

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# **ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ**

## **Методичні настанови до лабораторних робіт та самостійної роботи студентів**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за освітніми програмами «Акустичні електронні системи та технології обробки  
акустичної інформації», «Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей»  
спеціальності 171 «Електроніка»

Укладачі: М. Ю. Артеменко, Т. А. Полобюк

Електронне мережне навчальне видання

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2023

Рецензент *Батрак, Л. М.*, канд. техн. наук, доц. кафедри ЕПС ФЕЛ КПІ  
ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний  
редактор *Берегун, В. С.*, канд. техн. наук, доц.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 8 від 02.06.2023 р.)  
за поданням Вченої ради факультету електроніки  
(протокол № 03/2023 від 27.03.2023 р.)*

Теорія електричних кіл : Метод. настанови до лабораторних робіт та самостійної роботи студентів [Електронний ресурс] / Уклад.: М. Ю. Артеменко, Т. А. Полобюк. – Електронні текстові данні (1 файл: 1,89 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 36 с.

В посібнику представлений опис схем електричних кіл і пристроїв, сформульовані розрахункові завдання і завдання на проведення експериментів шляхом моделювання схем, дано короткі відомості до виконання експериментів, обробки отриманих даних і оформлення звітів із застосуванням програм моделювання Multisim та Electronics Workbench. Роботи базуються на законах Ома і Кірхгофа в колах постійного і змінного струму, розглянуті метод контурних струмів, метод вузлових потенціалів, метод еквівалентного генератора. З кожної теми наведений перелік контрольних питань.

Призначено для студентів спеціальності 171 «Електроніка» за освітніми програмами «Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації», «Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей»

Реєстр. № НП 22/23-636. Обсяг 1,03 авт. арк.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056  
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© М. Ю. Артеменко, Т. А. Полобюк  
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>Розділ 1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИКОРИСТОВУВАНІ ПРОГРАМНІ СЕРЕДОВИЩА ТА ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ РОБІТ</b> .....	5
1.1 Склад бібліотек компонентів Multisim та Electronics Workbench.....	5
1.2. Створення схем .....	11
1.3. Вимоги до допуску, звіту та захисту лабораторної роботи.....	12
<b>Розділ 2. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ</b> .....	14
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1</b> .....	14
<b>Основи комп'ютерного моделювання електричних кіл</b> .....	14
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2</b> .....	15
<b>Дослідження простих електричних кіл постійного струму</b> .....	15
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3</b> .....	18
<b>Методи розрахунку складних електричних кіл постійного струму</b> .....	18
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4</b> .....	20
<b>Метод еквівалентного генератора</b> .....	20
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5</b> .....	22
<b>Послідовне з'єднання елементів в колі синусоїдного струму</b> .....	22
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6</b> .....	25
<b>Дослідження індуктивно зв'язаних кіл синусоїдного струму</b> .....	25
<b>БІБЛІОГРАФІЧНІ СПИСКИ</b> .....	31
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	31
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	31
<b>ДОДАТКИ</b> .....	32
<b>ДОДАТОК А. МЕТОД КОНТУРНИХ СТРУМІВ (МКС): знаходження розв'язку системи рівнянь з 3-ма невідомими в MathCAD</b> .....	32
<b>ДОДАТОК Б. Побудова графіків частотних характеристик в Excel</b> .....	34
<b>ДОДАТОК В. Титульний аркуш протоколу на лабораторну роботу</b> .....	36

## ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни «Теорія електричних кіл» виконуються на комп'ютерах в пакетах програм Multisim і MathCAD. Допускається реалізація пропонованих завдань за допомогою пакету Electronics Workbench і т. ін.

Програми Multisim та більш рання версія Electronics Workbench (EWB) від компанії National Instruments, призначена для схемотехнічного моделювання аналогових і цифрових радіоелектронних пристроїв різного призначення. Особливістю даної програми в порівнянні з іншими програмами такого типу є найпростіший та легко засвоюваний інтерфейс користувача, а також наявність контрольно-вимірювальних приладів, які за зовнішнім виглядом, органами управління та характеристиками максимально наближені до їх промислових аналогів, що сприяє набуттю практичних навичок роботи з найпоширенішими приладами: амперметром, вольтметром, осцилографом, вимірювальним генератором та ін. Після складання схеми та її спрощення шляхом оформлення підсхем моделювання починається натисканням звичайного вимикача.

Multisim включає в себе версію Multicap, що робить його зручним засобом для тестування і програмного опису схем. LabVIEW і Signal Express виробництва National Instruments для тісної інтеграції засобів тестування і розробки також підтримує взаємодію з Multisim [1].

Як навчальна програма Multisim має важливу перевагу, що полягає у розвитку творчих здібностей студента: він може не тільки виконувати завдання викладача, але й має можливість запропонувати і апробувати свої технічні рішення, а це вже творчість, яка перетворює навчальний процес у захоплююче заняття. Застосування даної програми дозволяє вирішити і такі проблеми, як економія матеріальних і фінансових коштів, що витрачаються на лабораторне обладнання та його обслуговування; проведення експериментів, не доступних на звичайному лабораторному обладнанні. При цьому значно скорочується час на підготовку і проведення лабораторних робіт, студенти набувають навички і прийоми автоматизованого проектування радіоелектронних пристроїв.

# Розділ 1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИКОРИСТОВУВАНІ ПРОГРАМНІ СЕРЕДОВИЩА ТА ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ РОБІТ

## 1.1 Склад бібліотек компонентів Multisim та Electronics Workbench

На рис. 1.1 представлений вид робочого вікна програми Multisim з бібліотеками елементів версії 10.01 [1].

