

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Чернігівська політехніка»  
Кафедра технологій зварювання та будівництва

## **ЕЛЕКТРОТЕХНІКА В БУДІВНИЦТВІ**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»,  
за освітньою програмою «Будівництво та цивільна інженерія»

Затверджено на засіданні  
кафедри технологій зварювання  
та будівництва, протокол №5  
від 7.04.2023 р.

Чернігів 2023

Електротехніка в будівництві. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», /Укл. Болотов Г.П., Болотов М.Г., Руденко М.М. – Чернігів: НУ «ЧП», 2023. – 32 с.

Укладачі: Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор кафедри технологій зварювання та будівництва  
Болотов Максим Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва  
Руденко Михайло Миколайович, старший викладач кафедри технологій зварювання та будівництва

Відповідальний за випуск: Прибитько Ірина Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологій зварювання та будівництва

Рецензент: Ющенко С.М., кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка»

## ВСТУП

Методичні вказівки з описом лабораторних робіт з нормативної дисципліни "Електротехніка в будівництві» складені для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Методичні вказівки складені таким чином, щоб здобувач ВО, приступаючи до виконання роботи, мав можливість повторити теоретичний матеріал з відповідних розділів лекційного курсу, ознайомитися із змістом лабораторної роботи, з методикою проведення досліджень та аналізу отриманих результатів.

В описі кожної лабораторної роботи наведені мета, завдання, основні теоретичні відомості та закони електротехніки, необхідні для виконання роботи, принципові електричні схеми випробувань.

Ретельний опис кожної лабораторної роботи надає можливість здобувачу самостійно виконати необхідні дослідження.

За результатом виконання лабораторних робіт здобувач зможе самостійно вирішувати наступні практичні задачі:

1. Здійснити монтаж схеми випробувань найпростішого електротехнічного обладнання.
2. Виміряти основні характеристики електричних кіл.
3. Здійснити аналіз отриманих результатів і зробити висновки.

# 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

## Дослідження нерозгалужених електричних кіл постійного струму з одним та декількома джерелами е.р.с.

1.1 Мета роботи: визначення основних параметрів нерозгалужених електричних кіл постійного струму

1.2 Прилади та матеріали:

Випрямляч ВС-24 або акумулятор – 2 од.

Вольтметр 0...50 В – 2 од.

Амперметр 0...1 А – 1 од.

Реостати – 3 од.

З'єднувальні дроти

1.3 Інформація для самостійної підготовки

На рис. 1.1 зображена схема найпростішого електричного кола, всі елементи якого утворюють один замкнений контур. Такий контур зветься нерозгалуженим електричним колом. До складу такого контуру входять опори різних електричних навантажень (зокрема, електронагрівальні прилади та інші побутові та промислові пристрої), а також, опори з'єднувальних дротів, які як правило, є незначними і можуть не враховуватись.

Електричний струм у замкненому контурі може виникнути лише під дією е.р.с., створеною джерелом електричної енергії  $E$ . Зв'язок між е.р.с. джерела, опорамі кола та струмом, що протікає у цьому колі встановлюється законом Ома.

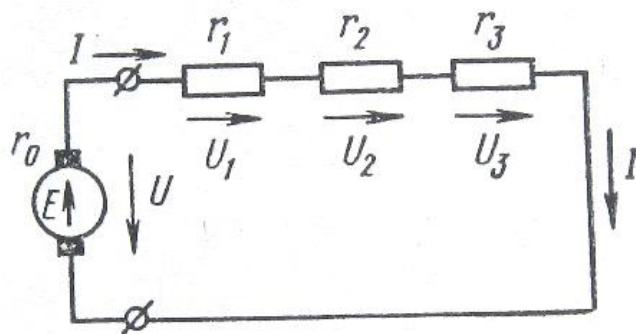


Рисунок 1.1– Схема простого нерозгалуженого електричного кола.

Якщо у колі, наведеному на рис. 1.1 відома е.р.с., а також, опір зовнішньої ділянки кола (опір споживачів енергії)  $r$  та опір внутрішньої ділянки кола (внутрішній опір джерела енергії)  $r_e$ , то величину струму можливо знайти за формулою

(1.1)

$$I = \frac{E}{r + r_e}$$

Ця формула визначає закон Ома для замкненого контуру електричного кола: величина струму у колі прямо пропорційна е.р.с. джерела та зворотно пропорційна його загальному опору.

Формулу (1.1) можна представити відносно е.р.с.:

$$E = I(r + r_e) \quad (1.2)$$

або

$$E = rI + r_e I \quad (1.3)$$

Добуток струму на опір представляє собою падіння напруги. Добуток ( $Ir$ ) є падінням напруги на навантаженні (на зовнішньому опорі), а добуток ( $Ir_e$ ) – падінням напруги на внутрішньому опорі джерела енергії, е.р.с. дорівнює додатку падінь напруги на внутрішній та зовнішній ділянках кола. Хімічні джерела енергії (аккумулятори, гальванічні елементи) мають значний внутрішній опір, електричні джерела (генератори, випрямлячі) характеризуються незначним внутрішнім опором, який при орієнтовних розрахунках можливо не враховувати.

Закон Ома може бути застосований не тільки до всього кола, а й до окремої його ділянки. В цьому випадку е.р.с.  $E$  джерела у формулі 1.1 повинна бути замінена різницею потенціалів між початком та кінцем ділянки, тобто напругою  $U$ , а замість опору всього кола у формулу необхідно підставляти опір  $r$  даної ділянки.

Хоча у нерозгалуженому колі на всіх його ділянках протікає один і той же струм, він може мати не один, а декілька джерел енергії з різними е.р.с. У колі, зображеному на рис. 1.2 діють три е.р.с. Одна з них спрямована протилежно двом іншим. Напрямок дії е.р.с. на схемах позначають стрілкою. Всі е.р.с., що співпадають з обраним напрямком струму, вважаються позитивними, а е.р.с. з протилежним напрямком – негативними. Повна е.р.с. у колі на рис. 1.2 буде складати:

$$\Sigma E = E_1 + E_2 - E_3,$$

а струм:

$$I = \Sigma E / \Sigma r$$

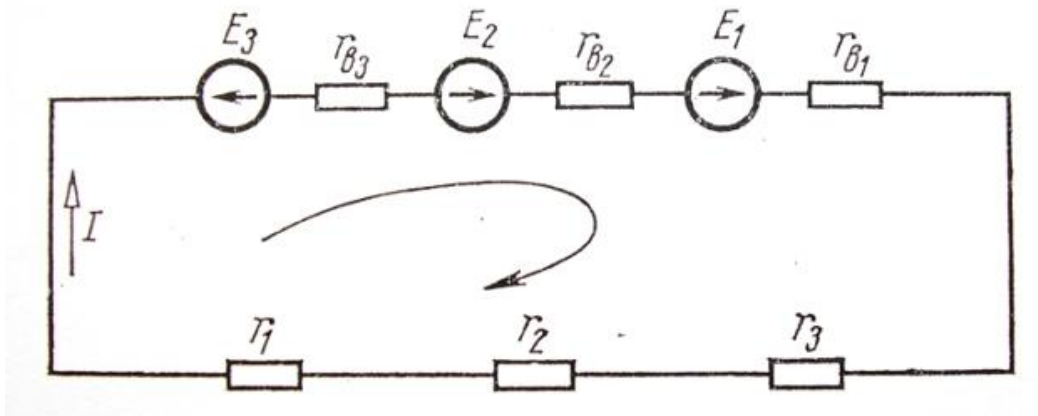


Рисунок 1.2– Схема нерозгалуженого електричного кола з декількома е.р.с.

