

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет  
автоматики та енергетики

Кафедра  
електротехнічних  
систем та енергетичного  
менеджменту

# ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА МАГНІТНИХ КІЛ

*методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
зі спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія"*

Кропивницький  
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет  
автоматики та енергетики

Кафедра  
електротехнічних  
систем та енергетичного  
менеджменту

# ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА МАГНІТНИХ КІЛ

*методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
зі спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія"*

Затверджено  
на засіданні кафедри  
електротехнічних систем та  
енергетичного менеджменту  
Протокол № 13 від 05.05.2022 р.

Кропивницький  
2022

Теорія електричних та магнітних кіл: методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія" / [уклад.: К.Г. Петрова, В.П. Солдатенко], Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022 – 46 с.

Укладачі: К.Г. Петрова – доц., к.т.н., доц. каф. ЕТС та ЕМ  
В.П. Солдатенко – доц., к.т.н., доц. каф. ЕТС та ЕМ

Рецензент: С. В.Серебренніков – к.т.н., проф.каф. ЕТС та ЕМ ЦНТУ

© Петрова К.Г., Солдатенко В.П. 2022  
© Центральноукраїнський  
національний технічний університет,  
2022

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ.....	6
Лабораторна робота №1. Експериментальна перевірка закону Ома для ділянки кола.....	7
Лабораторна робота №2. Експериментальна перевірка основних законів електричних кіл.....	13
Лабораторна робота №3. Дослідження активного двополюсника.....	23
Лабораторна робота № 4. Нерозгалужене коло синусоїдального струму. Резонанс напруг.....	31
Лабораторна робота № 5. Розгалужене коло синусоїдального струму. Резонанс струмів.....	34
Лабораторна робота № 6. Дослідження трифазного кола при з'єднанні споживачів зіркою.....	37
Лабораторна робота № 7. Дослідження трифазного кола при з'єднанні фаз трикутником.....	41
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ.....	44
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	45
ДОДАТОК А. Титульний аркуш звіту з лабораторної роботи.....	46

## ВСТУП

Згідно з навчальними планами та робочою програмою курсу «Теорія електричних та магнітних кіл» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія" денної форми навчання передбачено практичні заняття загальною кількістю 14 год.

У методичних рекомендаціях наведено сім лабораторних робіт, кожна з яких має: теоретичну частину, детальне викладення типових прикладів розв'язування задач, що забезпечує теоретичну та методичну основу для подальшого самостійного вирішення поставлених завдань.

Метою виконання лабораторних завдань є закріплення та поглиблення теоретичних знань, отриманих здобувачами вищої освіти на лекційних заняттях з дисципліни «Теорія електричних та магнітних кіл», а також набуття практичних навичок, зокрема, в таких питаннях як:

- експериментальна перевірка закону Ома для ділянки кола;
- експериментальна перевірка основних законів електричних кіл;
- дослідження активного двополюсника;
- нерозгалужене коло синусоїдального струму, резонанс напруг;
- розгалужене коло синусоїдального струму, резонанс струмів;
- дослідження трифазного кола при з'єднанні споживачів зіркою;
- дослідження трифазного кола при з'єднанні фаз трикутником.

## ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ

Зміст звітів з лабораторних робіт полягає в тому, що здобувачі вищої освіти на підставі наданих їм індивідуальних вихідних даних повинні виконати необхідні розрахунки та звіти з лабораторних завдань.

Звіти з лабораторних робіт повинні мати:

- титульний аркуш;
- зміст;
- вступ (короткі теоретичні відомості);
- основну частину (завдання та його результати його виконання);
- висновки;
- список літератури (перелік посилань);
- додатки (за необхідності).

Приклад оформлення *титульного аркуша* наведено у додатку А.

У *вступі* доцільно навести короткі теоретичні відомості проблеми/питання, яке розглянуто у практичному завданні.

*Основна частина* містить виконання завдання згідно варіанту з необхідними розрахунками, поясненнями, графіками та обґрунтуванням прийнятих рішень.

У *висновках* повинні бути відображені підсумки виконання роботи.

*Вимоги до оформлення.* Звіт з практичної роботи друкують за допомогою ПК та принтера на одній сторінці аркуша білого паперу формату А4 (210х297мм). Обсяг роботи повинен становити до 10 сторінок.

Параметри друку звіту: міжрядковий інтервал - 1,0; шрифт – Times New Roman 13-14 пт; розмір абзацного відступу – 1,25-1,27 см; відступи: лівий – 25 мм, правий – 10 мм, верхній – 20 мм, нижній – 20 мм; кількість знаків у рядку – 70-80; рядків на сторінці – не більше 40.

## Лабораторна робота №1

### Експериментальна перевірка закону Ома для ділянки кола

#### Мета роботи.

Експериментальним шляхом переконатися в справедливості закону Ома для ділянки кола, встановити залежності потужності від режимних параметрів, навчитися користуватися вимірювальними приладами (амперметр, вольтметр, ватметр, мультиметр).

#### Теоретичні відомості

Джерела електричної енергії створюють навколо себе електричне поле. Воно концентрується в основному в провідниках. В цьому полі вільні заряджені частинки здатні рухатися під дією сили Кулона. Щоб перемістити заряджену частинку (вона має масу) в просторі, необхідно надати їй певну енергію, тобто виконати над частинкою роботу. Надалі заряджені частинки будемо для спрощення називати просто зарядом.

Одиницею заряду є *1 кулон*, на честь французького фізика Шарля Огюстена Кулона.

Отже, під дією електричного поля заряди рухаються у певному визначеному напрямку. Такий направлений рух заряджених частинок називають *електричним струмом*. Кількісно струм оцінюють величиною заряду  $q$ , що проходять через переріз провідника (перпендикулярний напрямку струму) або середовища за одиницю часу:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1)$$

Одиницею струму є [*1 ампер* = *1 кулон / 1 секунда*], що названий на честь французького фізика Андре-Марі Ампера.

Уявіть собі однорідне електричне поле з напруженістю  $\vec{E}$  і дві точки в ньому 1 та 2 на деякій відстані  $s$  (рис. 1.1). Помістимо в точку 1 одиничний заряд  $q_{од}$  (його величина рівна *1 кулон*). Зі сторони поля на нього буде діяти сила Кулона  $\vec{F} = q_{од}\vec{E}$ , і він почне рухатися в напрямку точки 2, а з часом досягне її. При цьому сили електричного поля виконують роботу над частинкою

$A_{1 \rightarrow 2} = \vec{F} \cdot \vec{s} = q_{od} \vec{E} \cdot \vec{s} = q_{od} E \cdot s \cdot \cos(\angle \vec{E}, \vec{s}) = q_{od} E \cdot s$ . Відношення ж роботи переміщення до величини заряду буде рівним  $A_{1 \rightarrow 2} / q_{od} = q_{od} E \cdot s / q_{od} = E \cdot s$ , тобто буде залежати від характеристик поля (напруженості) та відстані переміщення. Нагадаємо, що одиницею роботи і енергії є 1 джоуль, на честь англійського фізика Джеймса Прескота Джоуля.

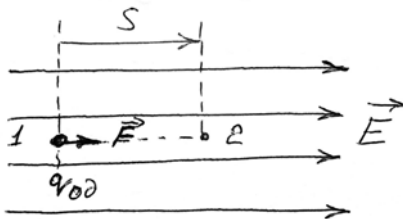


Рис. 1.1. Рух зарядженої частинки в електричному полі.

При переміщенні з точки 1 в точку 2 довільного заряду  $q$ , сили поля виконують відповідно роботу  $A'_{1 \rightarrow 2} = q \cdot E \cdot s$ , а відношення ж цієї роботи до величини переміщеного заряду знову буде рівним  $A'_{1 \rightarrow 2} / q = q \cdot E \cdot s / q = E \cdot s$ .

Отже, відношення роботи сил електричного поля по переміщенню заряду між точками 1 і 2 до величини цього заряду буде однаковим і називається *напругою* між точками 1 і 2

$$U_{12} = \frac{A_{1 \rightarrow 2}}{q_{od}} = \frac{q_{od} \cdot E \cdot s}{q_{od}} = \frac{A'_{1 \rightarrow 2}}{q} = \frac{q \cdot E \cdot s}{q} = E \cdot s \quad (2)$$

Одиницею напруги є [1 вольт = 1 джоуль / 1 кулон], на честь італійського фізика Алессандро Джузеппе Вольта.