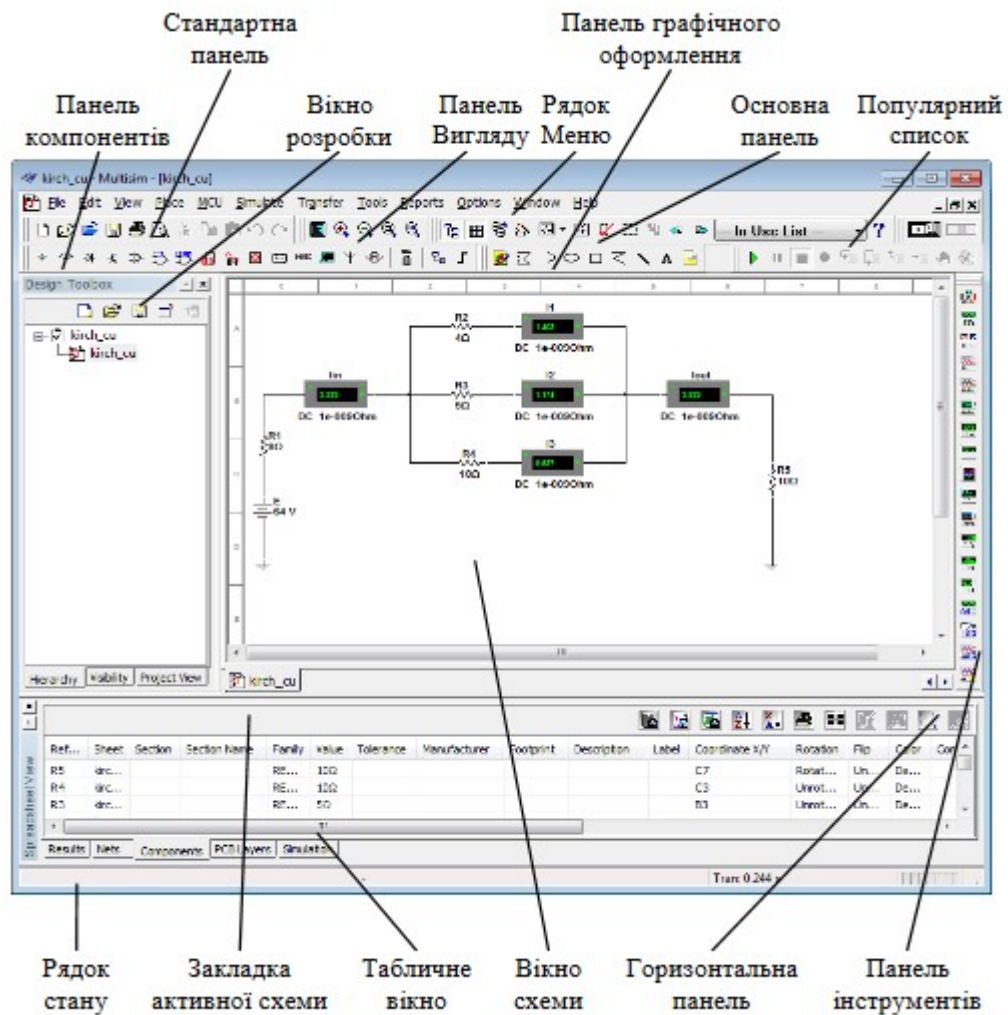


Рис. 1.1. Робоче вікно програми Multisim [1]

У робочому полі програми розташовується модель схеми з підключеними до неї іконками контрольно-вимірювальних приладів. За необхідності кожен з приладів може бути розгорнутий для установки режимів його роботи та спостереження результатів. Лінійка прокрутки використовується тільки для переміщення схеми.

У вікні розробки (Design Toolbox) знаходяться засоби керування різними елементами схеми. Закладка Доступність (Visibility) дозволяє

приховати або відобразити шари схеми робочої області. Закладка Ієрархія (Hierarchy) відображає взаємозв'язок між файлами відкритого проекту у вигляді дерева. Закладка Проект (Project) містить інформацію про відкриті проекти. Користувач може додати файли в папки відкритого проекту, змінити доступ до файлів і створити архів проекту.

Процес створення схеми починається з розміщення у вікні схеми (робочому полі) компонентів з бібліотеки програми.

## Огляд компонентів

Компоненти – це усі елементи, з яких складається будь-яка схема. Multisim оперує двома категоріями компонентів: реальним (real) і віртуальним (virtual). У реальних компонентів, на відміну від віртуальних є визначене, незмінне значення та своя відповідність на друкованій платі. Віртуальні компоненти є ідеальними, і можуть мати довільні значення.

Компоненти вибираються у Провіднику компонентів (Component Browser), щоб розмістити їх на схемі (рис. 1.2). Гаряча клавіша за замовчуванням для розміщення компонента - Ctrl-W або подвійне клацання мишкою. Курсор миші прийме форму компонента, поки ви не виберете місце на схемі для компонента.

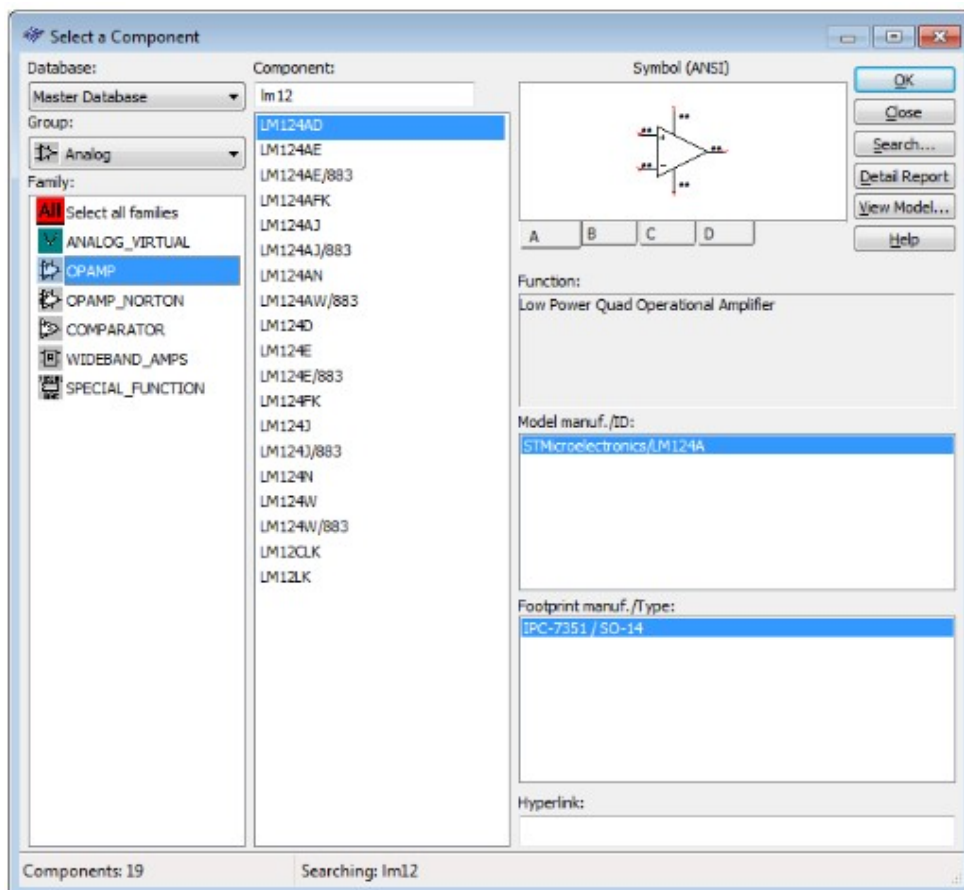


Рис. 1.2. Провідник компонентів

У Провіднику компонентів відображається поточна база даних, в якій зберігаються елементи, що відображаються. У Multisim вони організовані в групи (groups) і сімейства (families). Також в провіднику відображається опис компоненту (поле Призначення Function), модель і друкована плата або виробник. Символ зірочки («\*») замінює будь-який набір символів. Наприклад, серед результатів запиту «LM \* AD» будуть «LM101AD» і «LM108AD».

На замітку: Будь-якому компоненту відповідає безліч моделей. Кожна модель може посилатися на різні фізичні характеристики компоненту. Наприклад, операційний підсилювач LM358M зовні має 5 контактів, але в цій моделі з них використовується тільки 3, контакти живлення не задіяні. Більш детальну інформацію про моделі можна знайти, вибравши модель в полі виробник / ідентифікатор (Model Manuf. \ ID) і клацнувши по кнопці Модель (Model). Для пошуку слід набирати назву компонента і провідник автоматично підбере відповідні елементи. Кнопка Пошук (Search) відкриває розширений пошук.

У Multisim є бази даних трьох рівнів:



З Головної бази даних (Master Database) можна тільки зчитувати інформацію, в ній знаходяться компоненти Electronics Workbench.