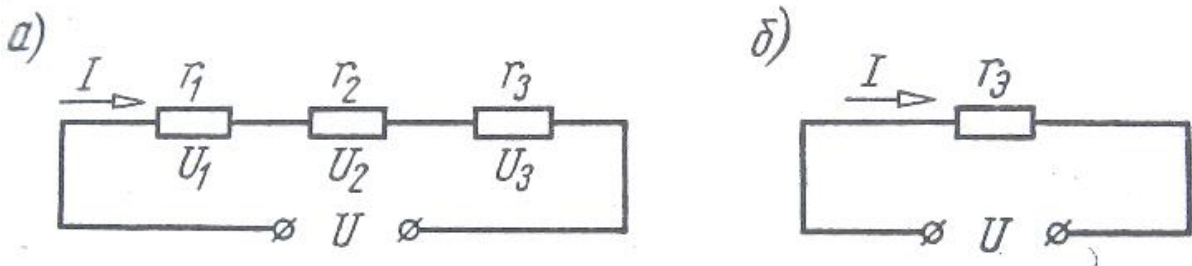


Рисунок 1.3 – Послідовне з'єднання опорів (а) та їх заміна еквівалентним опором (б)

Послідовним з'єднанням опорів зветься таке, при якому по всіх елементах кола протікає один і той же струм (рис. 1.3)

Загальна напруга дорівнює додатку падіння напруг на кожному з опорів:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1.4)$$

або

$$U = r_1 I + r_2 I + r_3 I = I(r_1 + r_2 + r_3) \quad (1.5)$$

Останнє означає, що усі послідовно з'єднані опори можна замінити одним еквівалентним (або рівнозначним) опором  $r_e$ , тобто

$$r_1 + r_2 + r_3 = r_e \quad (1.6)$$

Паралельним з'єднанням опорів зветься таке, при якому опори підключаються до однієї й тієї ж пари електричних вузлів (рис. 1.4). При цьому

до всіх опорів прикладається одна і та ж напруга. Струми, що протікають у паралельно з'єднаних опорах, різні, якщо опори неоднакові.  
Сумарний струм у колі :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1.7)$$

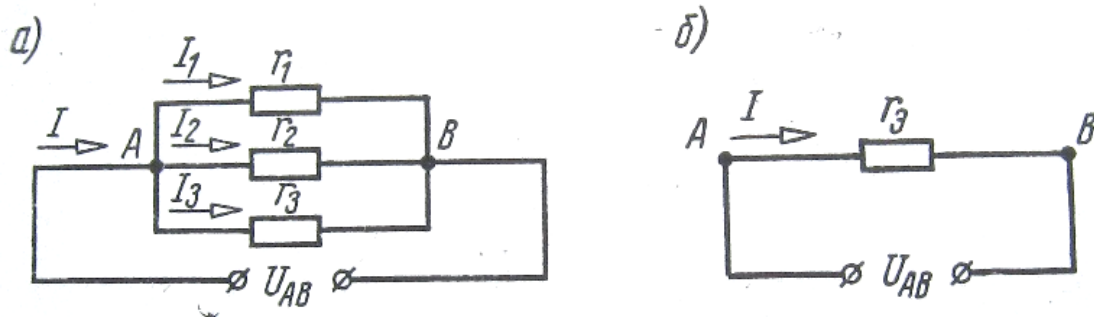


Рисунок 1.4 – Паралельне з'єднання опорів (а) та його заміна еквівалентним опором (б)

За законом Ома струм в окремих гілках такого з'єднання:

$$\begin{aligned} I_1 &= U_{AB}/r_1 \\ I_2 &= U_{AB}/r_2 \\ I_3 &= U_{AB}/r_3 \end{aligned} \quad (1.8)$$

Праві частини рівнянь (1.8) підставимо у рівняння (1.7):

$$I = U_{AB}(1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_3) \quad (1.9)$$

або  $I = U_{AB}/r_e$ , де  $r_e$  – еквівалентний опір кола.

Звідси, еквівалентний опір при паралельному з'єднанні визначається формулою

$$1/r_e = 1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_3 \quad (1.10)$$

При змішаному (комбінованому) з'єднанні частина опорів вмикається послідовно, а частина – паралельно (рис. 1.5а). Визначення еквівалентного опору при змішаному з'єднанні здійснюють поступово (рис. 1.5б та в).

Електричні схеми, що мають змішане з'єднання опорів, можуть бути перетворені у більш прості шляхом заміни послідовно та паралельно з'єднаних еквівалентними згідно формул (1.6) та (1.10).

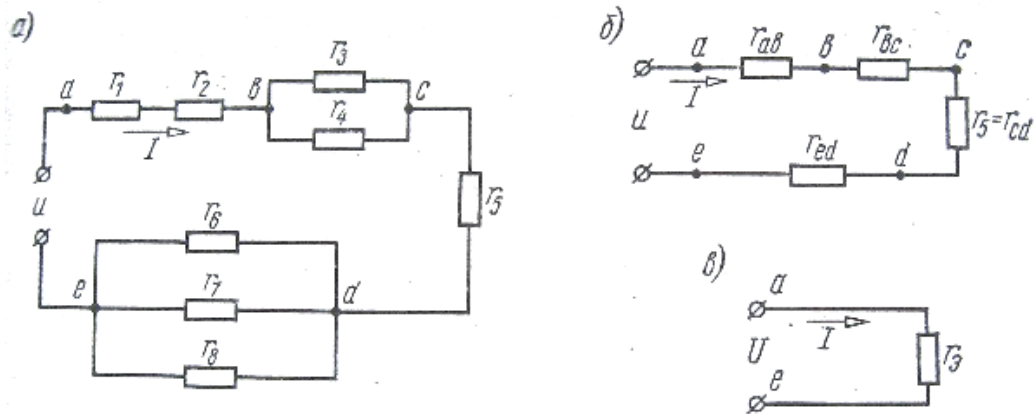


Рисунок 1.5—Змішане з'єднання опорів (а) та еквівалентні схеми його перетворення (б, в)

#### 1.4 Порядок виконання роботи

1.4.1. Зібрати електричну схему нерозгалуженого контуру з одним джерелом е.р.с., задану викладачем.

1.4.2. Ввімкнути джерело енергії постійного струму (випрямляч або акумуляторні батареї). Встановити задану викладачем напругу на виході джерела.

1.4.3. Виміряти струм у колі.

1.4.4. Визначити величину струму у колі розрахунковим методом та порівняти його з експериментальним значенням.