Очевидно, що із збільшенням величини заряду  $q_{od}$  ( $2q_{od}$ ,  $3q_{od}$  ...) для переміщення його необхідно буде виконати більше і роботи ( $2A_{1 \rightarrow 2}$ ,  $3A_{1 \rightarrow 2}$  ...). Із формули (2) видно, що відношення відповідних роботи і заряду буде одним і тим же.

Для чого потрібна така величина як напруга? Все дуже просто. Нехай між точками 1 і 2 поля, яке ми з вами уже уявили, переміщується заряд довільної величини  $q$ . Якщо ми знаємо напругу  $U_{12}$  між цими точками, то

легко знайдемо всю енергію (роботу), що необхідно затратити джерелу електричної енергії на переміщення заряду:

$$W_{12} = A_{1 \rightarrow 2} = U_{12} \cdot q \quad (3)$$

Швидкість виконання роботи над зарядженою частинкою, або швидкість передачі енергії від електричного поля до зарядженої частинки, тобто робота виконана за одиницю часу, називається *електричною потужністю* (*потужністю електричного струму*):

$$P = \frac{W_{12}}{t} = \frac{U_{12} \cdot q}{t} = U_{12} \frac{q}{t} = U_{12} \cdot I \quad (4)$$

Одиницею потужності є [1 *ват* = 1 *джоуль* / 1 *секунда*], на честь шотландського винахідника Джеймса Вата.

Якби середовище не чинило опір руху зарядженим частинкам, то вони б прискорювалися під дією сили Кулона (згідно із другим законом Ньютона). Так як струм постійний, то і швидкість руху (середня) частинок буде постійна, тобто частинки не прискорюються. Але виникає питання. Якщо діє закон збереження енергії, то в яку форму енергії перетворюється робота сил електричного поля? Енергія, яку передає електричне поле зарядженим частинкам, витрачається на подолання опору цьому руху. Опір чинить середовище, в якому струм протікає. Згідно класичної теорії електропровідності заряджені частинки під час руху в провіднику (середовищі) ударяються об вузли кристалічної решітки провідника, втрачають швидкість і передають свою кінетичну енергію провіднику у вигляді тепла. Тому при протіканні електричного струму провідники нагріваються. Величина опору залежить від матеріалу провідника (питомого опору матеріалу  $\rho$ ), довжини  $l$  та площі поперечного перерізу  $S$ :

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5)$$

Одиницею опору є 1 Ом, на честь німецького фізика Георга Ома. Саме Георг Ом у 1826 році експериментально встановив закон, який і назвали на його честь «Законом Ома».

Згідно закону Ома сила струму, що протікає через ділянку електричного кола, прямо пропорційна напрузі, прикладеній до цієї ж ділянки кола, і обернено пропорційна опору цієї ж ділянки кола:

$$I = \frac{U}{R} \quad (6)$$

Хто забув, нагадаємо:

- а) пряма пропорційність означає, що  $\uparrow U \Rightarrow \uparrow I$  і  $\downarrow U \Rightarrow \downarrow I$ ;  
 б) обернена пропорційність означає, що  $\uparrow R \Rightarrow \downarrow I$  і  $\downarrow R \Rightarrow \uparrow I$ .

Скориставшись основною властивістю тотожності можна переписати (6) в двох інших корисних формах:

$$U = I \cdot R \quad (7)$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (8)$$

Якщо в (4) підставити по черзі (7) і (8), то отримаємо дві корисні формули для визначення електричної потужності:

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R \quad (9)$$

Якщо струм протікає деякий час  $t$ , то на подолання опору середовища витратиться ось скільки енергії (роботи):

$$W = P \cdot t = U I t = \frac{U^2}{R} t = I^2 R t \quad (10)$$

На що витрачається ця енергія? А вона виділяється у вигляді тепла, що було встановлено англійським фізиком Джеймсом Прескотом Джоулем та російським вченим Емілем Ленцем. У вітчизняній практиці цей факт називають законом Джоуля–Ленца:

$$Q = I^2 R t \quad (11).$$

### Хід роботи

1. Зібрати схему за рис. 1.2. Встановити на реостаті величину опору  $R$  задану викладачем, виміряти цей опір Омметром. Змінюючи напругу  $U_0$  джерела живлення (діапазон зміни задає викладач) зняти покази вимірювальних приладів ( $P$ ,  $U$ ,  $I$ ), занести їх в табл. 1.1. Розрахувати за результатами дослідів величини  $R$ ,  $P$ , порівняти із встановленими і вимірними значеннями. Зробити висновки. Побудувати графіки залежностей  $U(I)$ ,  $P(U)$ ,  $P(I)$ .

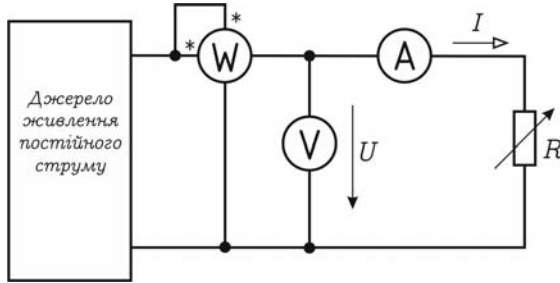


Рис. 1.2. Схема дослідження закону Ома.

Таблиця 1.1 Дослідження закону Ома при  $R = const$

№ досліду	Встановлено		Виміряно			Обчислено	
	$U_{джерела}$ , В	$R$ , Ом	$P$ , Вт	$U$ , В	$I$ , А	$R$ , Ом	$P$ , Вт
1							
2							
3							
4							
5							

2. Встановити в схемі, зібраній за рис 1.1 задану викладачем величину напруги джерела  $U_0$ . Змінюючи величину опору  $R$  (діапазон зміни задає викладач) зняти покази вимірювальних приладів ( $P$ ,  $U$ ,  $I$ ), занести їх в табл. 2. Розрахувати за результатами дослідів величини  $R$ ,  $P$ , порівняти із встановленими і вимірними значеннями. Зробити висновки. Побудувати графіки залежностей  $I(R)$ ,  $P(R)$ ,  $P(I)$ .

Таблиця 1.2 Дослідження закону Ома при  $U_0 = const$

№ досліду	Встановлено		Виміряно			Обчислено	
	$U_{джерела}$ , В	$R$ , Ом	$P$ , Вт	$U$ , В	$I$ , А	$R$ , Ом	$P$ , Вт
1							
2							
3							
4							
5							

3. Встановити в схемі, зібраній по рис. 1.1. задану викладачем величину струму джерела  $I_0$ . Змінюючи величину опору  $R$  (діапазон зміни задає викладач) зняти покази вимірювальних приладів ( $P$ ,  $U$ ,  $I$ ), занести їх в табл. 3. Розрахувати за результатами дослідів величини  $R$ ,  $P$ , порівняти із встановленими і вимірними значеннями. Зробити висновки. Побудувати графіки залежностей  $U(R)$ ,  $P(R)$ ,  $P(U)$ .

Таблиця 1.3 Дослідження закону Ома при  $I_0 = const$

№ дослідів	Встановлено		Виміряно			Обчислено	
	$I_{джерела}$ , А	$R$ , Ом	$P$ , Вт	$U$ , В	$I$ , А	$R$ , Ом	$P$ , Вт
1							
2							
3							
4							
5							

### Контрольні запитання

1. Що змушує електричні заряди рухатися?
2. Що таке електричний струм. Одиниця вимірювання струму.
3. Що таке електрична напруга. Одиниця вимірювання напруги.
4. Сформулюйте закон Ома.
5. Поясніть розбіжність встановлених та вимірних/розрахованих значень величин в табл. 1.1–1.3
6. Як визначити електричну потужність в колі?
7. Зобразіть залежності потужності від струму, напруги і опору.

## Лабораторна робота №2

### Експериментальна перевірка основних законів електричних кіл

#### Мета роботи

Експериментальним шляхом перевірити виконання законів Ома, Кірхгофа, балансу потужностей, законів еквівалентних перетворень.