Користувацька база даних (User Database) призначена для користувача база даних (User Database) відповідає поточному користувачеві комп'ютера. Вона призначена для зберігання компонентів, які небажано надавати в загальний доступ.

Корпоративна база даних (Corporate Database) призначена для тих, компонентів, які повинні бути доступні іншим користувачам по мережі.

На рис. 1.3 представлений вид робочого вікна Electronics Workbench версії 5.12 [2].

Бібліотека компонентів містить такі розділи [2]:

1.  **Sources** – джерела сигналів, в тому числі і керовані джерела. В даний розділ входять джерела ЕРС, струму, модульованих сигналів і т. ін.
2.  **Basic** – розділ, в якому зібрані всі пасивні компоненти (резистори, конденсатори, котушки індуктивності і т. д.), а також комутаційні пристрої.

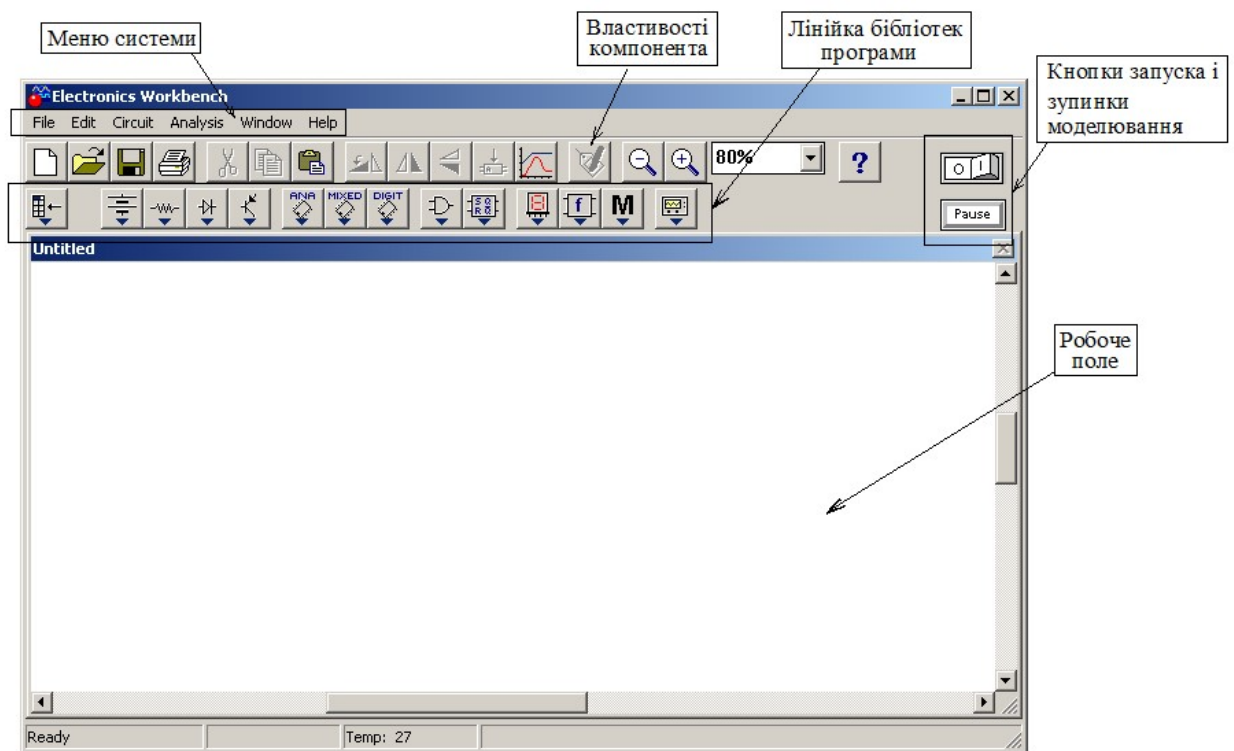













Рис. 1.3. Робоче вікно програми Electronics Workbench

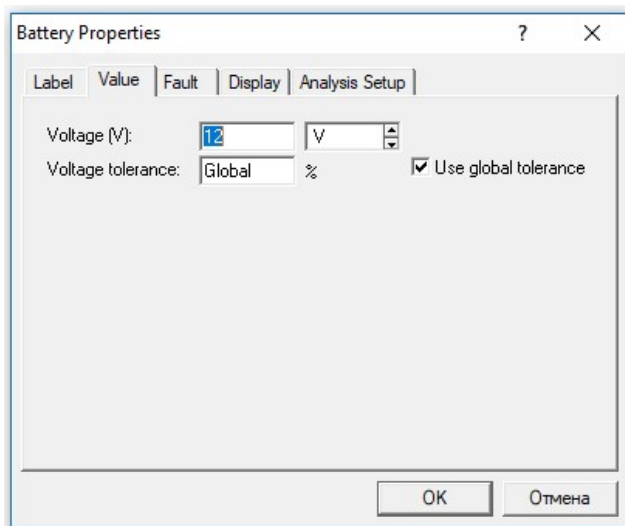
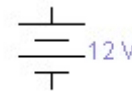
3.  **Diodes** – діоди.
4.  **Transistors** – транзистори.
5.  **Analog ICs** – аналогові мікросхеми: операційні підсилювачі, компаратор і т. ін.
6.  **Mixed ICs** – мікросхеми змішаного типу: АЦП, ЦАП і т. ін.
7.  **Digital ICs** – цифрові мікросхеми.
8.  **Logic Gates** – логічні цифрові мікросхеми.
9.  **Digital** – цифрові мікросхеми: комбіновані цифрові компоненти та тригери.
10.  **Indicators** – індикаторні пристрої. Включають в себе вольтметри, амперметри і т. ін.



11.  **Controls** – аналогові обчислювальні пристрої: суматор, інтегратор, обмежувач струму, диференціатор, масштабуюча ланка, формувач передатної функції і т. ін.
12.  **Miscellaneous** – компоненти змішаного типу.
13.  **Instruments** – контрольно-вимірювальні пристрої: мультиметр, функціональний генератор, осцилограф.

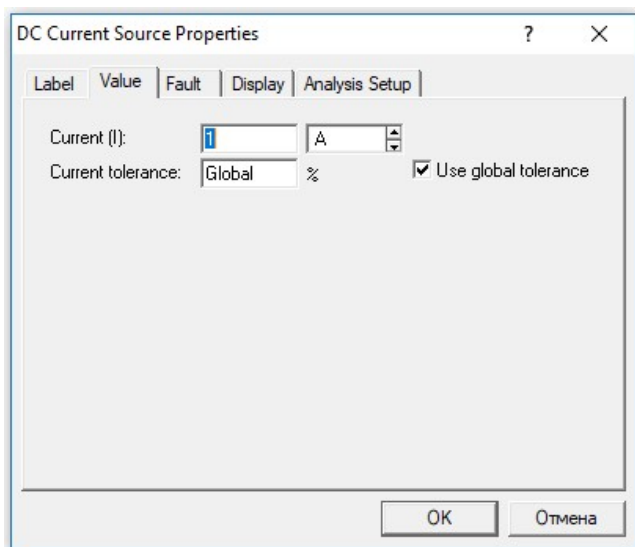
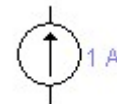
### Опис деяких основних елементів