1.4.5. Визначити величину внутрішнього опору джерела е.р.с.

1.4.6. Повторити досліди для схеми з двома джерелами е.р.с. при їх узгодженому та зустрічному вмиканні.

#### 1.5 Зміст звіту

1.5.1. Найменування роботи та її мета.

1.5.2. Електричні схеми дослідів.

1.5.3. Вхідні дані для проведення дослідів.

1.5.4. Результати вимірювань.

1.5.5. Результати розрахункового визначення параметрів кола.

#### 1.6 Питання для самоперевірки

1.6.1. Поняття нерозгалуженого електричного кола.



- 1.6.2. Закон Ома для простого нерозгалуженого кола.
- 1.6.3. Закон Ома для нерозгалуженого кола з декількома джерелами е.р.с.
- 1.6.4. Які опори входять до складу електричного кола.
- 1.6.5. Визначення еквівалентного опору при послідовному з'єднанні опорів.
- 1.6.6. Визначення еквівалентного опору ділянки кола при паралельному з'єднанні опорів.

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### Дослідження розгалужених електричних кіл постійного струму з декількома джерелами е.р.с.

2.1 Мета роботи: визначення експериментальними та розрахунковими методами основних параметрів розгалужених електричних кіл постійного струму

2.2 Обладнання та матеріали:

Випрямляч ВС-24 або акумулятор – 2 од.

Вольтметр 0...50 В – 2 од.

Амперметр 0...5 А – 3 од.

Реостати – 4 од.

З'єднувальні дроти

2.3 Інформація для самостійної підготовки

У розгалужених колах розрізняють наступні елементи: гілки, вузли та контури. Струми, що протікають в окремих елементах кола, можуть бути різними на відміну від нерозгалуженого одноконтурного кола, в якому у всіх елементах протікає один струм.

Гілка – це ділянка електричного кола, у якій протікає один струм. Вона може мати не один будь-який елемент кола, а декілька послідовно з'єднаних. Наприклад, у колі, зображеному на рис. 2.1, мається сім гілок. Гілка МАБ має три послідовно з'єднаних опори та одне джерело е.р.с.

Вузлом зветься точка кола, де сходяться не менше трьох гілок (точки Б, М, Д, Г на рис. 2.1).

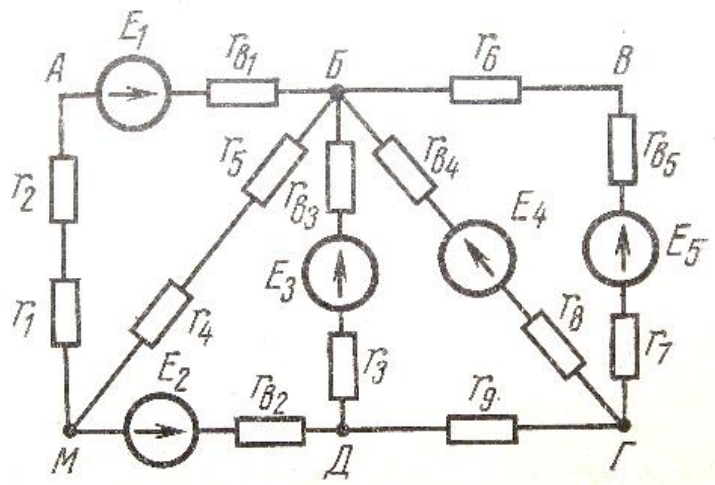


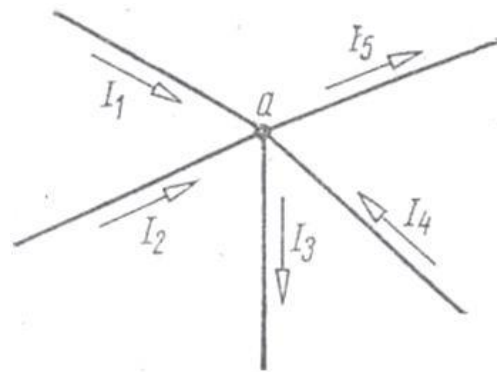
Рисунок 2.1– Схема складного електричного кола

Електричний контур – будь-який замкнений шлях, утворений гілками кола (наприклад, контури МАБМ, МБГДМ та ін.). Контур МАБВГДМ зветься зовнішнім контуром.

Аналіз схеми на рисунку 2.1 свідчить, що окремі елементи кола (опори) можуть бути з'єднані послідовно у гілках, паралельно у окремих контурах та комбінованим способом у суміжних контурах схеми.

У випадку складних розгалужених кіл, які складаються з декількох контурів, мають значну кількість опорів та е.р.с., з'єднаних між собою різним способом, для розрахунку електричних величин (е.р.с., сили струму, величини опорів) окрім закону Ома застосовують два закони Кірхгофа. Перший закон Кірхгофа встановлює співвідношення між струмами у електричному вузлі, а другий – співвідношення між е.р.с. та падіннями напруги на всіх ділянках замкненого контура.

Рисунок 2.2 – Електричний вузол



При сталому режимі у колі кількість електрики, що підходить до вузла (рис. 2.2), дорівнює кількості електрики, що виходить з нього за той же час. Тому сума струмів, що приходять до вузла, дорівнює сумі струмів, що виходять з нього.

*Перший закон Кірхгофа.* Алгебраїчна сума сил струмів, що сходяться у вузлі схеми, дорівнює нулю

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad (2.1)$$

де  $n$  – кількість струмів, що сходяться у вузлі. Струми, що підходять до вузла, умовно вважають позитивними, а що виходять з вузла – негативними.

*Другий закон Кірхгофа.* У довільному замкненому контурі електричного кола алгебраїчна сума добутків струмів на величину опорів відповідних ділянок кола (включаючи і внутрішні опори) дорівнює алгебраїчній сумі е.р.с., що знаходяться в цьому контурі,

$$\sum_{j=1}^m I_j R_j = \sum_{i=1}^p E_i \quad (2.3)$$

Другий закон Кірхгофа для кожного замкненого кола можна записати у вигляді

$$\sum_{i=1}^n U_i - \sum_{k=1}^m E_k = 0 \quad (2.4)$$

У окремих гілках замкненого контуру е.р.с. та струми можуть мати різні напрямки, тому при розрахунку електричних кіл за законами Кірхгофа необхідно враховувати наступні правила:

1) довільно задати напрямок обходу контурів кола (звичайно контури обходять за годинниковою стрілкою);

2) довільно завдатися напрямком струмів у гілках кола;

3) добутки  $rI$  приймаються із знаком "плюс", коли обраний напрямок струму співпадає із напрямком обходу, та із знаком "мінус" при протилежних напрямках;

4) е.р.с. приймається зі знаком "плюс", якщо її напрямок співпадає із обраним напрямком обходу, та із знаком "мінус" при неспівпаданні цих напрямків.

Завданням розрахунку складних кіл є визначення струмів та падінь напруги у окремих гілках. Розрахунки здійснюють за допомогою законів Кірхгофа.