#### Теоретичні відомості

В електричних колах використовують такі топологічні (геометричні) поняття, як *вітка*, *вузол* і *контур*.

**Вітка** (часто називають *гілка*) – це сукупність елементів електричного кола, по яким протікає один і той самий струм. В межах вітки елементи кола з'єднані послідовно. Вітка приєднується своїми кінцями до іншої частини кола у вузлах.

**Вузол** – це місце з'єднання трьох і більше віток.

**Контур** – це замкнуте окреслення, що проходить через елементи електричного кола, причому будь-який з елементів при обході контура зустрічається лише один раз.

До основних законів електричних кіл відносять:

- закон Ома;
- закони Кірхгофа;
- закон Джоуля-Ленца.

**Закон Ома:**

$$I = \frac{U}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R},$$

де  $I$  – сила струму на ділянці кола;  $U$  – напруга (різниця потенціалів  $\varphi$ ) на ділянці кола;  $R$  – опір ділянки кола.

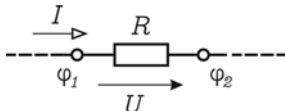


Рис. 2.1. До закону Ома

**Перший закон Кірхгофа:** алгебраїчна сума струмів які сходяться у вузлі, дорівнює нулю (струми, які входять у вузол приймаються зі знаком «+», які виходять із вузла – зі знаком «-»)

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0,$$

де  $n$  – кількість струмів, що сходяться у вузлі.

**Другий закон Кірхгофа:** алгебраїчна сума спадів напруг в контурі дорівнює нулю (напруги, які співпадають з умовно додатнім напрямком обходу контуру приймають зі знаком «+», які не співпадають зі знаком «-»)

$$\sum_{k=1}^m U_k = 0,$$

де  $m$  – кількість ділянок, на яких розглядаються спади напруг, у контурі.

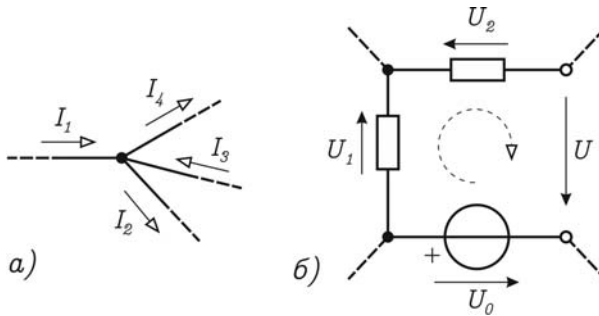


Рис. 2.2. Пояснення до першого (а) та другого (б) законів Кірхгофа:

а)  $I_1 - I_2 + I_3 - I_4 = 0$ ; б)  $U_1 - U_2 + U - U_0 = 0$

**Закон Джоуля-Ленца:** якщо по ділянці кола, яка володіє опором  $R$  протікає струм  $I$ , то потужність, яка при цьому буде виділяться на даній ділянці, буде пропорційна квадрату сили струму та опору ділянки

$$P = I^2 R.$$

Користуючись законом Ома, останню формулу можна представити в наступних видах:

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} = UI.$$

Останній вираз ( $P = UI$ ) є найбільш універсальним, так як дає змогу визначити, споживає чи генерує потужність дана ділянка кола. Напруга  $U$  та струм  $I$  повинні братись із своїми знаками: якщо напруга співпадає зі

струмом, то добуток буде додатнім (ділянка споживає потужність), якщо напруга протилежна струму – добуток буде від’ємним (ділянка генерує потужність).

Закон збереження енергії для електричних кіл формулюється у вигляді **балансу потужностей**: алгебраїчна сума потужностей всіх ділянок кола дорівнює нулю, при цьому потужність, яка споживається ділянкою кола, приймається зі знаком «+», а потужність, яка генерується ділянкою кола, зі знаком «-».

$$\sum_{k=1}^p P_k = \sum_{k=1}^p U_k I_k = 0,$$

де  $p$  – кількість ділянок кола.

Часто при розрахунках електричних кіл виникає необхідність заміни певної групи опорів одним опором (або іншою групою опорів), таким чином, щоб в інших частинах кола струми та напруги залишилися незмінними. Така заміна має назву **еквівалентної**, а сам процес перетворення – **еквівалентним**.

Розглянемо **послідовне з’єднання** опорів  $R_1, R_2, \dots, R_n$ .

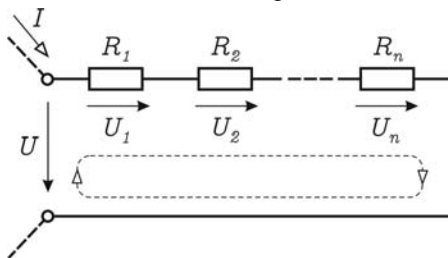


Рис. 2.3. Послідовне з’єднання опорів

Струм  $I$  та напруга  $U$  на виводах кола залишаться незмінними якщо замість ланцюга опорів ввімкнути один еквівалентний опір

$$R_e = \frac{U}{I}.$$

Застосувавши до позначеного контуру другий закон Кірхгофа представимо напругу  $U$  як суму спадів напруг на кожному з опорів  $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ . Тоді

$$R_e = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \dots + \frac{U_n}{I} = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

Тобто, *еквівалентний опір послідовно з'єднаних опорів буде дорівнювати сумі опорів:*

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k.$$

Тепер розглянемо **паралельне з'єднання** опорів  $R_1, R_2, \dots, R_n$ .

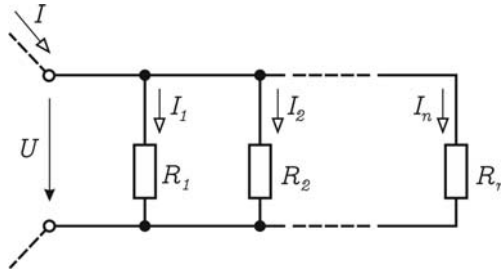


Рис. 2.4. Паралельне з'єднання опорів

Еквівалентний опір, як і при послідовному з'єднанні, буде дорівнювати  $R_e = U/I$ . Для його визначення через опори  $R_1, R_2, \dots, R_n$  скористаємося еквівалентною провідністю

$$G_e = \frac{1}{R_e} = \frac{I}{U}.$$

Згідно першого закону Кірхгофа, струм  $I$  буде дорівнювати сумі струмів кожного з опорів  $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ , тому

$$G_e = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{U} = \frac{I_1}{U} + \frac{I_2}{U} + \dots + \frac{I_n}{U} = G_1 + G_2 + \dots + G_n.$$

Тобто *еквівалентна провідність паралельного з'єднання опорів буде дорівнювати сумі провідностей цих опорів:*

$$G_e = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \sum_{k=1}^n G_k$$

або

$$R_e = \frac{1}{G_e} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)^{-1}.$$

Для двох паралельно з'єднаних опорів  $R_1$  і  $R_2$ :

$$R_e = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

### Хід роботи

1. Виміряти за допомогою омметра величини опорів  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  трьох резисторів.

2. При заданій викладачем напрузі  $U$  та послідовному з'єднанні резисторів з опорами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  розрахувати:

а) провідності  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  резисторів, еквівалентний опір  $R_{екв}$  та еквівалентну провідність  $G_{екв}$  кола;

б) струм  $I$  в колі;

в) напруги  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  на окремих елементах (резисторах);

г) потужність джерела живлення  $P$  та споживачів  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ;

д) результати розрахунків занести в табл. 2.1.

3. Зібрати схему за рис. 2.5. З допомогою омметра виміряти еквівалентний опір кола  $R_{екв}$  (вхідний опір). **Увага!** Вимірювання опору здійснюється при відсутності напруги в схемі.

4. Подати на вхід схеми рис. 2.5 через ЛАТР напругу, що була задана викладачем в п.п. 2. Виміряти в схемі величини  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $I$ ,  $P$ . Результати вимірювань занести в табл. 2.1.

5. За результатами досліду виконати перевірку *першого закону Кірхгофа*, *балансу потужностей*, *формули для знаходження еквівалентного опору*. Зробити висновки.