Джерело постійної ЕРС (напруги)  
(Battery) (розділ Sources)



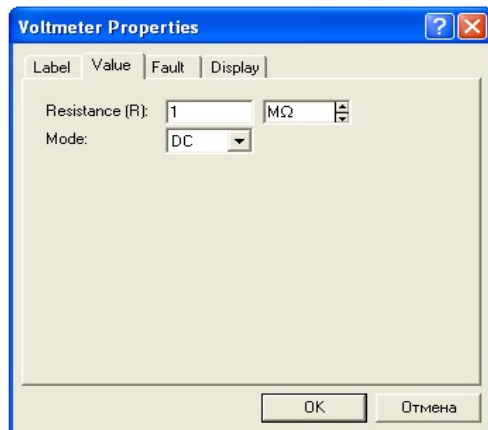
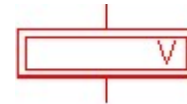
Основне налаштування:  
- завдання напруги (ЕРС), В

Джерело постійного струму  
(DC Current Source) (розділ Sources)



Основне налаштування:  
- завдання струму джерела, А

## Вольтметр (Voltmeter) (розділ Indicators)

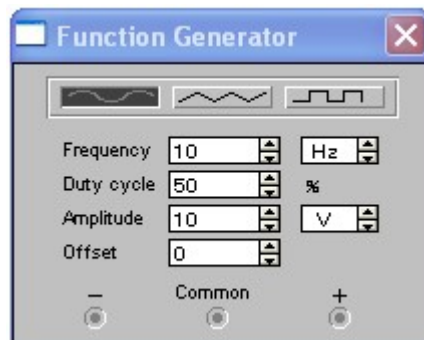


Налаштування:

- вхідний опір;
- вид напруги:

AC – змінна, DC – постійна

## Функціональний генератор (Function Generator) (розділ Instruments)



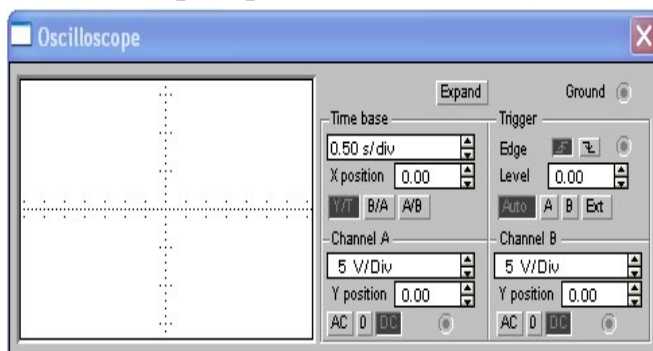
Параметри сигналу:

- форма сигналу (синусоїдна, трикутна, прямокутна);
- лінійна частота, Гц;
- коефіцієнт заповнення

$$(\text{Duty cycle}): \frac{\tau}{T} \cdot 100\%;$$

- амплітуда, В;
- зміщення (Offset), В .

## 2-х каналний осцилограф (Oscilloscope) (розділ Instruments)



Органи керування:

- розгортка, с/діл;
- підсилення, В/діл;
- зміщення по осям X, Y;
- AC – закритий вхід;
- 0 – ⊥ (земля)
- Expand – збільшення

У вікні налаштувань компонентів, можна змінити одиниці вимірювання, як мкВ ( $\mu\text{V}$ ), мВ (mV), кВ (kV) и МВ (MV).

## 1.2. Створення схем

У загальному випадку процес створення схеми починається з розміщення на робочому полі EWB компонентів з бібліотек програми відповідно до поставленого завдання. Після вибору компонентів з бази даних вони розміщуються на схемі і з'єднуються між собою.


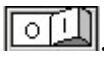
Вибір різних компонентів Multisim проводиться натисканням на кнопки панелі компонентів (див. рис. 1.1). При виборі мишею одного із розділів з'являється вікно вибору компонента (Select a Component), див. рис. 1.2. Це Провідник компонентів, в якому вибирається компонент, щоб розмістити його у схемі. Після вибору компонента натискається кнопка ОК і курсор миші набуде форми компонента, поки не вибрано місце у вікні схеми. Тобто слід перемістити курсор на робоче поле програми рухом миші, після чого в бажаному місці робиться одиночне клацання по значку (для фіксування символу) і компонента. У Провіднику компонентів відображається поточна база даних, якої зберігаються елементи, що відображаються. У Multisim вони організовані в групи (groups) та сімейства (families). У розкритому діалоговому вікні встановлюються необхідні параметри (опір резистора, тип транзистора і т.д.) і вибір підтверджується натисканням кнопки Ok або клавіші Enter. Після вибору всіх елементів натиснути кнопку Закрити. В цей час і після установки компонент можна повернути. Щоб це зробити в першому випадку, натисніть Ctrl-R. Щоб повернути встановлений компонент, виділіть його та теж натисніть Ctrl-R або виберіть в контекстному пункті пункт “повернути на 90°” по або проти годинникової стрілки. На цьому етапі необхідно передбачити місце для розміщення контрольних точок та іконок контрольно-вимірювальних приладів.

Необхідний для створення схеми значок (символ) компонента в EWB переноситься з каталогу на робоче поле програми рухом миші при натиснутій лівій кнопці, після чого кнопка відпускається (для фіксування символу) і виробляється подвійне клацання по значку компонента.

Після розміщення компонентів їхні виводи з'єднуються провідниками. При цьому необхідно враховувати, що до виводу компонента можна підключити тільки один провідник. Для виконання підключення необхідно виділити один з виводів компонента лівою кнопкою миші і, не відпускаючи її, з'єднати з виводом необхідного компонента.

Якщо з'єднання необхідно розірвати, курсором виділяється необхідний провідник і натискається кнопка Delete. Якщо необхідно підключити вивід компонента до наявного на схемі провідника, то провідник від виводу

компонента курсором підводиться до зазначеного провідника, і після появи точки з'єднання кнопка миші відпускається. Слід зазначити, що прокладання з'єднувальних провідників проводиться автоматично, причому перешкоди - компоненти та інші провідники - огинаються по ортогональних напрямках (по горизонталі або вертикалі).

Підключення до схеми контрольно-вимірювальних приладів проводиться аналогічно. Причому для таких приладів, як осцилограф або логічний аналізатор, з'єднання доцільно проводити кольоровими провідниками, оскільки їх колір визначає колір відповідної осцилограми. Змінити колір провідника можна, двічі клацнувши на ньому лівою кнопкою миші і вибравши відповідний колір у діалоговому вікні. Обов'язковою на схемі є наявність елемента загальний провід, "земля" , який знаходиться в розділі Sources. Вмикання / вимикання моделювання робота схеми здійснюється кнопкою . На рис. 1.4 представлений приклад створення схеми, що складається з джерела постійної напруги, двох резисторів вольтметра та амперметра.