Кількість струмів у колі відповідає кількості гілок. Якщо кількість вузлів у схемі дорівнює  $q$ , то кількість рівнянь за першим законом Кірхгофа дорівнює  $q-1$ .

За другим законом Кірхгофа можна скласти стільки рівнянь, скільки контурів має розгалужене коло. Однак на практиці достатньо також рівнянь на одне менше кількості контурів. Загалом кількість рівнянь повинна дорівнювати кількості струмів у колі. Вирішуючи разом отриману систему рівнянь визначають значення струмів у гілках і падінь напруг на окремих ділянках розгалуженого кола.

## 2.4 Порядок виконання роботи

2.4.1. Зібрати електричну схему, задану викладачем.

2.4.2. Ввімкнути джерело е.р.с. постійного струму та встановити на його виході напругу, задану викладачем.

2.4.3. Здійснити вимірювання струмів у окремих гілках кола.

2.4.4. Визначити розрахунковими методами струми у окремих гілках кола.

## 2.5. Структура звіту.

2.5.1. Найменування роботи та її мета.

2.5.2. Електричні схеми дослідів.

2.5.3. Вхідні дані для проведення дослідів.

2.5.4. Результати вимірювань.

2.5.5. Результати розрахунків та їх порівняння з дослідними значеннями.

2.6. Питання для самоперевірки.

2.6.1. Основні складові розгалужених електричних кіл.

2.6.2. Перший закон Кірхгофа.

2.6.3. Другий закон Кірхгофа.

2.6.4. Основні правила застосування законів Кірхгофа.

### 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

#### Будова потенціальної діаграми електричного кола

3.1. Мета роботи: ознайомлення з принципом побудови та аналізу потенціальних діаграм електричних кіл.

3.2 Обладнання та матеріали:

Випрямляч ВС-24 – 2 од.

Амперметр 0...1 А.

Вольтметр 0...20 В.

Реостати – 4 од.

З'єднувальні дроти.

3.3. Інформація для самостійної підготовки

Потенціальною діаграмою зветься графік розподілу потенціалу вздовж будь-якої ділянки кола або замкненого контуру в залежності від опорів. Потенціальна діаграма наочно показує розподіл потенціалів у замкненому контурі складного або простого кола. Вона дає можливість легко встановити різницю потенціалів між будь-якими точками кола. Потенціальна діаграма будується на основі закону Ома. Для побудови діаграми необхідно знати величину і напрямок е.р.с., що діють у колі, та величини всіх опорів (у тому числі і внутрішніх опорів джерел е.р.с.), які ввімкнені у коло. Приклад схеми для побудови потенціальної діаграми наведений на рис. 3.1.

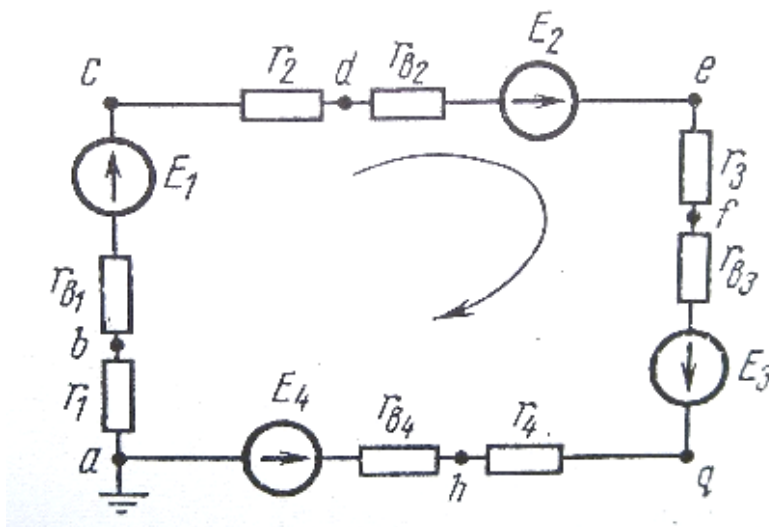


Рисунок 3.1– Схема електричного кола для побудови потенціальної діаграми.

В першу чергу визначається напрямок струму у колі. Для цього знаходиться алгебраїчна сума е.р.с., які діють у колі. В залежності від знаку цієї суми (позитивна або негативна) обирають напрямок струму (за годинниковою стрілкою або навпроти). Величину струму у колі визначають за законом Ома для електричного кола

$$I = \Sigma E / \Sigma r \quad (3.1)$$

Побудову потенціальної діаграми починають звичайно для однієї з точок (наприклад, т. *a*). Слід відзначити, що для початку відліку можна обрати будь-яку точку кола. Потенціали усіх інших точок кола визначають по відношенню до потенціалу обраної (базисної) точки. Потенціал такої базисної точки може бути взятий довільно, оскільки при зміні його на будь-яку величину потенціали всіх інших точок змінюються на ту ж саму величину і різниця потенціалів на окремих ділянках при цьому не зміниться. Звичайно потенціал базисної точки обирають рівним нулю (на схемі цю точку заземлюють, оскільки потенціал землі умовно приймають за нуль).

Користуючись законом Ома визначають для схеми потенціали точок, умовно вважаючи потенціал точки *a* рівним нулю:

$$\begin{aligned} \varphi_b &= \varphi_a - Ir_1 \\ \varphi_c &= \varphi_b + E_1 - Ir_{e1} \\ &\dots\dots\dots \\ \varphi_a &= \varphi_h - E_4 - Ir_{e4} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Останній результат повинен дорівнювати нулю ( $\varphi_a = 0$ ), що свідчить про те, що всі попередні обчислення зроблені правильно. На основі розрахованих потенціалів будують потенціальну діаграму. Для цього по осі абсцис у певному масштабі і в порядку розрахунку потенціалів, починаючи від заземленої (базисної) точки у напрямку проходження струму, відкладають значення опорів  $r_1, r_{e1}, r_2$  і далі, а по осі ординат – потенціали відповідних точок (кінців опорів). Отримані точки з'єднують між собою прямими лініями і отримують потенціальну діаграму (рис. 3.2).

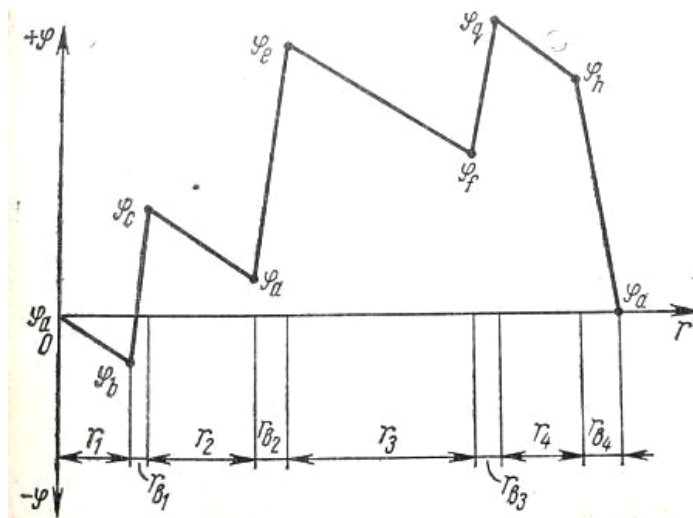


Рисунок 3.2– Потенціальна діаграма для електричного кола на рис. 3.1.