6. При заданій викладачем напрузі  $U$  та паралельному з'єднанні резисторів з опорами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  розрахувати:

а) провідності  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  резисторів, еквівалентну провідність  $G_{екв}$  та еквівалентний опір  $R_{екв}$  кола;

б) струми  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  в елементах кола (резисторах);

в) струм  $I$  в нерозгалуженій частині кола;

г) напруги  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  на окремих елементах (резисторах);

д) потужність джерела живлення  $P$  та споживачів  $P_1, P_2, P_3$ ;

е) результати розрахунків занести в табл. 2.2.

7. Зібрати схему за рис. 2.6. З допомогою омметра виміряти еквівалентний опір кола  $R_{екв}$  (вхідний опір). **Увага!** Вимірювання опору здійснюється при відсутності напруги в схемі.

8. Подати на вхід схеми рис. 2.6 через ЛАТР напругу, що була задана викладачем в п.п. 6. Виміряти в схемі величини  $U, U_1, U_2, U_3, I, I_1, I_2, I_3, P$ . Результати вимірювань занести в табл. 2.2.

9. За результатами дослідів виконати перевірку *другого закону Кірхгофа, балансу потужностей, формулу для знаходження еквівалентного опору*. Зробити висновки.

10. При заданій викладачем напрузі  $U$  та змішаному (послідовно-паралельному) з'єднанні резисторів з опорами  $R_1, R_2, R_3$  розрахувати:

а) провідності  $G_1, G_2, G_3$  резисторів, еквівалентний опір  $R_{екв}$  та еквівалентну провідність  $G_{екв}$  кола;

б) струми  $I_1, I_2, I_3$  в елементах кола (резисторах);

в) напруги  $U_1, U_2, U_3$  на окремих елементах (резисторах);

г) потужність джерела живлення  $P$  та споживачів  $P_1, P_2, P_3$ ;

д) результати розрахунків занести в табл. 2.3.

11. Зібрати схему за рис. 2.7. З допомогою омметра виміряти еквівалентний опір кола  $R_{екв}$  (вхідний опір). **Увага!** Вимірювання опору здійснюється при відсутності напруги в схемі.

12. Подати на вхід схеми рис. 2.7 через ЛАТР напругу, що була задана викладачем в п.п. 10. Виміряти в схемі величини  $U, U_1, U_2, U_3, I_1, I_2, I_3, P$ . Результати вимірювань занести в табл. 2.3.

13. За результатами дослідів виконати перевірку *першого і другого законів Кірхгофа, балансу потужностей, формулу для знаходження еквівалентного опору*. Зробити висновки.

14. Зробити загальні висновки по роботі.

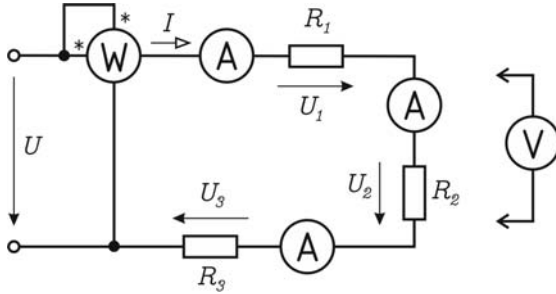


Рис. 2.5. Схема дослідження послідовного з'єднання резисторів

Таблиця 2.1 Послідовне з'єднання резисторів

Величина	Розраховано	Виміряно
$R_1$ , Ом		
$R_2$ , Ом		
$R_3$ , Ом		
$G_1$ , См		
$G_2$ , См		
$G_3$ , См		
$R_{екв}$ , Ом		
$G_{екв}$ , См		
$U$ , В		
$I$ , А		
$U_1$ , В		
$U_2$ , В		
$U_3$ , В		
$P$ , А		
$P_1$ , Вт		
$P_2$ , Вт		
$P_3$ , Вт		

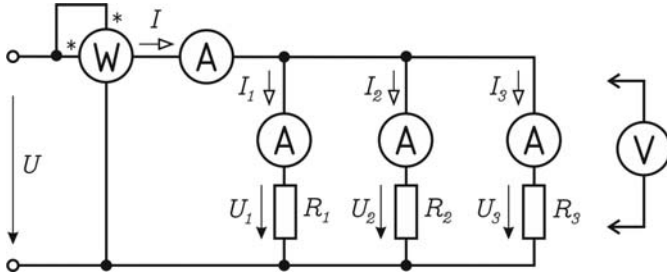


Рис. 2.6. Схема дослідження паралельного з'єднання резисторів

Таблиця 2.2 Паралельне з'єднання резисторів

Величина	Розраховано	Виміряно
$R_1$ , Ом		
$R_2$ , Ом		
$R_3$ , Ом		
$G_1$ , См		
$G_2$ , См		
$G_3$ , См		
$G_{екв}$ , См		
$R_{екв}$ , Ом		
$U$ , В		
$U_1$ , В		
$U_2$ , В		
$U_3$ , В		
$I$ , А		
$I_1$ , А		
$I_2$ , А		
$I_3$ , А		
$P$ , Вт		
$P_1$ , Вт		
$P_2$ , Вт		
$P_3$ , Вт		

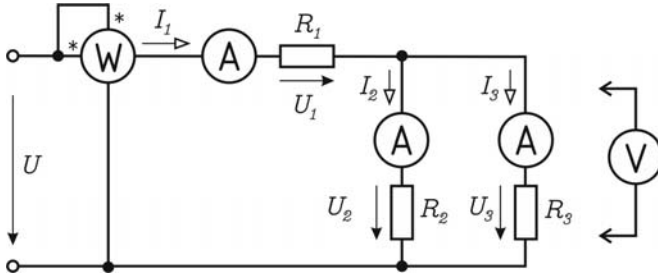


Рис. 2.7. Схема дослідження змішаного з'єднання резисторів

Таблиця 2.3 Змішане з'єднання резисторів

Величина	Розраховано	Виміряно
$R_1$ , Ом		
$R_2$ , Ом		
$R_3$ , Ом		
$G_1$ , См		
$G_2$ , См		
$G_3$ , См		
$R_{екв}$ , Ом		
$G_{екв}$ , См		
$U$ , В		
$I_1$ , А		
$I_2$ , А		
$I_3$ , А		
$U_1$ , В		
$U_2$ , В		
$U_3$ , В		
$P$ , Вт		
$P_1$ , Вт		
$P_2$ , Вт		
$P_3$ , Вт		

## Контрольні запитання

1. Сформулюйте закон Ома. Поясніть його суть.
2. Сформулюйте перший закон Кірхгофа. Поясніть його суть.
3. Сформулюйте другий закон Кірхгофа. Поясніть його суть.
4. Сформулюйте закон Джоуля-Ленца. Поясніть його суть.
5. Що розуміють під балансом потужностей в електричному колі?
6. Отримайте формулу для визначення еквівалентного опору: а) двох паралельно з'єднаних опорів; б) трьох паралельно з'єднаних опорів; в)  $n$  паралельно з'єднаних *однакових* опорів.
7. Що таке вузол електричного кола?
8. Що таке вітка електричного кола?
9. Що таке контур електричного кола?
10. Що таке провідність?
11. Чи може порушуватись баланс потужностей в електричному колі? Обґрунтуйте відповідь.

## Лабораторна робота №3

### Дослідження активного двухполюсника

#### Мета роботи:

а) дослідити режими роботи активного двухполюсника шляхом зміни опору навантаження  $R$ ;

б) визначити параметри схем заміщення активного двухполюсника (схеми Тевенена та схеми Нортонна);

в) за дослідними даними побудувати залежності  $U(R)$ ,  $I(R)$ ,  $P(R)$ ,  $P_0(R)$ ,  $\eta(R)$ ,  $U(I)$ ,  $P(I)$ ,  $P_0(I)$ ,  $\eta(I)$ ;

г) побудувати зазначені залежності теоретично, користуючись схемами заміщення двухполюсника.

#### Теоретичні відомості

**Двухполюсником** називають електричне коло (схему), що має два виводи (полюси), з допомогою яких приєднується до інших кіл. Якщо двухполюсник містить у своєму складі джерела енергії, то його називають **активним** двухполюсником (рис. 3.1, а), в іншому разі – **пасивним** двухполюсником (рис. 3.1, б).