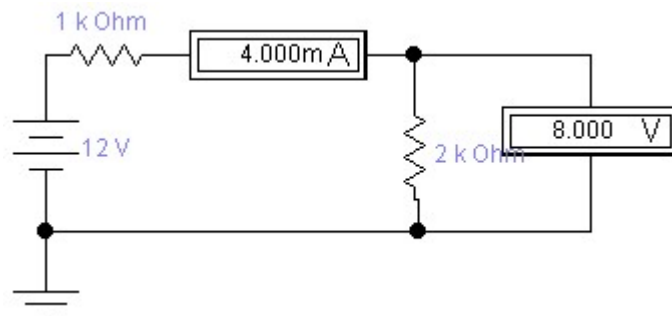


Рис. 1.4. Схема з підключеними вимірювальними приладами

### 1.3. Вимоги до допуску, звіту та захисту лабораторної роботи

В процесі допуску до лабораторної роботи студент пред'являє протокол з результатами розрахунків. Студент отримує допуск до виконання лабораторної роботи за умови повноти та вірності усіх розрахунків.

Робота вважається виконаною, якщо студент правильно виконав усі пункти експериментальної частини та пред'явив викладачеві звіт. Звіт з лабораторної роботи має містити результати виконання усіх пунктів розрахункової та експериментальної частини з наведенням схем, розрахунків, скрін-шотів результатів моделювання та висновків.

В процесі захисту лабораторної роботи студент розв'язує задачі, аналогічні наведеним у розрахунковій частині, пояснює наведені у звіті результати моделювання й висновки та дає відповіді на контрольні запитання.

Кількість балів, зараховуваних до стартового рейтингу студента за кожну стадію виконання лабораторної роботи визначається відповідним РСО з дисципліни.

## Розділ 2. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

#### Основи комп'ютерного моделювання електричних кіл

*Мета роботи:* Ознайомлення з можливостями схемотехнічного моделювання електричних кіл в програмному пакеті Multisim, розрахунок найпростіших кіл постійного струму.

#### *Розрахункова та експериментальна частина*

1. Створити схему, представлену на рис. 2.1.1 Встановити такі значення опорів:  $R1 = 10 + N$  Ом, де  $N$  – номер варіанта;  $R2 = 10$  Ом.

2. Розрахувати вихідну напругу  $U_{\text{вих}}$ , якщо до входу схеми, представленої на рис. 2.1.1, підключити джерело постійної напруги 12 В (батарею напругою 12 В).

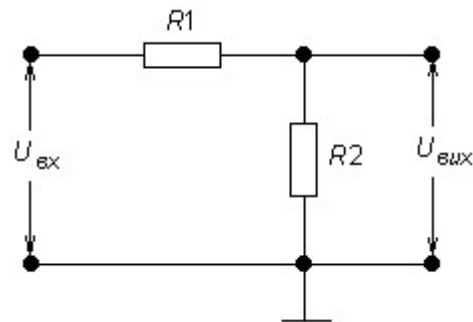


Рис. 2.1.1. Електричне коло постійного струму

Виміряти значення  $U_{\text{вих}}$ , підключивши на вихід ланцюга вольтметр. Проаналізувати отримані результати.

3. Для схеми з п.2 розрахувати значення опору  $R2$ , при незмінних  $U_{\text{вх}}$  та  $R1$ , для отримання вихідної напруги  $U_{\text{вих}} = 10$  В. Змоделювати дану схему та перевірити правильність розрахованого опору.

4. Скласти схему, що складається з паралельно увімкнених джерела постійного струму номіналом 12 А та двох резисторів з п.1. Розрахувати струми резисторів та перевірити вірність розрахунків моделюванням схеми та вимірюванням струмів амперметрами

5. Підготувати схему ланцюга, що складається з паралельно увімкнених функціонального генератора і осцилографа. На лицьовій панелі функціонального генератора встановити прямокутну форму вихідного процесу з амплітудою рівною 1 В, тривалістю  $t_{\text{імп}} = 0,35$ мс і частотою  $f = 2$  кГц. Отримати осцилограму і перевірити правильність роботи генератора, вимірявши відповідні параметри сигналу. За допомогою налаштувань генератора отримати однополярний процес.

6. За результатами виконання лабораторної роботи зробити висновки.

### *Контрольні питання*

1. Яким чином можна підключити затискач компонента до провідника?
2. Як можна перемістити окремий фрагмент схеми, не використовуючи лінійку прокручування чи перетягування окремих символів компонентів курсором?
3. Яким чином можна змінити колір провідника і навіщо це потрібно?
4. Як змінити параметри компонента?
5. Яким чином включаються у вимірюваний ланцюг амперметр і вольтметр?
6. Як встановити межі регулювання чутливості осцилографа по вертикалі, а також діапазон розгортки?
7. Яким чином за допомогою осцилографа можна виміряти значення амплітуди сигналу і його частоти?
8. Як отримати різнокольорові осцилограми сигналів на екрані осцилографа та як їх рознести по вертикалі для зручності спостереження?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### **Дослідження простих електричних кіл постійного струму**

*Мета роботи* – отримання навичок розрахунку та моделювання простих електричних кіл постійного струму, що містять одне джерело та ділянки послідовного та паралельного з'єднань опорів.

### *Розрахункова частина*

1. Для заданої схеми на рис. 2.1 визначити номінали резисторів у відповідності до варіантів завдання, вказаних в табл. 2.2.1 та 2.2.2.
2. Накреслити схему досліджуваного електричного кола з зазначенням параметрів елементів, як це показано на рис. 2.2.1 та напрямки струмів та напруг, для свого варіанту завдання.
3. Розрахувати вхідний еквівалентний опір кола  $R_{\text{екв}}$ .
4. Розрахувати струми усіх резисторів заданої схеми та напруги перших трьох резисторів.
5. Скласти рівняння балансу потужностей та чисельно підтвердити його виконання. Якщо похибка балансу потужностей не перевищує 3 %, занести результати розрахунків в табл. 2.2.3.

Таблиця 2.2.1.

Номер позначення	Тип елемента	Номінальний опір $R_{\text{НОМ}}$ , Ом	Номінальна Потужність $P_{\text{НОМ}}$ , Вт
01	МЛТ-2	51	2
02	МЛТ-2	75	2
03	МЛТ-2	100	2
04	МЛТ-2	150	2
05	МЛТ-2	200	2
06	МЛТ-2	300	2
07	МЛТ-2	560	2
08	МЛТ-2	750	2
09	МЛТ-2	820	2
10	МЛТ-2	1000	2

Таблиця 2.2.2.

Номер варіанту	$U$ , В	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
1	12	01	03	04	06	02
2	14	02	01	05	03	04
3	16	01	02	03	04	06
4	18	01	02	07	03	04
5	20	03	02	01	04	05
6	12	01	02	03	06	04
7	14	03	01	02	04	05
8	16	01	06	03	04	02
9	18	02	05	03	04	01
10	20	01	02	05	02	04

### *Експериментальна частина*

1. В середовищі EWB зібрати схему (рис. 2.2.1) та скопіювати її для звіту. Замість перемичок встановити амперметри, вольтметрами виміряти напруги перших трьох резисторів, результати вимірів занести до табл. 2.2.3.



2. Обчислити абсолютні та відносні похибки вимірювання й занести їх в табл. 2.3.

3. Чисельно підтвердити виконання законів Кірхгофа:

$$I_1 = I_2 + I_3; \quad U = U_1 + U_2 + U_3.$$

4. Перевірити розрахункове значення  $R_{\text{екв}}$  експериментальними даними за законом Ома:  $R_{\text{екв}} = U/I_1$ .