Визначивши потенціали точок, можна визначити також напругу між двома будь-якими точками кола, наприклад:

$$U_{cd} = \varphi_c - \varphi_d \quad (3.3)$$

Вивчаючи потенціальну діаграму, можна за зміною потенціалу наочно бачити, на яких ділянках знаходяться джерела енергії або споживачі енергії.

Потенціальна діаграма може бути побудована для контуру будь-якого складного кола. При розрахунку потенціалів у таких контурах слід враховувати, що струми на окремих ділянках неоднакові.

#### 3.4. Порядок виконання роботи.

3.4.1. Здійснити розрахунок потенціалів точок електричної схеми, наданої керівником.

3.4.2. Зібрати електричну схему.

3.4.3. Встановити задану напругу на джерелах е.р.с.

3.4.4. Визначити потенціал в окремих точках схеми.

Примітка: клему вольтметра із позначкою \* підключати до точки схеми, відносно якої вимірюється потенціал.

#### 3.5. Структура звіту.

3.5.1. Найменування роботи та її мета.

3.5.2. Електрична схема дослідів.

3.5.3. Вхідні дані для проведення дослідів.

3.5.4. Результати вимірювань.

3.5.5. Результати розрахунків та їх порівняння з дослідними значеннями у вигляді графіків.



### 3.6. Питання для самоперевірки.

3.6.1. Що зветься потенціальною діаграмою.

3.6.2. Що показує потенціальна діаграма.

3.6.3. Що таке базисна точка.

3.6.4. Як визначається правильність побудованої потенціальної діаграми.

## 4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### Визначення величини електричного опору різними методами

4.1. Мета роботи: ознайомлення з методиками визначення величини електричного опору.

4.3.2. Обладнання та матеріали:

Стабілізоване та регульоване джерело напруги ЛІПС-1.

Міст опорів.

Еталонний опір.

Вольтметр 0...10 В.

Амперметр 0...1 А.

Реостати – 2 од.

Вимірюваний опір.

З'єднувальні дроти.

4.3. Інформація для самостійної підготовки

На практиці доводиться вимірювати опори, починаючи від дуже малих значень, порядку  $10^{-6}$  Ом, та закінчуючи великими значеннями  $10^{15} \dots 10^{18}$  Ом. У вимірювальній практиці прийнятий наступний орієнтовний розподіл опорів: малі опори – 1 Ом та менше; середні опори – від 1 до  $10^5$  Ом; великі опори – більше  $10^5$  Ом. Електричні опори вимірюють трьома основними методами: методом амперметра та вольтметра; методом порівняння; методом електричного моста.

На рис. 4.1 зображена схема для вимірювання опору методом вольтметра та амперметра. З цієї схеми видно, що вимірюваний опір можна визначити за формулою

$$r_x = \frac{U}{I_A - I_V} \quad (4.1)$$

Щоб вольтметри не створювали значних втрат енергії їх виготовляють із досить значним внутрішнім опором. Тому можливо знехтувати струмом, що проходить через вольтметр і вважати  $I_V = 0$ .

Власний опір амперметра  $r_A$  звичайно дуже малий, тому приймаючи  $r_A = 0$  отримуємо:

$$r_x = U/I_A \quad (4.2)$$

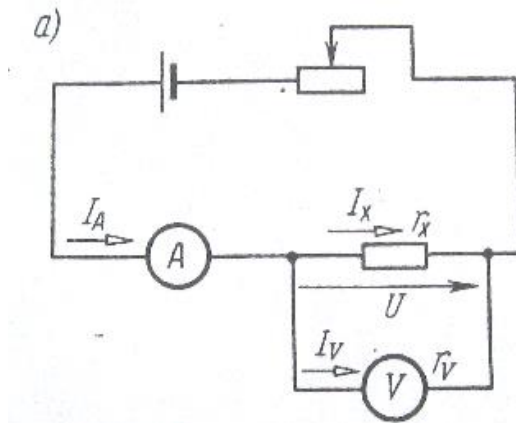


Рисунок 4.1– Вимірювання опору за допомогою вольтметра та амперметра.

Величину опору  $r_x$  можна також виміряти шляхом його порівняння з відомим зразковим опором  $r_o$  за схемою, зображеною на рис. 4.2. Якщо опір  $r_o$  можливо змінювати, то його змінюють так, щоб при двох положеннях перемикача  $K$  показання амперметрів були однаковими. В цьому випадку при постійній напрузі джерела можна записати

$$r_x = r_o$$

Якщо зразковий опір  $r_o$  постійний, то показання амперметра при двох положеннях перемикача  $K$  будуть різними. При цьому маємо

$$I_x(r_x + r_A) = I_o(r_o + r_A) \quad (4.3)$$

Звідси знаходимо вимірюваний опір  $r_x$ :

$$r_x = \frac{I_o}{I_x}(r_o + r_A) - r_A \quad (4.4)$$

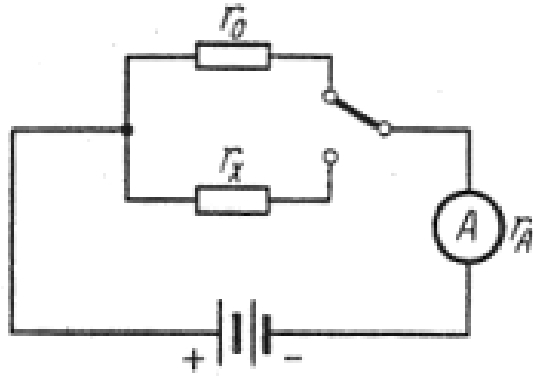


Рисунок 4.2– Схема вимірювання опору методом порівняння

Як вказувалось вище, опір амперметра  $r_A$  внаслідок його малості можна не враховувати.

Для вимірювання величини опорів широко застосовують електричну мостову схему (мост Уїтстона), зображену на рис. 4.3. Опори  $r_x$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$  утворюють так звані плечі моста. Ділянки кола, що з'єднують точки А та С, а також В та D зветься діагоналями моста. Звичайно в одну з діагоналей, в даному випадку діагональ ВD, вмикається вимірювальний прилад (гальванометр або амперметр), до іншої діагоналі АС підключається джерело напруги.

Опори  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$  (або будь-яке одне з них) виконуються регульованими, опір  $r_x$  – вимірюваний опір.