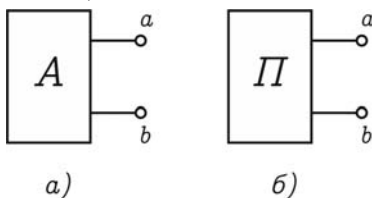


Рис. 3.1. Позначення двухполюсників на схемах:

а – активного; б – пасивного

Активний двухполюсник можна представити у вигляді двох еквівалентних схем заміщення:

1) ідеальним джерелом напруги з послідовно підключеним внутрішнім опором (**теорема Тевенена**), рис. 3.2, а;

2) ідеальним джерелом струму з паралельно підключеним внутрішнім опором (**теорема Нортонна**), рис. 3.2, б.

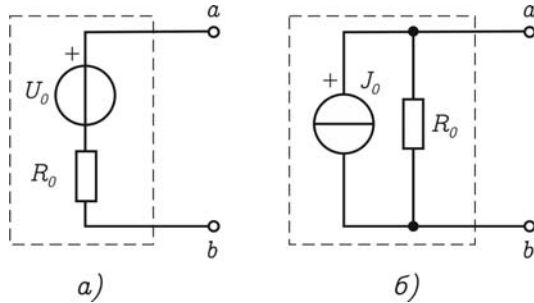


Рис. 3.2. Еквівалентні схеми заміщення активного двухполюсника:

а – Тевенена; б – Норттона

Розглянемо характерні режими роботи активного двухполюсника.

**Холостий хід (ХХ)** – режим роботи, при якому провідність, що підключена до полюсів кола (до виводів  $a$  та  $b$ ), дорівнює нулю  $G = 0$ . При цьому струм через полюси протікати не буде ( $I_{xx} = 0$ ), а напруга між полюсами (напруга холостого ходу  $U_{xx}$ ) буде максимальною.

**Коротке замикання (КЗ)** – режим роботи, при якому опір, підключений до полюсів кола, дорівнює нулю  $R = 0$ . При цьому напруга між полюсами буде рівна нулю ( $U_{кз} = 0$ ), а струм, що протікає через полюси (струм короткого замикання  $I_{кз}$ ), буде максимальним.

Очевидна, що в режимах ХХ і КЗ потужність  $P = UI$  від активного двухполюсника у навантаження не передається, оскільки в режимі ХХ  $I = I_{xx} = 0$ , а в режимі КЗ  $U = U_{кз} = 0$ .

В усіх інших режимах при зміні опору навантаження від  $0$  до  $\infty$  ( $0 < R < \infty$ ) від активного двухполюсника в навантаження передається потужність  $P > 0$ . Можна показати, що при певному значенні опору  $R$  потужність передачі досягне максимального значення.

**Узгоджений режим** – режим роботи активного двухполюсника, при якому від нього в навантаження передається максимальна потужність. Для лінійних активних двухполюсників, які працюють в колах постійного струму такий режим буде досягатись при опорі навантаження рівному внутрішньому опору активного двухполюсника  $R = R_0$ .

Для визначення параметрів схем заміщення проводять досліди холостого ходу і короткого замикання.

Якщо до активного двухполюсника підключити вольтметр з опором великим, порівняно із внутрішнім опором двухполюсника ( $R_V \gg R_0$ ), то режим роботи двухполюсника буде наближений до холостого ходу. Такий дослід називають **дослідом холостого ходу** (рис. 3.3, а). При цьому вольтметр покаже напругу близьку до напруги холостого ходу  $U_{ab.xx} \approx U_{xx}$ .

Якщо до активного двухполюсника підключити амперметр із опором малим, порівняно із внутрішнім опором двухполюсника ( $R_A \ll R_0$ ), то режим роботи двухполюсника буде наближений до короткого замикання. Такий дослід називають **дослідом короткого замикання** (рис. 3.3, б). При цьому амперметр покаже струм близький до струму короткого замикання  $I_{ab.кз} \approx I_{кз}$ .

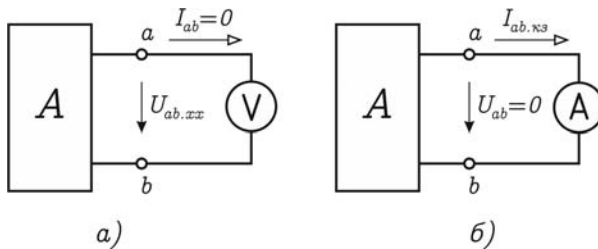


Рис.3.3. Дослід холостого ходу (а) і короткого замикання (б) активного двухполюсника

Розглянемо досліди ХХ і КЗ для схеми Тевенена (рис. 3.4). Очевидно, що

$$U_{ab.xx} = U_0,$$

$$I_{ab.кз} = \frac{U_0}{R_0}.$$

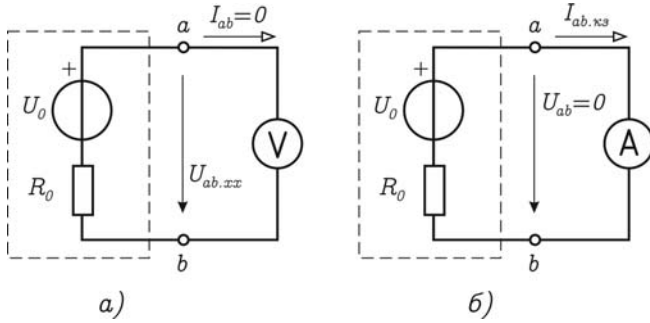


Рис. 3.4. Досліди XX (а) і КЗ (б) для схеми Тевенена

Відповідно досліді XX та КЗ для схеми Нортонна наведені на рис. 2.5. Очевидно, що

$$I_{ab.кз} = J_0,$$

$$U_{ab.xx} = J_0 R_0.$$

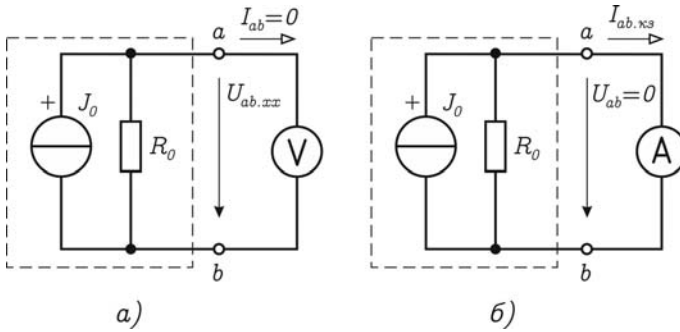


Рис. 3.5. Досліди XX (а) і КЗ (б) для схеми Нортонна

За даними дослідів XX і КЗ для активного двухполюсника ( $U_{ab.xx}$ ,  $I_{ab.кз}$ ) можна скласти:

- схему Тевенена (рис. 2.2, а) з параметрами  $U_0 = U_{ab.xx}$ ,  $R_0 = U_{ab.xx} / I_{ab.кз}$
- схему Нортонна (рис. 2.2, б) з параметрами  $J_0 = I_{ab.кз}$ ,  $R_0 = U_{ab.xx} / I_{ab.кз}$ .

Звідки випливає очевидний зв'язок між параметрами схеми Тевенена та схеми Нортон:

$$U_0 = J_0 R_0,$$

$$J_0 = \frac{U_0}{R_0}.$$

Збоку зовнішнього навантаження  $R$  схема Тевенена та схема Нортон будуть *еквівалентними*.

Будь-який пасивний двухполюсник (рис. 2.6, а) в колах постійного струму можна представити одним еквівалентним опором  $R_c$ (рис. 2.6, б).

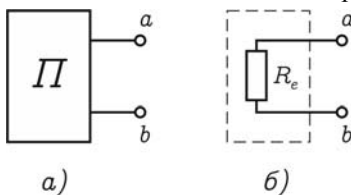


Рис.3 6. Пасивний двухполюсник (а) та його еквівалентна схема (б)

Залежність між струмом  $I$ , який проходить через двухполюсник та напругою  $U$  між його полюсами (напругою на виводах) називають **вольтамперною характеристикою** (ВАХ) –  $U(I)$ . Часто ВАХ активного двухполюсника називають *зовнішньою характеристикою*.

Якщо зв'язок між струмом  $I$  та напругою  $U$  лінійний (ВАХ є прямою лінією), то двухполюсник називають **лінійним**, в іншому разі – **нелінійним**.