5. Зробити висновки та пред'явити викладачеві протокол звіту для перевірки.

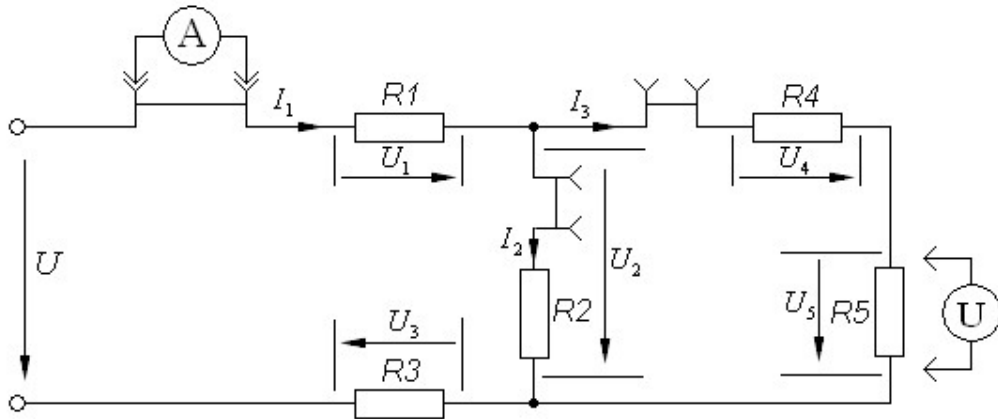


Рис. 2.2.1. Схема з послідовно-паралельним з'єднанням резисторів

Таблиця 2.2.3.

Величини	$I_1$ , mA	$I_2$ , mA	$I_3$ , mA	$I_4$ , mA	$I_5$ , mA	$U_1$ , В	$U_2$ , В	$U_3$ , В	$R_{\text{екв}}$ , Ом
Розраховане									
Виміряне									
Абсолютна похибка									
Відносна похибка									

### Контрольні питання

1. Як визначити загальний опір при послідовному, паралельному, змішаному з'єднанні резисторів в схемі?

2. Як записати закон Ома для ділянок кола, що включають і не включають джерело ЕДС?

3. Як записати вираз і перевірити для будь-якого кола перший та другий закони Кірхгофа?

4. Як визначити провідність для різних схем з'єднань резисторів? Які одиниці вимірювання провідності?

5. Як складається баланс потужностей для простих електричних кіл?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### Методи розрахунку складних електричних кіл постійного струму

*Мета роботи* – набуття навичок розрахунку складних лінійних електричних кіл постійного струму шляхом застосування та експериментальної перевірки методів контурних струмів (МКС) і вузлових потенціалів (МВП).

#### Розрахункова частина

1. Пасивну частину електричного кола (рис. 2.3.1) доповнити двома ідеальними джерелами напруги  $E_1 = 10$  В та  $E_2 = 20$  В, включивши перше з них послідовно з резистором номіналом  $i$  Ом, друге – послідовно з резистором номіналом  $j$  Ом за варіантом завдання з табл. 2.3.1, та накреслити досліджувану схему з позначенням елементів кола та їх параметрів.

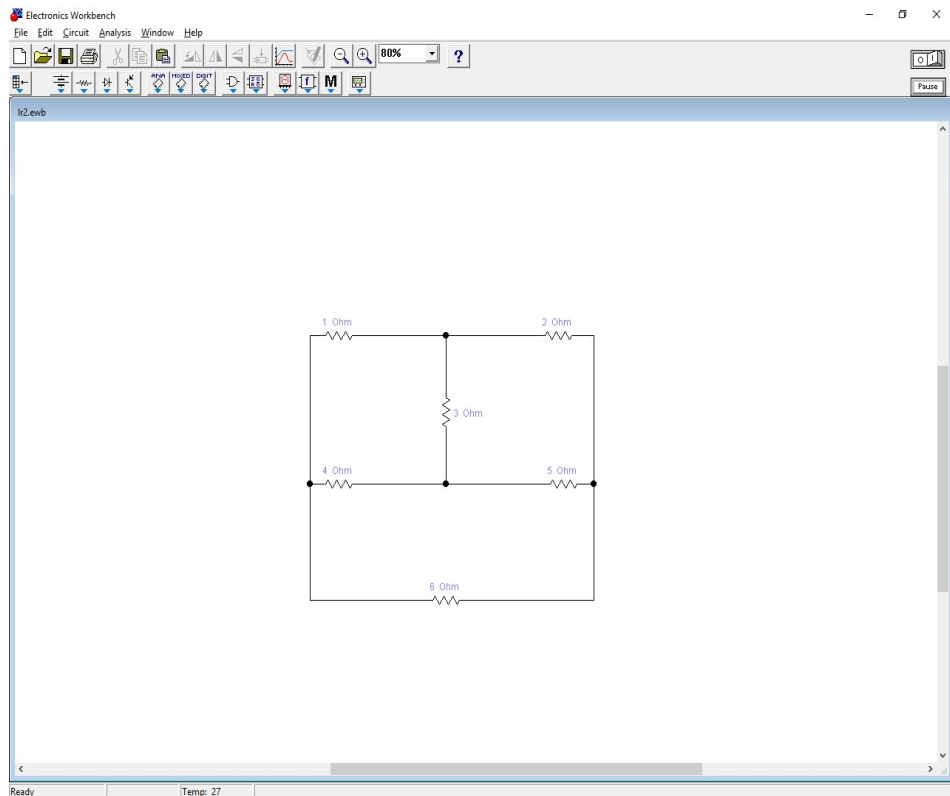


Рис. 2.3.1. Електричне коло з трьох незалежних контурів

Таблиця 2.3.1.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$i$	1	2	3	4	5	5	5	5	5	6
$j$	2	3	4	5	6	1	2	3	4	4

2. Розрахувати струми у всіх вітках схеми з п. 1, використовуючи метод контурних струмів.

3. Розрахувати баланс потужностей для вихідної схеми з п. 1 та, якщо відносна похибка розрахунку не перевищує 3 %, результати розрахунків п. 2 занести в табл. 2.3.2.

4. Прийняти потенціал одного з вузлів рівним нулю й позначити його на досліджуваній схемі. За значеннями струмів віток і параметрів кола розрахувати потенціали інших вузлів та занести їх в табл. 2.3.2.

5. Заземливши той самий вузол, що й в п. 4, розрахувати потенціали вузлів та струми всіх віток схеми з п. 1, використовуючи метод вузлових потенціалів. Якщо результати розрахунків відрізняються від отриманих в п. 2 не більше, ніж на 3 %, занести їх в табл. 2.3.2.

*Вказівки:* для рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь, що використовуються в методах МКС та вузлових потенціалів можливе використання сторонніх програм. В додатку А наведено приклад знаходження розв'язку системи рівнянь з 3-ма невідомими в MathCAD для методу контурних струмів.

#### *Експериментальна частина*

1. Зібрати електричне коло згідно варіанту завдання (рис. 2.3.1, табл. 2.3.1), передбачивши прилади для вимірювань струмів віток та потенціалів вузлів.

2. Ввімкнути схему, виміряти струми віток і потенціали вузлів відносно “нульового” вузла. Результати вимірів занести в табл. 2.3.2, а скріншот робочої схеми в протокол звіту.