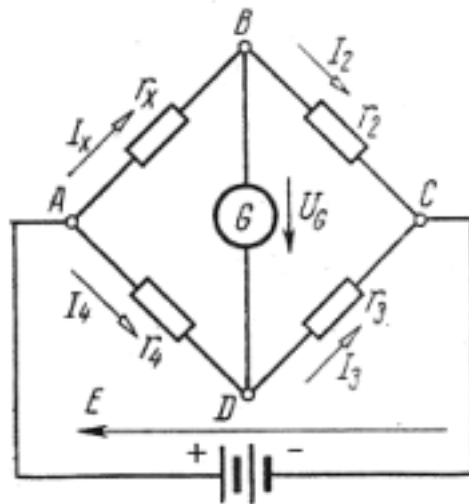


Рисунок 4.3– Схема моста Уїтстона

Опори  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$  (або одне з них) змінюють таким чином, щоб гальванометр, ввімкнений в діагональ моста, показував відсутність струму (врівноважений міст). При цьому

$$I_x = I_2 \text{ та } I_3 = I_4 \quad (3.5)$$

Для рівноваги моста необхідно, щоб напруги

$$U_{AB} = U_{AD} \text{ та } U_{BC} = U_{CD}$$

або  $I_x r_x = I_4 r_4 \text{ та } I_2 r_2 = I_3 r_3 \quad (4.6)$

Звідси:

$$r_x/r_4 = I_4/I_x \text{ та } r_2/r_3 = I_3/I_2 \quad (4.7)$$

Враховуючи (4.5) вираз (4.7) можна записати як:

$$r_x/r_4 = r_2/r_3$$

звідки знаходимо вимірюваний опір

$$r_x = r_4 r_2 / r_3$$

#### 4.4. Порядок виконання роботи

4.4.1. Зібрати електричну схему моста Уїтстона.

4.4.2. Підключити до діагоналі моста джерело постійної напруги і встановити напругу на його виході 10 В.

4.4.3. Регулюванням опору  $r_2$  встановити стрілку гальванометра на нульову позначку.

4.4.4. Враховуючи відомі опори плечей моста визначити величину вимірюваного опору.

4.4.5. Виміряти величину невідомого опору еталонним омметром та порівняти отримане значення із знайденим за допомогою моста.

#### 4.5 Структура звіту

4.5.1. Найменування роботи та її мета.

4.5.2. Технічні характеристики застосованих схем.

4.5.3. Результати експериментів.

4.6. Питання для самоперевірки

4.6.1. На які групи поділяють опори.

4.6.2. Методика вимірювання опору за допомогою вольтметра та амперметра.

4.6.3. Вимірювання опору методом порівняння.

4.6.4. Визначення величини опору за допомогою мостової схеми.

## 5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

### Реактивні елементи в колі змінного струму

5.1. Мета роботи: експериментальне ознайомлення з ємнісним та індуктивним опором в колі змінного струму.

5.2 Обладнання та матеріали:

Досліджувані конденсатори.  
Досліджувані індуктивності.  
Вольтметр 0...20 В.  
Амперметр 0...1 А.  
Осцилограф.  
З'єднувальні дроти.

5.3 Інформація для самостійної підготовки

Розглянемо коло із ввімкненою в неї ємністю. Якщо в коло постійного струму ввімкнути конденсатор і послідовно з ним високоомний вольтметр, який буде виконувати функцію міліамперметра, то можна спостерігати, що при замиканні кола стрілка вольтметра спочатку стрімко відхилиться, а далі по мірі заряджання конденсатора поступово повертається до нульового значення. Таким чином, постійний струм через конденсатор не проходить.

Якщо конденсатор ввімкнути у коло змінного струму, то буде здійснюватись коливальний процес, що складається у послідовному заряджанні та розряджанні конденсатора. Незважаючи на наявність діелектрика між пластинами конденсатора, на які подається потенціал, змінний струм через конденсатор не припиняється. Якщо перемкнути конденсатор провідником, струм в колі зростає. Звідси, конденсатор в колі змінного струму хоча і не перериває струм, але оказує йому деякий опір, який зветься ємнісним опором.

Згідно закону Ома величина струму в колі з ємністю:

$$I = \omega C U = \frac{U}{1/\omega C} \quad (4.1)$$

Величина  $1/\omega C$  представляє собою ємнісний опір, який зворотно пропорційно залежить від ємності  $C$  та частоти змінного струму  $f$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \quad (4.2)$$

Оскільки конденсатору для заряджання до максимального значення прикладеної напруги необхідний деякий час, тобто напруга на обкладинках конденсатора зростає поступово, це призводить до того, що напруга в колі змінного струму з конденсатором відстає за фазою від струму в цьому колі (рис. 5.1). Таке розходження фаз зветься зсувом фаз.

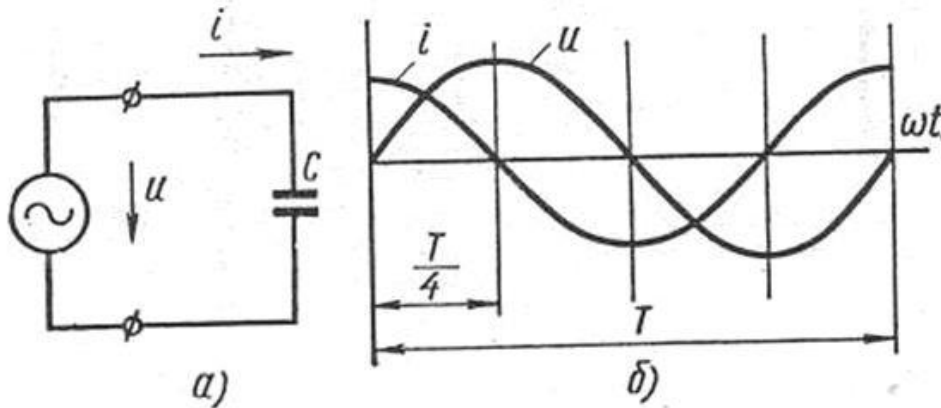


Рисунок 5.1– Графіки змінного струму і напруги в колі з ємнісним опором

Якщо ввімкнути котушку індуктивності в коло постійного струму, то амперметр покаже величину струму, що визначається за законом Ома

$$I = U/R \quad (5.3)$$

де  $R$  – величина активного опору дротів котушки, який залежить тільки від їх перерізу та довжини, і не залежить від індуктивності котушки.

При вмиканні котушки в коло змінного струму введення феромагнітного осердя всередину витків призводить до зменшення струму в колі. Тобто, наявність індуктивності рівнозначна наявності опору в колі змінного струму. Опір, що оказує змінному струму котушка індуктивності, зветься індуктивним опором. Цей опір залежить від індуктивності котушки  $L$  та частоти мережі  $f$ :

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (5.4)$$

Дія індуктивного опору пояснюється тим, що будь-яка зміна струму в колі пов'язана із появою у ньому е.р.с. самоіндукції, спрямованої назустріч струму при його наростанні та в одну сторону з ним при зниженні струму. Завдяки цьому, самоіндукція призводить до відставання струму у колі від напруги за фазою на чверть періоду (рис. 5.2)



