруга  $U_A=U_B$ .



**Рисунок 8 – Розрахункова схема лінії.**

Потужність, що в нормальному режимі виходить з джерела A, буде:

$$P_A = \frac{\sum_k^k P_k l_{k-B}}{L_{AB}} = \frac{150 \cdot 17 + 200 \cdot 11 + 250 \cdot 7 + 300 \cdot 2}{21} = 340$$

кВт

$$Q_A = \frac{\sum_1^k q_k I_{K-B}}{L_{AB}} = \frac{75 \cdot 17 + 95 \cdot 11 + 120 \cdot 7 + 145 \cdot 2}{21} = 165 \text{ кВАр}$$

Аналогічно визначається потужність, яка виходить із джерела В. Розподіл потужностей в магістралі наведено на рис. 8.

В точці, де потужність змінює свій знак на протилежний, знаходиться точка струморозподілу.

Значну допомогу веденню досліджень режимів ліній з двостороннім живленням надають машини фізичного моделювання та комп'ютерні програми з моделювання електричних процесів в мережах.

Моделювання пов'язане з вибором масштабів.

Масштаб – це відношення параметрів оригіналу до відповідного параметру моделі. Доцільно задаватись масштабами струму та напруги, тому що елементи моделі завжди обмежені допустимим струмом.

Для моделі типу Multisim максимальний допустимий струм не повинен перевищувати 300 мА, а падіння напруги на активних опорах не повинно бути більше 100 В. Виходячи із допустимих величин струму та напруги, враховуючи, що досліджувані трифазні мережі представляються на моделях однофазними, в виразах масштабів фігурує лінійна напруга та потужність оригіналу, які приводяться до фазних величин моделі.

Масштаби напруги, опору, струму, потужності визначаються:

$$m_U = \frac{U_{op}^n}{\sqrt{3}U_M^\phi}; \quad m_Z = \frac{Z_{op}}{Z_m}; \quad m_I = \frac{I_{op}}{I_m}; \quad m_S = \frac{S_{op}}{S_m}. \quad (16)$$

Виміряні величини на моделі перераховують до величин оригіналу за формулами:

- напруга

$$U_{op} = U_m \cdot m_U;$$

- втрати напруги

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_m \cdot U_m \cdot Z_m; \quad (17)$$

- струм

$$I_{op} = I_m \cdot m_I = I_m \cdot \frac{m_U}{m_Z}, \text{ де } I_{op} = \frac{S_{op}}{\sqrt{3}U_{op}};$$

- опір

$$Z_{op} = Z_m \cdot \frac{m_U}{m_I} = Z_m \cdot Z_m;$$

- потужність

$$S_{op} = S_m \cdot m_S = 3m_U \cdot U_m \cdot I_m \cdot m_I.$$

#### IV. Підготовка до виконання роботи.

1. Вивчити методичні вказівки (пояснення до роботи) та ознайомитись з розділом «Послідовність проведення досліджень», виконання лабораторної роботи.

2. Зробіть креслення принципової електричної схеми мережі, рис. 9, та схеми заміщення, рис.10. Запишіть дані елементів електропередавання.

3. Зробіть розрахунки опорів елементів схеми мережі за формулами:

- активного опору лінії

$$R_l = r_0 \cdot l, \text{ Ом} \quad (18)$$

- реактивного опору лінії

$$X_l = x_0 \cdot l, \text{ Ом} \quad (19)$$

де  $r_0, x_0$  - питомий активний та індуктивний опір одного кілометра лінії, Ом/км, який вибирається за таблицями [ 1 ]

$l$  - довжина ділянки лінії, км.

Повний опір силових трансформаторів визначається за формулою:

$$Z_T = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{U_l^2 \cdot 10^3}{S_H} = \frac{10 \cdot U_k \% \cdot U_l^2}{S_H}, \text{ Ом} \quad (20)$$

де  $U_k \%$  - напруга короткого замикання;

$U_l$  - номінальна лінійна напруга, кВ;

$S_H$  - номінальна потужність, кВА.

Опір навантаження визначається за формулами :

активний

$$r_H = \frac{U_l^2 \cdot 10^3}{P_H} \cdot \cos^2 \varphi; \quad (21)$$

реактивний

$$x_H = \frac{U_l^2 \cdot 10^3}{Q_H} \cdot \sin^2 \varphi, \quad (22)$$

де  $P_H, Q_H$  - активна та реактивна потужності навантаження, кВт, кВАр.

За умови моделювання допустимого струму 300 мА опір генераторів системи оригіналу не повинен бути менше 20 Ом.