3. Розрахувати максимальні відносні похибки експерименту  $\delta_{\max}$  у відсотках по кожній з виміряних величин і занести їх в табл. 2.3.2.

4. Пред'явити протокол звіту для перевірки викладачеві.

Таблиця 2.3.2

Величини	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$
Одиниці виміру	В			А					
Розраховані за МКС									
Розраховані за МВП									
Виміряні									

$\delta_{\max}, \%$									
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

*Контрольні питання*

1. Пояснити сутність методу контурних струмів.
2. В яких випадках використовується метод контурних струмів?
3. Як скласти розрахункову систему алгебраїчних рівнянь для контурних струмів?
4. Розв'язок системи рівнянь для контурних струмів (вузлових потенціалів) в матричному вигляді.
5. Як визначити струми в вітках за відомими контурними струмами?
6. Пояснити сутність методу вузлових потенціалів.
7. В яких випадках використовується метод вузлових потенціалів?
8. Як скласти розрахункову систему алгебраїчних рівнянь за МВП?
9. Як визначити струми в вітках за відомими потенціалами вузлів?
10. В чому відмінність методу двох вузлів від МВП?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### Метод еквівалентного генератора

*Мета роботи* – експериментальна перевірка методу еквівалентного генератора, набуття навичок визначення вхідного опору ланцюга аналітичним та експериментальним шляхами.

#### *Розрахункова частина*

1. Накреслити схему у відповідності з варіантом завдання до лабораторної роботи № 3 (рис. 2.3.1, табл. 2.3.1). Вказати на схемі параметри кола, а також напрямок струму у досліджуваній вітці, номер якої вказаний в табл. 2.4.1.

2. Розрахувати методом еквівалентного генератора напругу розриву  $U_p$ ; струм короткого замикання  $I_3$ ; вхідний опір схеми відносно затискачів досліджуваної вітки  $R_{вх}$ ; струм досліджуваної вітки  $I_H$ ; напругу на досліджуваній вітці  $U_H$ . У випадку збігу результатів розрахунків з результатами лабораторних робіт № 3 з похибкою не більшою 3 % занести їх, а також номінальне значення опору досліджуваної вітки  $R_H$  в табл. 2.4.2.

Таблиця 2.4.1.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Досліджувана вітка	R5	R6	R1	R2	R3	R3	R4	R1	R2	R3

Таблиця 2.4.2.

Величина	$U_p$ , В	$R_{вх}$ , Ом	$I_3$ , мА	$I_H$ , мА	$U_H$ , В	$R_H$ , Ом
Розраховане						
Виміряне						
Абсолютна похибка						
Відносна похибка						

### Експериментальна частина

1. Зібрати схему у відповідності з варіантом завдання, передбачивши на набірному полі затискачі для вимірів струму вітки  $I_H$ . Навести скріншот схеми вимірювань.

2. Виконати дослід розриву, видаливши резистор з досліджуваної вітки та вимірявши напругу  $U_p$  на її затискачах. Навести скріншот схеми вимірювань.

3. Виконати дослід короткого замикання, вимірявши струм  $I_3$  шляхом ввімкнення амперметра в досліджувану вітку замість резистора  $R_H$ . Навести скріншот схеми вимірювань.

4. Виконати дослід навантаження еквівалентного генератора, вимірявши струм  $I_H$  та напругу  $U_H$  у досліджуваній вітці за наявності резистора  $R_H$ . Навести скріншот схеми вимірювань.

5. За законом Ома розрахувати дійсні значення опорів  $R_{вх}$  та  $R_H$ .

6. Результати вимірів та розрахунку занести в табл. 2.4.2 та, розрахувавши похибку експерименту, пред'явити протокол лабораторної роботи для перевірки викладачеві.

### Контрольні питання

1. Пояснити сутність методу еквівалентного генератора.

2. В яких випадках використовується метод еквівалентного генератора?
3. Що таке пасивний та активний двополюсник?
4. Що таке напруга розриву?
5. Що таке струм короткого замикання?
6. Що таке вхідний опір двополюсника?
7. Як знайти вхідний опір схеми відносно затискачів досліджуваної вітки?
8. Як розрахувати та виміряти вхідний опір пасивного двополюсника?
9. Як застосувати метод еквівалентного генератора для розрахунку струму вітки, в якій послідовно з'єднані резистор та джерело напруги?
10. Якими є двополюсні еквівалентні схеми заміщення активного двополюсника?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### Послідовне з'єднання елементів в колі синусоїдного струму

*Мета роботи:* 1) експериментальна перевірка закону Ома та другого закону Кірхгофа в колі змінного струму; 2) засвоєння символічного методу розрахунку кола змінного синусоїдального струму; 3) дослідження резонансу напруг в послідовному коливальному контурі; 4) отримання навиків побудови векторних діаграм та частотних характеристик.

#### *Розрахункова частина*

1. Згідно з заданими в табл. 2.5.1 параметрами у відповідності з варіантом завдання для послідовного  $RLC$  – контуру, що знаходиться в резонансі, визначити активний опір  $R$  та невідомий параметр ( $L_0$  або  $C_0$ , або  $f_0$ ).
2. Накреслити схему дослідження (рис. 2.5.1) та вказати на ній параметри елементів й джерела напруги.
3. Розрахувати діючі значення струму та напруг елементів схеми при резонансі, а також параметри  $Z$ ,  $X_L$ ,  $X_C$ ,  $\varphi$ ,  $\cos \varphi$ .
4. Розрахувати вказані в п.3 параметри при зміні частоти джерела живлення ( $f_1$  та  $f_2$ ).
5. Дані розрахунків занести до табл. 2.5.2.
6. За результатами розрахунків (п.п. 3...4) побудувати векторні діаграми струмів та напруг на комплексній площині.

7. Побудувати частотні характеристики  $I = F(f)$ ,  $U_1 = F_1(f)$ ,  $U_2 = F_2(f)$ ,  $U_3 = F_3(f)$ ,  $\varphi = F_\varphi(f)$  для трьох значень аргументу  $f_0, f_1, f_2$ .

Вказівки: в додатку Б наведено приклад побудови графіків засобами Excel.

Таблиця 2.5.1.

Варіант	$U_0$	$f_0$	$f_1$	$f_2$	$Q$	$L_0$	$C_0$
	В	кГц			–	мГн	мкФ
1	8	4	2	6	1,5	x	0,1
2	10	3	1	5	1,3	30	x
3	13	4	3	5	1,4	x	0,18
4	12	2	1	5	1,25	10	x
5	12	5	2	8	1,2	x	0,1
6	10	4	2	7	1,4	x	0,25
7	5	x	3	6	1,2	2,0	0,5
8	6	x	1	5	1,3	5	0,55
9	8	6	4	8	1,4	3	x
10	10	x	1	4	1,6	25	0,25

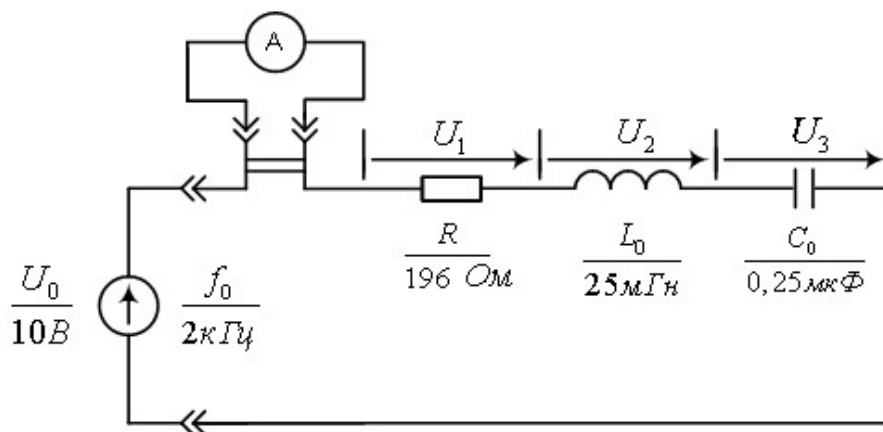


Рис. 2.5.1. Схема дослідження синусоїдального струму

Таблиця 2.5.2.