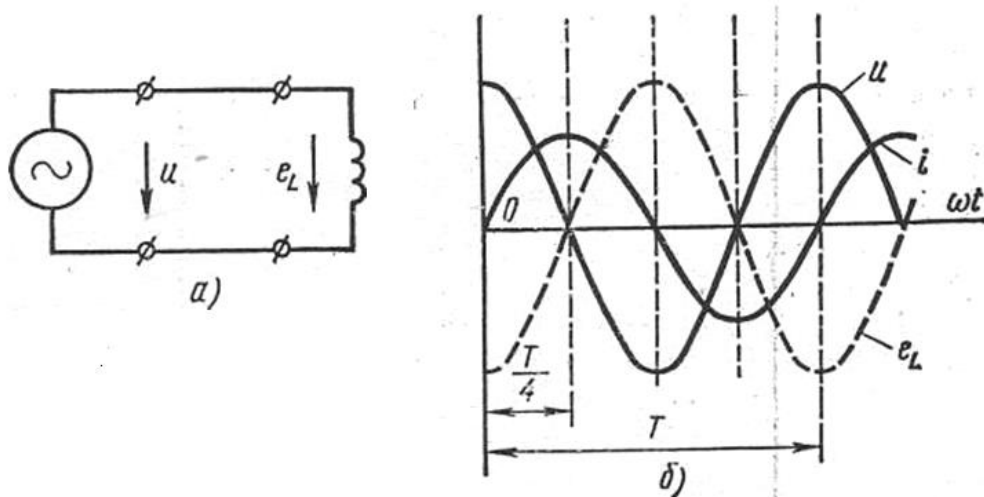


Рисунок 5.2– Графіки струму і напруги для кола змінного струму з індуктивністю

Індуктивність багатошарової котушки без феромагнітного осердя визначається за формулою

$$L = \frac{0,08D_k^2 w^2}{3D_k + 9h + 10t} \quad (4.5)$$

де  $L$  – індуктивність у мікрогенрі;  $D_k$  – середній діаметр намотки, см;  $h$  – висота котушки, см;  $t$  – товщина намотки, см;  $w$  – кількість витків.

Якщо в колі маються одночасно активний та індуктивний опори, то повний опір кола при їх послідовному з'єднанні буде визначатись як

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (4.6)$$

## 5.4 Порядок виконання роботи

### 5.4.1. Визначення ємності конденсатора

5.4.1.1. Зібрати схему вимірювань, приведену на рис. 4.3а.

5.4.1.2. Подати на схему напругу 10...20 В і записати показання вольтметра та амперметра.

5.4.1.3. Знайти ємнісний опір.

5.4.1.4. Розрахувати ємність конденсатора.

5.4.2. Визначення індуктивності котушки

5.4.2.1. Зібрати схему вимірювань, приведену на рис. 4.3б.

5.4.2.2. Підключити котушку до джерела постійного струму і плавною зміною напруги встановити струм 0,5 та 1 А.

5.4.2.3. Визначити активний опір котушки.

5.4.2.4. Повторити серію дослідів для змінного струму (замінити вимірювальні прилади на прилади змінного струму).

5.4.2.5. Визначити індуктивний опір та індуктивність котушки.

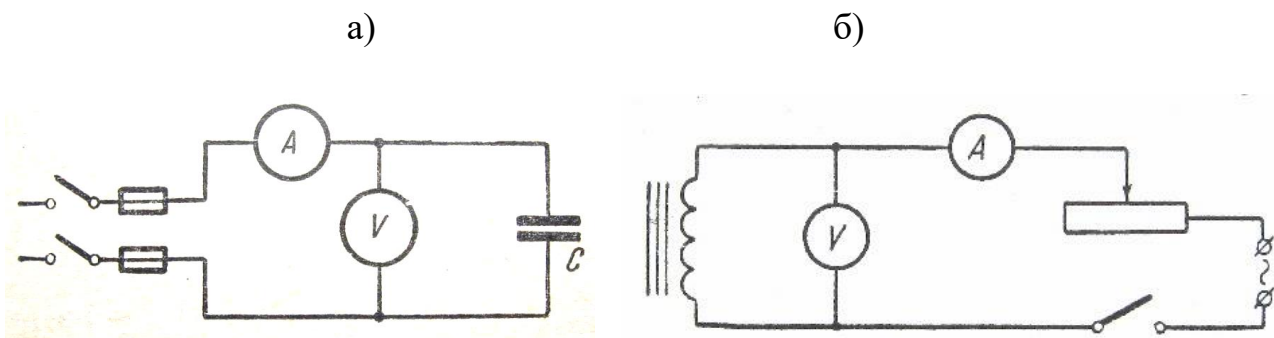


Рисунок 5.3 – Електричні схеми для дослідження ємнісного (а) та індуктивного (б) опору

5.5 Структура звіту

5.5.1. Найменування та мета роботи.

5.5.2. Вихідні дані для роботи.

5.5.3. Електричні схеми досліджень.

5.5.4. Результати вимірювань та розрахунків.

5.6. Питання для самоперевірки

5.6.1. Що представляє собою ємнісний опір.

5.6.2. Чому з'являється зсув фаз у колі з ємнісним опором.

5.6.3. Завдяки чому утворюється індуктивний опір.

5.6.4. Як визначається повний опір кола.

## 6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

### Нерозгалужене коло змінного струму із послідовним з'єднанням активного опору, індуктивності та ємності

6.1 Мета роботи: експериментальне дослідження та аналітичне визначення основних параметрів кола змінного струму із послідовно з'єднаними активним, індуктивним та ємнісним опорами

#### 6.2 Обладнання та матеріали

Лабораторні випрямлячі.

Активні опори.

Індуктивність.

Ємність.

Амперметр.

Осцилограф.

З'єднувальні дроти.

#### 6.3 Інформація до самостійної підготовки

У колах змінного струму звичайно маються всі види опорів: активні, індуктивні та ємнісні. Протяжні електричні кола (лінії електропередач, кабельні лінії...) представляють еквівалентною схемою у вигляді послідовно з'єднаних активного, індуктивного та ємнісного опорів.

Розглянемо протікання синусоїдального струму у колі на рис. 6.1 із послідовно ввімкненими активним  $r$ , індуктивним  $x_L$  та ємнісним  $x_C$  опорами.

Розрахунок електричних кіл змінного струму суттєво відрізняється від розрахунку кіл постійного струму, оскільки при змінному струмі у активному, індуктивному та ємнісному опорах мають місце різні зсуви фаз між струмом і напругами.