4.Зробіть розрахунки опорів елементів схеми моделі , прийнявши масштаб опору  $m_z = 0,1$ , масштаб напруги  $m_U = 100$  ( напруга моделі 60,5 В, напруга оригіналу 10,5 кВ ).

5. За формулами ( 8 ) та ( 9 ) визначте потужності джерел А і В та знайдіть точку струморозподілу. Приклад проведення розрахунків наведений на рисунку 8.

6. Побудуйте криву залежності зміни величини напруги від опору лінії по точках величин напруги в вузлах навантаження  $U=f(Z_n)$  та ступеневу залежність зміни струму  $I=f(l)$  від довжини лінії по ділянкам післяаварійного режимів роботи живлення ліній від джерела А, а потім В.

Напруга в вузлі навантаження визначається за формулою:

$$U_{n+1} = U_n - \Delta U_{n+1} = U_n - \frac{P_i \cdot R_i + Q_i \cdot X_i}{U_n}, \text{ В}$$

де  $n=0, 1, 2 \dots$  порядковий номер вузла навантаження;

$U_n$  - напруга в вузлі навантаження, кВ;

$\Delta U_{n+1}$  - втрата напруги на ділянці лінії;

$P_i, Q_i$  - відповідно активне і реактивне навантаження на ділянці лінії, кВт, кВАр;

$R_i, X_i$  - активний і реактивний опори  $n + 1$  ділянки лінії,

$$R_i = r_0 \cdot l_{n+1}, \quad X_i = x_0 \cdot l_{n+1}.$$

Наприклад напруга на шинах джерела А – 10,5 кВ, втрата напруги на ділянці А-1 – 500 В = 0,5 кВ. Напруга в точці 1 дорівнює 10,5 – 0,5 = 10 кВ.

Ступенева залежність  $I = f(l_{n+1})$  будується за розрахунковими величинами струму, що протікають на ділянках . Струм на ділянках визначають за формулою

$$I_{n+1} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ А.}$$

7. Підготуйте таблицю 1, форма якої наводиться (таблиця 1), до запису в неї замірів струму та напруги в контрольних точках А-1 – 2- 3- В.

8. Ознайомтесь з комп'ютерною програмою моделі Multisim.

9. Згідно варіанту визначити активні та реактивні навантаження та знайти точку струморозподілу.

Таблиця 1– Вихідні дані до розрахунку за схемою рис.9.

№ вар	$S_{н1},$ MBA / $\cos \varphi_1$	$S_{н2},$ MBA / $\cos \varphi_2$	$S_{н3},$ MBA / $\cos \varphi_3$	$S_{T1},$ MBA / $U_k, \%$	$S_{T2},$ MBA / $U_k, \%$	$l_{A1},$ км	$l_{1-2},$ км	$l_{2-3},$ км	$l_{3-B},$ км
1	0,6/ 0,8	0,4/ 0,7	0,5/ 0,8	10/7,5	6,3/7,5	6	10	4	8
2	0,7/ 0,7	0,6/ 0,5	0,4/ 0,76	2,5/6,5	4/7,5	6	8	9	5
3	0,5/ 0,8	0,4/ 0,71	0,6/ 0,75	1,6/5,5	2,5/6,5	7	7	5	9
4	0,7/ 0,8	0,5/ 0,75	0,6/ 0,8	4/7,5	6,3/7,5	5	8	7	8
5	0,6/0,7 5	0,6/ 0,7	0,5/ 0,8	10/10,5	6,3/7,5	4	9	6	8
6	0,6/ 0,75	0,55/ 0,7	0,5/ 0,8	10/7,5	4/7,5	9	4	5	7

10. Визначити всі активні та реактивні навантаження за заданими повними потужностями  $S$  та коефіцієнтами потужності  $\cos \varphi$ :

$$P = S \cdot \cos \varphi;$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi.$$

Значення  $\sin \varphi$  можна визначити за теоремою Піфагора  $\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi = 1$  звідки  $\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$

або визначаємо спочатку кут  $\varphi$  (вводимо значення  $\cos \varphi$  на калькуляторі, потім натискаємо клавішу  $2ndF$  і клавішу  $\arccos$ ), після того натискаємо  $\sin \varphi$ .

Потім визначити потужність живлення з точки  $A$ , як показано на прикладі до рисунку 8 та аналогічно з точки  $B$ .

Після чого необхідно віднімати значення потужностей активних і реактивних за зразком від потужності сумарної до моменту зміни знака на протилежний, що і буде вказувати на знаходження точки струморозподілу. Аналогічно провести розрахунок і з іншого боку.