### Хід роботи

1. Зібрати схему досліду (рис. 3 7). Джерело живлення встановити на режим стабілізації напруги. Величини  $U_0$  та  $R_0$  задаються викладачем.

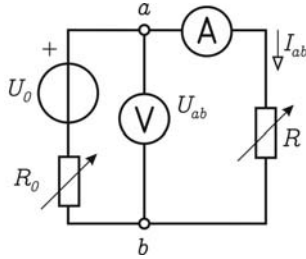


Рис. 3.7 Схема дослід з джерелом напруги

2. Змінюючи величину опору  $R$  за завданням викладача зняти покази приладів і занести в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Результати дослідів для схеми з джерелом напруги

	Виміряно			Обчислено			
	$R$ , Ом	$U_{ab}$ , В	$I_{ab}$ , А	$R$ , Ом	$P$ , Вт	$P_0$ , Вт	$\eta$ , %
1							
2							
...							
$n$							

3. За результатами дослідів п. 2 визначити параметри схеми Тевенена (рис. 3.2, а) і зобразити її.

4. За результатами дослідів п. 2 визначити:

- опір навантаження  $R$ ;
- потужність, яка споживається навантаженням  $P$ ;
- потужність, яка виділяється джерелом напруги  $P_0$ ;
- ККД передачі енергії від активного двухполюсника до навантаження  $\eta$ .

$\eta$ .

Розрахунок привести для кількох дослідів детально, для інших – звести в табл. 3.1.

5. За результатами обчислень п. 4 побудувати наступні графіки залежностей:  $U(R)$ ,  $I(R)$ ,  $P(R)$ ,  $P_0(R)$ ,  $\eta(R)$ ,  $U(I)$ ,  $P(I)$ ,  $P_0(I)$ ,  $\eta(I)$ .

На графіках вказати точки, що відповідають режимам ХХ, КЗ та узгодженому.

6. Зібрати схему досліду (рис. 3.8). Джерело живлення встановити на режим стабілізації струму. Величини  $J_0$  та  $R_0$  визначити із результатів попереднього досліду.

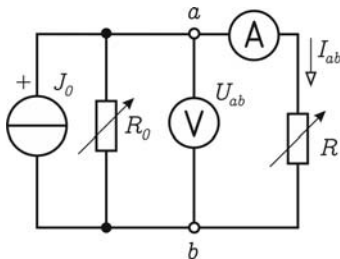


Рис. 3.8. Схема досліду з джерелом струму

7. Змінюючи величину  $R$  як в попередньому досліді зняти покази приладів і занести в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Результати дослідів для схеми з джерелом струму

	Виміряно			Обчислено			
	$R$ , Ом	$U_{ab}$ , В	$I_{ab}$ , А	$R$ , Ом	$P$ , Вт	$P_0$ , Вт	$\eta$ , %
1							
2							
...							
$n$							

8. За результатами досліду п. 7 визначити параметри схеми Нортон (рис. 3.2, б) і зобразити її.

9. За результатами досліду п. 2 визначити величини  $R$ ,  $P$ ,  $P_0$ ,  $\eta$ , аналогічно до п. 4:

Розрахунок привести для кількох дослідів детально, для інших – звести в табл. 3.2.

10. За результатами обчислень п. 8 (табл. 3.2) виконати побудови аналогічні до п. 5.

11. Порівняти дані розрахунків за дослідом з джерелом напруги та дослідом з джерелом струму (табл. 3.1–3.2) та відповідні графіки з п. 5 і п. 9. Зробити висновки.

12. Для схем заміщення активного двухполосника побудувати теоретичні залежності  $U(R)$ ,  $I(R)$ ,  $P(R)$ ,  $P_0(R)$ ,  $\eta(R)$ ,  $U(I)$ ,  $P(I)$ ,  $P_0(I)$ ,  $\eta(I)$ . Порівняти їх із дослідними, зробити висновки.

### Контрольні питання

1. Що таке двухполосник?
2. Що таке активний двухполосник?
3. Що таке пасивний двухполосник?
4. Що таке схема заміщення?
5. Назвіть елементи схем заміщення.
6. Якими схемами заміщення можна представити активний двухполосник? Зобразіть їх.
7. Поясніть теорему Тевенена.
8. Поясніть теорему Нортона.
9. Назвіть режими роботи активного двухполосника.
10. Поясніть детально режим холостого ходу.
11. Поясніть детально режим короткого замикання.
12. Поясніть детально узгоджений режим.
13. Поясніть, як по дослідах Х.Х. і К.З. активного двухполосника можна побудувати схему Тевенена і визначити її параметри.
14. Поясніть, як по дослідах Х.Х. і К.З. активного двухполосника можна побудувати схему Нортона і визначити її параметри.
15. Еквівалентні перетворення схем Нортона і Тевенена.
16. Якою схемою заміщення можна представити пасивний двухполосник у колах постійного струму?
17. Що таке вольтамперна характеристика?
18. Що таке лінійний двухполосник?
19. Що таке нелінійний двухполосник?
20. Поясніть залежності  $U(R)$ ,  $I(R)$ ,  $P_{\text{сп}}(R)$ ,  $P_{\text{дж}}(R)$ ,  $\eta(R)$ ,  $U(I)$ ,  $P_{\text{сп}}(I)$ ,  $P_{\text{дж}}(I)$ ,  $\eta(I)$  для активного двухполосника.

## Лабораторна робота № 4

### *Нерозгалужене коло синусоїдального струму. Резонанс напруг.*

**Мета роботи.** Дослідити співвідношення між електричними величинами в нерозгалуженому колі змінного струму; дослідити резонанс напруг; навчитись будувати векторні, топографічні та колові діаграми.

#### **Розрахункові формули**

Повний, активний та реактивний опір котушки індуктивності:

$$R_K = P_K / I_K^2, Z_K = U_K / I_K, X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}.$$

#### **Теоретичні відомості**

1. Зібрати схему по рис. 4.1. За допомогою ЛАТРа (лабораторний автотрансформатор) встановити напругу, при якій струм в колі рівний 0,2...0,3 А. Виміряти напругу, потужність і струм для першої котушки. Підключити замість першої котушки другу, повторити вимірювання. За отриманими даними розрахувати параметри котушок. Результати вимірювань і обчислень звести в табл. 4.1.

2. Зібрати схему по рис. 4.2. Встановити ЛАТРоm напругу  $U=100$  В. Виміряти величини, які приведені в табл. 4.2. За результатами вимірювань побудувати топографічну діаграму. Обрати масштаби напруги ( $m_U, B/cm$ ) та струму ( $m_I, A/cm$ ). Побудову можна почати з вектора  $U_{dc}$ . З кінця  $U_{dc}$  провести дугу радіусом рівним  $U_{cв}$ . З початку  $U_{dc}$  провести дугу радіусом рівним  $U_{dc}$ . Перетин дуг визначає положення точки  $в$ . Положення точок  $к$ ,  $а$  визначається аналогічно. Вектор струму  $I$  проводиться перпендикулярно до вектора  $U_{dc}$ , через його початок.

3. Використовуючи одну з котушок зібрати схему по рис. 4.3. Знаючи параметри котушки (табл. 4.1), підрахувати ємність, при якій в послідовному колі виникне резонанс напруг. Встановити ЛАТРоm напругу  $U=40$  В і протягом досліду підтримувати її сталою. Змінюючи ємність конденсатора провести вимірювання для режиму резонансу, а також для двох значень ємності  $C < C_{рез}$  і для двох значень  $C > C_{рез}$ . Результати вимірювань занести в табл. 4.3. За результатами вимірювань побудувати векторні діаграми для трьох режимів:  $C < C_{рез}$ ,  $C = C_{рез}$ ,  $C > C_{рез}$  (задає викладач).





## Контрольні запитання

1. Чим відрізняється активний опір від реактивного?
2. Що таке індуктивний, ємнісний опір? Від чого вони залежать?
3. Як визначити активний, реактивний та повний опір котушки?
4. Як визначити ємність конденсатора?
5. Що таке резонанс напруг? Які його ознаки при проведенні досліду?
6. Яким чином в послідовному колі можна досягти резонансу напруг?
7. Поясніть хід залежностей  $Z_{\text{ex}}=f_1(C)$ ,  $I=f_2(C)$ ,  $U_C=f_3(C)$ .
8. Перевірте виконання другого закону Кірхгофа для схеми рис. 2.3, користуючись дослідними даними табл. 2.3.
9. Поясніть побудову векторної діаграми для послідовного кола.
10. Як будується колова діаграма струму в послідовному колі?