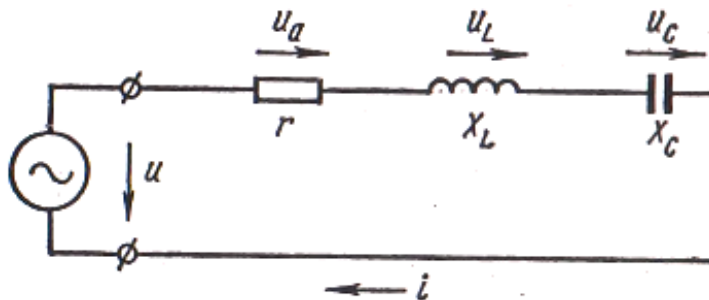


Рисунок 6.1 – Схема нерозгалуженого кола з активним та реактивними опорами

При послідовному вмиканні опорів в коло змінного струму до них прикладається напруга: активна  $u_a = ir$ , індуктивна  $u_L = ix_L$ , ємнісна  $u_c = ix_C$ . Позитивний напрямок струму у колі і позитивні напрямки цих напруг обираються довільно і вказуються стрілками на схемі. Значення напруги  $u$ , прикладеної до кола у будь-який момент часу (миттєві значення), згідно другого закону Кірхгофа, визначаються як

$$u = u_a + u_L + u_c.$$

Але для діючих значень напруг ця формула непридатна, оскільки між всіма цими напругами мається зсув за фазою (максимуми цих напруг не співпадають у часі). Щоб врахувати цей зсув між напругами  $u_a$ ,  $u_L$ ,  $u_c$  додають їх вектори

$$\dot{U} = \dot{U}_a + \dot{U}_L + \dot{U}_c.$$

Для цього будують векторну діаграму, на якій відкладають у певному масштабі вектори струму і напруг  $\dot{U}_a$ ,  $\dot{U}_L$ ,  $\dot{U}_c$ , з яких перше співпадає за фазою із струмом, друге випереджає його на кут  $90^\circ$ , а третє відстає від струму на  $90^\circ$ . Оскільки амплітуди і діючі значення відрізняються лише множником, байдуже, що відкладати на векторній діаграмі – амплітуди або діючі значення. Звичайно будують векторні діаграми струмів і напруг для діючих значень, оскільки амперметри і вольтметри показують саме діючі значення.

При послідовному з'єднанні елементів побудову векторної діаграми зручно починати з вектора струму, оскільки по всіх елементах кола протікає один і той же струм. Сумарний (замикаючий) вектор представляє собою напругу на затискачах кола.

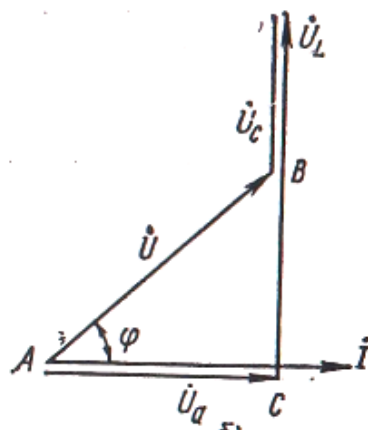


Рисунок 6.2 – Векторна діаграма струму і напруг кола з активним та реактивними опорами

Оскільки для діючих значень падіння напруг на елементах кола будуть складати

$$\begin{aligned}U_a &= rI \\U_L &= x_L I \\U_C &= x_C I\end{aligned}$$

то діюче значення напруги  $U$  може бути визначене з прямокутного трикутника АВС за теоремою Піфагора:

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2}$$

Підставляючи у останню формулу значення  $U_a = Ir$ ,  $U_L = I\omega L$ ,  $U_C = I/\omega C$  будемо мати

$$U = \sqrt{(Ir)^2 + (I\omega L - I/\omega C)^2}$$

звідки отримуємо формулу закону Ома для послідовного кола змінного струму

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} = \frac{U}{z}$$

де

$$z = \sqrt{r^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}$$

Величину  $z$  звать повним опором кола. Різниця  $\omega L - 1/\omega C$  зветься реактивним опором кола і позначається буквою  $x$ . Відповідно, повний опір кола

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}$$

Якщо напруга  $u$  джерела електричної енергії змінюється за синусоїдальним законом  $u = U_m \sin \omega t$ , то струм у розглянутому колі змінюється за законом  $I = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ . Величина кута зсуву фаз  $\varphi$  визначається співвідношенням між окремими опорами, ввімкненими у дане коло. З трикутника АВС маємо

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{BC}{AC} = \frac{U_L - U_C}{U_a} = \frac{I \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}{Ir} = \frac{x}{r}$$

Цей вираз показує, що оскільки реактивний опір є алгебраїчною величиною, то і зсув фаз напруг і струму є також алгебраїчною величиною; знак зсуву фаз співпадає із знаком реактивного опору.

## 6.4 Порядок виконання роботи

- 6.4.1 Скласти схему електричного кола згідно завдання.
- 6.4.2 Ввімкнути джерело живлення і виставити задану напругу на його виході.
- 6.4.3 Виміряти струм у колі та кут зсуву фаз між струмом і напругою.
- 6.4.4 Визначити розрахунковим методом величину струму та кут зсуву фаз у колі і порівняти їх з експериментальними даними.

## 6.5 Структура звіту

- 6.5.1. Найменування та мета роботи.
- 6.5.2. Вихідні дані для роботи.
- 6.5.3. Електричні схеми досліджень.
- 6.5.4. Результати вимірювань та розрахунків.

## 6.6 Питання до самоперевірки

- 6.6.1 Чим відрізняється розрахунок кіл постійного та змінного струму.
- 6.6.2 Чому не проводять розрахунок кіл для миттєвих значень струмів і напруг.
- 6.6.3 Як будується векторна діаграма кола з активним та реактивними опорами.
- 6.6.4 Що представляє закон Ома для кола змінного струму.
- 6.6.5 Як визначається повний опір кола змінного струму із послідовно ввімкненими активним та реактивними опорами.

## Перелік рекомендованих джерел

1. Болюх В. Ф. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки : навч. посібник / В. Ф. Болюх, В. Г. Данько, Є. В. Гончаров ; ред. В. Г. Данько ; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : Планета-Прінт, 2019. – 248 с.
2. Данько В.Г., Поляков І.В., Черкасов А.К.; [за ред. Данька В.Г.]. – Розрахунок електричних кіл: Методичні вказівки до розрах.-граф робіт з курсу «Електротехніка» для студентів усіх неелектротехнічних спеціальностей.– Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – 55 с.
3. Данько В.Г., Крюкова Н.В., Марков В.С. та ін. – Електричні кола: лабораторний практикум з електротехніки, Ч.1.– Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – 47 с.
4. Електротехніка. Практикум з основ електромеханіки та електроприводу : навч. посіб. / А. А. Щерба, В. П. Грудська, Л. Ю. Спінул. - К.: НТУУ «КПІ», 2014. - 290 с.
5. Теоретичні основи електротехніки: Підручник у 3 т. / В. С. Бойко, В. В. Бойко, Ю. Ф. Видолоб, І. А. Курило, В. І. Шеховцов, Н. А. Шидловська; за заг. ред. І. М. Чиженка, В. С. Бойка. - К.: ІВЦ "Видавництво "Політехніка", 2004. - Т. 1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. - 272 с.

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 3  |
| 1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. Дослідження нерозгалужених електричних кіл постійного струму з одним або декількома джерелами е.р.с.....    | 4  |
| 2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. Дослідження розгалужених електричних кіл постійного струму з одним або декількома джерелами е.р.с.....      | 10 |
| 3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. Побудова та аналіз потенціальної діаграми електричного кола .....   | 14 |
| 4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. Визначення величини електричного опору різними методами.....  | 18 |
| 5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. Реактивні опори в колі змінного струму.....   | 23 |
| 6. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6. Нерозгалужене коло змінного струму із послідовним з'єднанням активного опору, індуктивності та ємності..... | 27 |
| Перелік рекомендованих джерел .....   | 31 |