10. Виконану роботу по пунктам покажіть керівникові робіт та отримайте дозвіл на проведення подальших досліджень.

## **V. Послідовність проведення досліджень на комп'ютері за програмою Multisim**



### **Загальна характеристика програми Multisim**

Запустіть за допомогою ярлика на робочому столі Windows програму Multisim. Після цього відкриється вікно програми, яке вгорі містить головне меню (*File, Edit, View, Place, Simulate, Tools, Reports, Options, Window, Help*), панель графічних зображень виконуваних функцій, панель бібліотек компонентів і контрольно-вимірювальних приладів.

Вид вікна показаний на рис. 1.

Для створення схем необхідні елементи і вимірювальні прилади потрібно вибирати з панелі, на якій зображено батарею, резистор, діод, транзистор, мікросхему, логічні елементи

ти, індикатори, функціональні пристрої і прилади, а потім розміщувати і з'єднувати їх на робочому полі програми Multisim.

В правій верхній частині екрану розміщений перемикач запуску  і кнопка переривання процесу моделювання  (PAUSE) зібраної схеми.

### **Задача дослідження**


В програмі Multisim зібрати схему досліджуваної мережі, яка показана на рис. 2.

Зняти покази амперметрів в кожній точці мережі.

### **Побудова схеми**

Натисніть на кнопку *Place Source* , яка знаходиться на панелі компонентів.

У відкритому вікні елементів потрібно вибрати *POWER\_SOURCES*, в розділі *Component* піктограми *AC\_POWER* (джерело змінної напруги) і *GROUND* (заземлення).

Для вибору індуктивності та опору потрібно натиснути на кнопку *Place Basic*  і вибрати *RESISTOR* та *INDUCTOR*.

Щоб вибрати амперметр натисніть на кнопку *Place Indicator* та в розділі *Component* натиснути на *AMMETER\_V*.

Виберіть вимикач, натиснувши на кнопку *Place Basic*, потім на кнопку *SWITCH* і в розділі *Component* виберіть *DIPSW10*.


Для збільшення кількості елементів схеми їх можна копіювати.

Наведіть курсор на джерело напруги та натисніть на нього подвійним натисненням лівої кнопки миші, після чого відкриється вікно, до якого потрібно ввести відповідні параметри даного елементу.

Таким же чином налаштуйте всі елементи схеми.



Розмістіть та з'єднайте всі елементи згідно рис. 2.

Після побудови схеми натисніть на кнопку *Simulation Switch*  та зробіть коротке замикання в точці 1, натиснувши на вимикач *S1*.

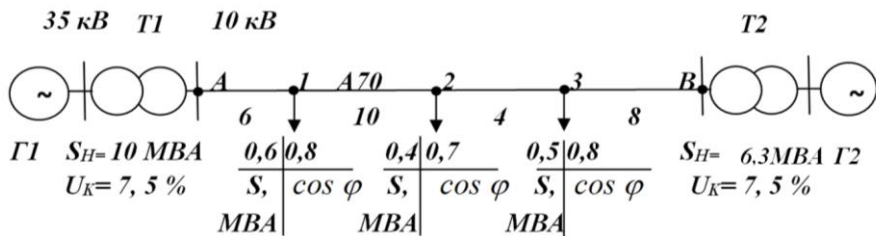
Зніміть показ амперметра, потім вимкніть вимикач *S1*. Зробіть дане дослідження в усіх контрольних точках мережі після чого вимкніть схему та закрийте програму.

Всі покази досліду занести до таблиці 2, визначити помилки досліджень та занести їх теж до таблиці 2.

Зробіть висновки по роботі.

Таблиця 1 - Дані вимірювань струму та напруги в контрольних точках мережі.

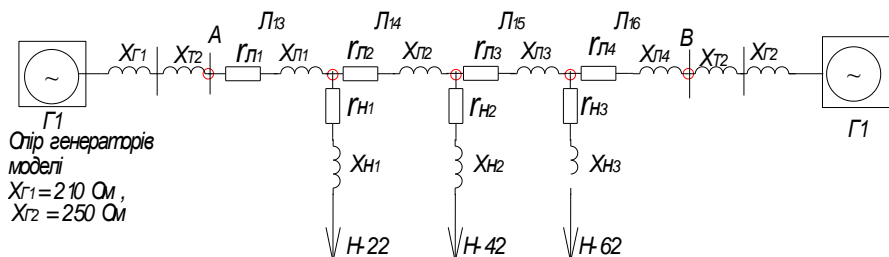
Номер вузла навантаження	Одностороннє живлення			Двостороннє живлення				
	Післяварійний режим, живлення від $I I U_m=60,5 \text{ В}$		Післяварійний режим, живлення від $I 2 U_m=60,5 \text{ В}$		Нормальний режим $U_{II}=U_{I2}=60,5 \text{ кВ}$			
	модель	мережа оригінал	модель	мережа оригінал	модель	мережа оригінал		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0								
1								
2								