## Лабораторна робота № 5

### *Розгалужене коло синусоїдального струму. Резонанс струмів*

**Мета роботи.** Дослідити співвідношення між електричними величинами в розгалуженому колі змінного струму; дослідити резонанс струмів.

### **Розрахункові формули**

Із трикутника струмів (рис. 3.1) визначаємо зсуви фаз між напругою і струмами:

$$\cos \alpha = \frac{I_K^2 + I_C^2 - I^2}{2I_K I_C}; \quad \varphi_K = 90^\circ - \alpha;$$

$$\cos \gamma = \frac{I_K^2 + I^2 - I_C^2}{2I_K I}; \quad \varphi = \varphi_K - \gamma,$$

де  $I_K$ ,  $I_C$ ,  $I$  – відповідно струм котушки, конденсатора та нерозгалуженої частини кола.

Активний і реактивний опори котушки:

$$R_K = \frac{U \cos \varphi_K}{I_K}; \quad X_L = \frac{U \sin \varphi_K}{I_K}.$$

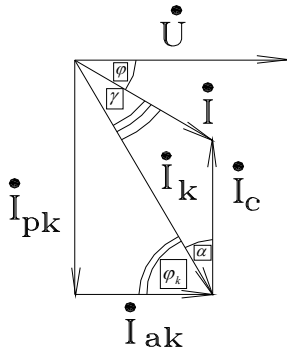


Рис. 5.1.

### Хід роботи

1. Зібрати схему по рис. 3.2. Змінюючи ємність від максимуму (6...8 значень, включаючи  $C=0$ ,  $C=\infty$ ) і підтримуючи при цьому напругу постійною, занести покази приладів в табл. 5.1.

2\*. Згідно отриманих результатів побудувати колову діаграму вектора загального струму.

3. Для одного з режимів приведених в табл. 5.1 (за завданням викладача) побудувати в масштабі векторну діаграму напруг і струмів. З її допомогою визначити параметри елементів кола в цьому режимі, а також активну, реактивну і повну потужності кола.

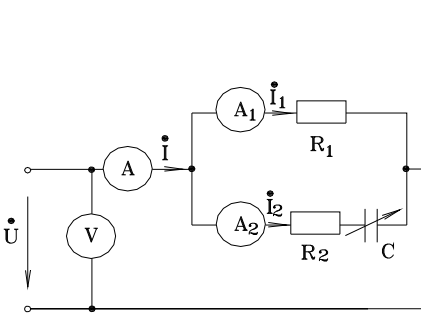


Рис. 5.2.

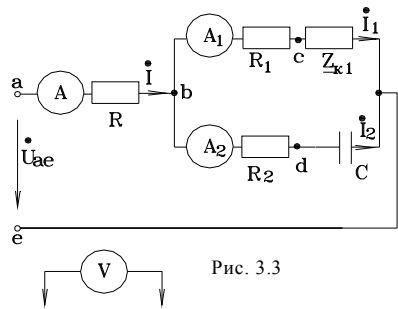


Рис. 3.3

Рис. 5.3.

Таблиця 5.1.

$C, \text{ мкФ}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$
0				
20				
40				
60				
80				
100				
$\infty$				

4. Опір  $R_1$  замінити котушкою, опір  $R_2$  вилучити зі схеми. Встановити ЛАТРОм напругу  $U=40 \text{ В}$ . Змінюючи ємність батареї конденсаторів, досягти резонансу струмів. Провести вимірювання для режиму резонансу, а також для двох значень ємності  $C < C_{\text{рез}}$  і для двох значень  $C > C_{\text{рез}}$ . Результати вимірювань занести до табл.5.2.

5. За результатами вимірювань обчислити величини, що наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Ємність конденсатора $C, \text{ мкФ}$	Виміряно					Обчислено					
	$C, \text{ мкФ}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$	$X_C, \text{ Ом}$	$Z_{\text{ex}}, \text{ Ом}$	$\cos \varphi$	$\varphi, \text{ град}$	$R_K, \text{ Ом}$	$X_L, \text{ Ом}$
$C=C_{\text{рез}}=$											

6. Побудувати графіки залежностей  $Z_{\text{ex}}=f_1(C)$ ,  $I=f_2(C)$ ,  $\cos\varphi=f_3(C)$ .

7. Зібрати схему по рис. 5.3. Встановити в колі довільний режим. Виміряти струми  $I, I_1, I_2$ ; напруги  $U_{ae}, U_{ab}, U_{ac}, U_{ce}, U_{ae}, U_{ed}, U_{de}, U_{cd}$ .

8. Побудувати топографічну діаграму напруг і векторну діаграму струмів за результатами вимірювань п.п. 7. По діаграмі визначити напругу  $U_{cd}$  і порівняти її з виміряною.

9. Поміняти в схемі рис. 5.3 місцями  $R_2$  і  $C$ . При тих же значеннях струмів (п.п. 7) виміряти нові значення напруг  $U_{ed}$ ,  $U_{de}$ ,  $U_{cd}$ .
10. Побудувати топографічну діаграму для нового чергування  $R_2$  і  $C$ .

### **Контрольні запитання**

1. Запишіть вираз для комплексного опору кола по схемі рис. 3.2.
2. Запишіть формули для визначення активного і реактивного опору котушки. Визначте активну і реактивну провідності котушки.
3. Що таке резонанс струмів? Які його ознаки при проведенні досліду?
4. Запишіть умову резонансу струмів для паралельно включених котушки і конденсатора.
5. Визначте вхідний опір кола при паралельно ввімкнених котушці і конденсаторі при резонансі струмів.
6. При яких умовах в паралельному колі з котушки і конденсатора спостерігається резонанс струмів на всіх частотах?
7. Яким чином в паралельному колі можна досягти резонансу струмів?
8. Поясніть хід залежностей  $Z_{ex}=f_1(C)$ ,  $I=f_2(C)$ ,  $\cos\varphi=f_3(C)$ .
9. Перевірте виконання першого закону Кірхгофа для схеми рис. 3.2, користуючись дослідними даними табл. 3.1.
10. При яких умовах в паралельному колі з котушки і конденсатора спостерігається резонанс струмів на всіх частотах?

### **Лабораторна робота № 6**

#### ***Дослідження трифазного кола при з'єднанні споживачів зіркою***

**Мета роботи.** Ознайомитися з особливостями роботи трифазного кола при з'єднанні джерела і приймача по схемі зірка.

#### **Хід роботи**

1. Зібрати схему по рис. 6.1. Виміряти струми і напруги для трьох режимів:
  - а) симетричне навантаження – у всіх фазах увімкнені лампові реостати з однаковою кількістю ламп однакової потужності;

б) несиметричне навантаження – ламповий реостат у фазі  $A$  замінити батареєю конденсаторів;

в) обрив лінійного проводу  $C$ .

Результати вимірювань занести в табл.6.1.

2. За результатами вимірювань побудувати векторні діаграми фазних напруг і струмів для трьох режимів роботи. З векторних діаграм визначити

значення  $I_N$  і порівняти отримані значення з результатами вимірювань.

3. Лампові реостати у фазах  $B$  і  $C$  замінити відповідно котушкою і батареєю конденсаторів. Виміряти напруги і струми.

4. Поміняти місцями котушку і батарею конденсаторів. Повторити вимірювання. Результати вимірювань пп. 3 і 4 занести до табл. 6.2.

5. Згідно виміряних результатів пп. 3 і 4 побудувати векторну діаграму напруг і струмів. Визначити з неї струм в нейтральному проводі. Порівняти отримані значення з результатами вимірювань. Чому при тих же споживачах струми  $I_N$  для пп. 3 і 4 різні?

6. Відключити нейтральний провід в схемі по рис. 6.1. Провести вимірювання для трьох режимів, перерахованих у п. 1. Результати вимірювань занести до табл. 6.3.

7. Побудувати векторні діаграми напруг і струмів для трьох режимів. Для режиму несиметричного навантаження перевірити виконання рівності:  $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$

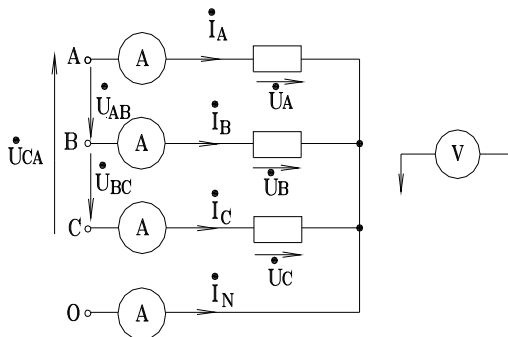


Рис. 6.1.

Таблиця 6.1.

Режим навантаження	Фазні напруги			Лінійні напруги			Струми в лінійних і нейтральному проводах			
	$U_A, B$	$U_B, B$	$U_C, B$	$U_{AB}, B$	$U_{BC}, B$	$U_{CA}, B$	$I_A, A$	$I_B, A$	$I_C, A$	$I_N, A$
Симетричне										
Несиметричне										
Обрив провoda C										

Таблиця 6.2.

Режим навантаження	$U_A, B$	$U_B, B$	$U_C, B$	$U_{AB}, B$	$U_{BC}, B$	$U_{CA}, B$	$I_A, A$	$I_B, A$	$I_C, A$	$I_N, A$
Котушка у фазі B										
Котушка у фазі C										

Таблиця 6.3.

Режим навантаження	$U_A, B$	$U_B, B$	$U_C, B$	$U_{AB}, B$	$U_{BC}, B$	$U_{CA}, B$	$U_{0'0}, B$	$I_A, A$	$I_B, A$	$I_C, A$
Симетричне										
Несиметричне										
Обрив провoda C										

Таблиця 6.4.

Режим навантаження	$U_A, B$	$U_B, B$	$U_C, B$	$U_{AB}, B$	$U_{BC}, B$	$U_{CA}, B$	$U_{0'0}, B$
Ємність у фазі A							

Котушка у фазі <i>A</i>							
-------------------------	--	--	--	--	--	--	--

8. Увімкнути в фазу *A* батарею конденсаторів, у фази *B* і *C* увімкнути однакові лампові реостати. Виміряти фазні і лінійні напруги.

9. Батарею конденсаторів замінити котушкою. Повторити вимірювання. Результати вимірювань пп. 6 і 9 занести у табл. 6.4.

10. Побудувати векторні діаграми фазних і лінійних напруг. З векторних діаграм визначити напругу зміщення нейтралі  $U_{00}$ . Отримані значення порівняти з результатами вимірювань.

### Контрольні запитання

1. Яке навантаження називається симетричним?
2. Побудувати векторну діаграму напруг і струмів для схеми з нейтральним проводом, якщо опори фаз:  $R_A = \omega L_B = \frac{1}{\omega C_C}$ .
3. Визначить струм в нейтральному проводі, якщо навантаження у фазах *A* і *B* –активне, однакової потужності, а лінійний провід *C* обірваний.
4. Визначить комплекси фазних і лінійних струмів, якщо опори фаз  $R_A = \omega L_B = \frac{1}{\omega C_C}$  при обриві нейтрального проводу і  $U_{\text{ф.генератора}} = 127 \text{ В}$ .
5. Чому не можна вмикати освітлювальні прилади за схемою «зірка-зірка» без нейтрального проводу?

## Лабораторна робота № 7

### Дослідження трифазного кола при з'єднанні фаз трикутником

**Мета роботи.** Дослідити співвідношення між фазними і лінійними струмами і напругами на елементах кола при з'єднанні по схемі трикутник. Виміряти потужність в трифазному колі за схемою двох ватметрів і побудувати векторні діаграми для різних режимів.

#### Хід роботи

1. Зібрати схему за рис. 7.1. Виміряти струми і напруги для трьох режимів: а) симетричне навантаження – у всіх фазах увімкнені однакові лампові реостати; б) несиметричне навантаження – ламповий реостат між точками *B* і *C* замінити батареєю конденсаторів; в) обірваний лінійний провід *C*.

Результати вимірювань занести в табл. 7.1. За результатами вимірювань побудувати векторні діаграми напруг і струмів для всіх режимів роботи. При побудові векторної діаграми вектор  $\dot{U}_{AB}$  розмістити по дійсній осі комплексної площини.

2. Записати комплекси фазних струмів для всіх режимів, вважаючи  $\dot{I}_{AB} = I_{AB}$ . Визначити комплекси лінійних струмів, використовуючи співвідношення:  $\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$ ;  $\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$ ;  $\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$ . Результати обчислень записати в табл. 5.2. Порівняти модулі комплексів  $\dot{I}_A$ ,  $\dot{I}_B$ ,  $\dot{I}_C$  з результатами вимірювань.

3. За результатами вимірювань для несиметричного навантаження визначити симетричні складові струмів  $\dot{I}_0$ ,  $\dot{I}_1$ ,  $\dot{I}_2$ .

4. Зібрати схему за рис. 7.2. В кожен фазу навантаження увімкнути однакові лампові реостати. Результати вимірювань записати в табл. 7.3. За результатами вимірювань побудувати векторну діаграму фазних і лінійних струмів. Визначити з діаграми комплекси лінійних струмів. Вектори  $\dot{U}_{Aa}$ ,  $\dot{U}_{Bb}$ ,  $\dot{U}_{Cc}$  розмістити виходячи з положення векторів



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

### **Контрольні запитання**

1. Як з'єднати споживачі «трикутником»?
2. Які співвідношення між лінійними і фазними величинами в схемі «трикутник»?
3. Як вимірюється потужність в трипровідній трифазній мережі?
4. Як будують топографічну діаграму напруг в схемі «трикутник»?

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Теорія електричних і магнітних кіл: Підручник / С. В. Панченко, О. М. Анянська, М. М. Бабаєв та ін. – 2-ге вид., випр. та допов. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 246 с., рис. 213, табл. 2.
2. Теоретичні основи електротехніки : [підруч.] / Г. П. Балан, П. О. Кравченко, Ю. Ф. Свергун, О. Є. Щербаков – К. : Інтас, 2007. – 325 с.
3. Теоретичні основи електротехніки. Комп'ютерні розрахунки та моделювання лінійних електричних кіл: навчальний посібник / Ю.О. Карпов, С.Ш. Кацив, В.В. Кухарчук ; Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет. - Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. - 209 с.
4. Електротехніка : підручник для студентів вищих закладів освіти / Коруд В.І., Гамола, О.Є., Малинівський С.М. - Львів: Магнолія 2006, 2018. - 446 с
5. Основи електротехніки та електроніки: підручник / М.П. Матвієнко; Міністерство освіти і науки України, Конотопський інститут Сумського державного університету. - Київ: Видавництво Ліра-К, 2019. - 503 с.
6. Нова електротехніка : лекції професора В. Чабана з теоретичної електротехніки / Василь Чабан. - Львів : Простір М, 2019. - 354 с.
7. Теоретичні основи електротехніки: підручник для студентів спеціальностей: 141 "Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка" та "Комп'ютерна інженерія" / В.С. Маляр ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 414 с.
8. Теорія електричних кіл. Практикум: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В.Ф. Синько, О.В. Вовна, І.С. Лактіонов ; Міністерство освіти і науки України, Державний вищий навчальний заклад "Донецький національний технічний університет". - Покровськ: ДВНЗ "ДонНТУ", 2018. - 214 с.
9. Теорія електричних кіл. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. А. Хижняк, А. В. Заграничний. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,34 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 78 с.

# ДОДАТОК А. ТИТУЛЬНИЙ АРКУШ ЗВІТУ З ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

## ЗВІТ

з практичної роботи № 1

з курсу: *«Теорія електричних та магнітних кіл»*

на тему: *«Експериментальна перевірка закону Ома для ділянки кола»*

Виконав здобувач вищої освіти  
групи КІ-21 спеціальності  
123 «Комп'ютерна інженерія»

---

Перевірила  
к.т.н., доц. К. Петрова

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_

м. Кропивницький – 20\_\_ рік