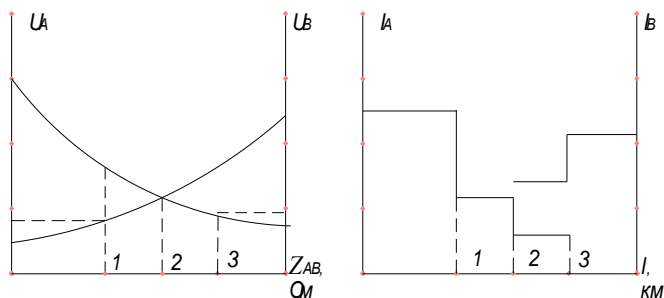
**Рисунок 9 – Принципова електрична схема мережі,**  
де  $S$  – повна потужність навантаження, МВА;

$\cos \varphi$  - коефіцієнт потужності,  $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ ;

6; 10; 4; 8 – довжини ділянок лінії, км;  
А70 – марка і переріз проводу, мм<sup>2</sup>.



**Рисунок 10 – Схема заміщення мережі для проведення дослідження на моделі.**



**Рисунок 11 – Приблизна побудова залежностей  $U=f(Zл)$  та  $I=f(Zл)$ .**

Покажіть дані дослідження керівникові робіт. Після затвердження керівником виконання досліджень, вимкніть комп'ютер, закінчіть оформлення звіту згідно програми складання звіту та зробіть висновок.

### **Контрольні запитання**

1. Види електричних мереж.
2. Переваги та недоліки режимів роботи радіальних і замкнутих мереж.
3. Методи визначення точки струмоподілу ліній двостороннього живлення.
4. Що значить зрівнювальний струм і за яких умов він може протікати в лінії?
5. Недоліки та переваги фізичного моделювання над розрахунковими методами.
6. Основні умови ввімкнення на паралельну роботу силових трансформаторів. Порівняйте з умовами ввімкнення ліній з двостороннім живленням.
7. Що таке замкнута електрична мережа? Чим відрізняється проста замкнута мережа від складно замкнутої?
8. Яка мета використання ліній з двостороннім живленням? Назвіть переваги таких ліній і їх недоліки.
9. У якому порядку проводиться розрахунок поточкорозподілу в мережі з двостороннім живленням при різних напругах джерел?
10. Як здійснюється розрахунок поточкорозподілу в радіально магістральних мережах?
11. Які режими роботи електромереж задають при розрахунку ліній з двохстороннім живленням?

12. Як проводиться розрахунок напруги в замкнутих і розімкнутих мережах? Як в тому і в іншому випадку визначається загальна втрата напруги?

13. Назвіть послідовність проведення розрахунку складних замкнутих мереж.

14. Як визначити загальні втрати потужності в мережі? Як змінюються загальні втрати потужності в мережі в післяварійних режимах при відключенні одного з кіл двоколової лінії або при відключенні одного з головних ділянок замкнутої мережі? Поясніть, чому так відбувається.

15. За якої умови знаходження точки струмоподілу здійснюється через потужність?

## Література

1. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.
2. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства: учебник./ И. А. Будзко, Н. М. Зуль – М.: Агропромиздат, 1990 – 495 с.
3. Кабышев А. В., Обухов С. Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие/ А. В. Кабышев, С. Г. Обухов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 248 с.
4. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу: підруч./ Козирський В. В., Каплун В. В., Волошин С. М. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 448 с.
5. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства. -2-е видання перероб. і доп.: підруч./ І. П. Притака– К.: Вища школа. Головне видавництво, 1986. – 343 с.
6. Ус А.Г., Евминов Л. И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий: Учебное пособие. - Мн.: НПООО «ПИОН» 2002 - 457 с.
7. Федоров А. А. Основы электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп./ А. А. Федоров, В. В. Каменева – М. Энергоатомиздат, 1984. – 472 с., ил.

Навчальне видання

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЛІНІЙ З  
ДВОСТОРОННІМ ЖИВЛЕННЯМ  
ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО  
МОДЕЛЮВАННЯ  
З ДИСЦИПЛІНИ  
«ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт

Автори - укладачі:

**ПОПАДЧЕНКО** Світлана Анатоліївна.  
**САВЧЕНКО** Олександр Анатолійович

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. \_.

Наклад \_\_\_ пр.

Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44