Частота	Величини	$I$	$U_0$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$R$	$X_L$	$X_C$	$Z$	$\cos \varphi$	$\varphi$
кГц	Одиниці виміру	мА	В			Ом				град.		
$f_0$	Розраховане											
	Виміряне											

	Абсолютна похибка											
	Відносна похибка											
$f_1$	Розраховане											
	Виміряне											
	Абсолютна похибка											
	Відносна похибка											
$f_2$	Розраховане											
	Виміряне											
	Абсолютна похибка											
	Відносна похибка											

### *Експериментальна частина*

1. Зібрати схему дослідження (рис. 2.5.1), встановивши параметри синусоїдного джерела живлення  $U_0$  та  $f_0$  при нульовій початковій фазі та параметри пасивних елементів кола  $R$ ,  $L_0$ ,  $C_0$ .

2. Ввімкнути режим моделювання робота схеми та виміряти струм в колі та напруги всіх елементів. Результати вимірів занести до табл. 2.5.2, п. 1. Навести скріншот схеми вимірювань.

3. Виконати виміри, аналогічні п. 2 для параметрів схеми:  $U_0$ ,  $f_1$ ,  $R$ ,  $L_0$ ,  $C_0$ . Результати занести до табл. 2.5.2, п. 2. Навести скріншот схеми вимірювань.

4. Виконати вимірювання, аналогічно п. 2, для параметрів схеми:  $U_0$ ,  $f_2$ ,  $R$ ,  $L_0$ ,  $C_0$ . Результати занести до табл. 2.5.2, п. 3. Навести скріншот схеми вимірювань.

5. За результатами вимірювань побудувати характеристики, сумістивши їх з розрахунковими.

6. Розрахувати абсолютну та відносні похибки експерименту та занести їх до таблиці 2.5.2.

7. Пред'явити протокол лабораторної роботи для перевірки викладачеві.



### Контрольні питання

1. Сформулювати та записати закон Ома в комплексній формі для кола синусоїдного струму.
2. Сформулювати та записати закон Кірхгофа в комплексній формі для кола змінного струму.
3. Пояснити побудову векторної діаграми.
4. Як перейти від миттєвих значень струму (напруги) до комплексної амплітуди та комплексу діючого значення струму (напруги)?
5. Умова резонансу напруги в послідовному коливальному контурі та способи його отримання.
6. Власна частота, добротність, хвильовий опір, затухання резонансного контуру.
7. Що таке частотні характеристики послідовного контуру та який вони мають вигляд?
8. Розрахувати добротність резонансного контуру за схемою рис. 2.5.1, якщо  $U_2 = U_3 = 15 \text{ В}$ ;  $U_0 = 10 \text{ В}$ .
9. Знайти фазовий зсув між вхідним струмом та напругою для схеми на рис. 2.5.1, якщо  $U_1 = 1 \text{ В}$ ;  $U_2 = 2 \text{ В}$ ;  $U_3 = 3 \text{ В}$ .
10. Знайти резонансну частоту та добротність контуру в схемі на рис. 2.5.1.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

#### Дослідження індуктивно зв'язаних кіл синусоїдного струму

*Мета роботи:* 1) навчитися експериментально визначати параметри індуктивно зв'язаних котушок; 2) отримати навички розрахунку та побудови векторних діаграм послідовного з'єднання індуктивно зв'язаних котушок; 3) навчитися розраховувати кола синусоїдного струму з лінійним трансформатором.

#### Порядок виконання роботи

##### Ідентифікація параметрів індуктивно зв'язаних котушок

В зв'язку з тим, що індуктивно зв'язані котушки представлені в програмному середовищі EWB складовою частиною лінійного трансформатора, що моделюється залежними джерелами, значення параметрів котушок визначають експериментальним шляхом. В налаштуваннях трансформатора, що міститься в наборі базових компонентів (рис. 2.6.1, *а*), треба обрати: **Library** – power, **Model** – ideal (рис. 2.6.1, *б*). Параметри трансформатора встановлюються у вікні, що відкривається, при натисканні кнопки **Edit** наступним чином (рис. 2.6.1, *в*). Коефіцієнт трансформації  $N=1$ ; індуктивність розсіювання  $LE$ ; індуктивність намагнічування  $LM$ ; активні опори первинної  $RP$  та вторинної обмоток  $RS$  встановлюються відповідно до номеру варіанту з табл. 2.6.1.

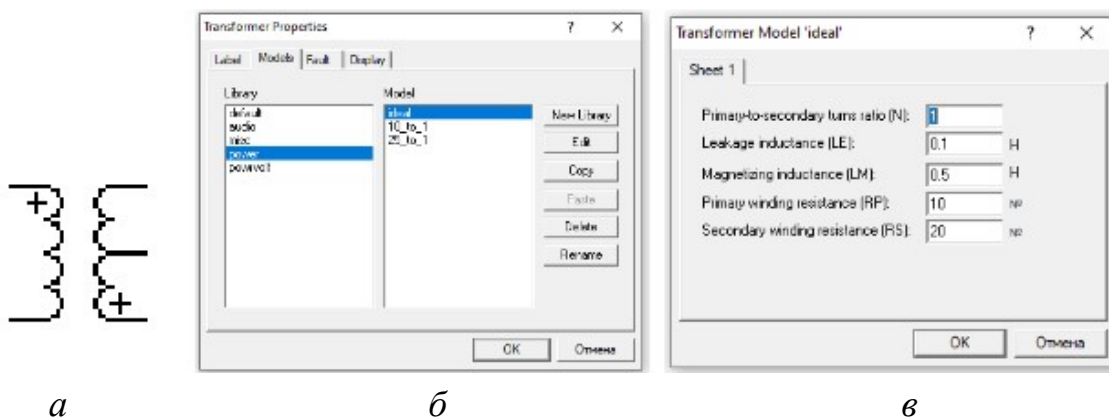


Рис. 2.6.1. Трансформатор: *а* – зовнішній вигляд компонента; *б* – вікно вибору моделі; *в* – вікно налаштувань параметрів

Таблиця 2.6.1.

Варіант, $N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$LE$ , Гн	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
$LM$ , Гн	0,5	0,7	0,9	1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2
$RP$ , Ом	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$RS$ , Ом	20	20	40	45	50	55	60	60	65	70

1. Перевірити вірність встановлення активних опорів обмоток омметром (знаходиться в блоці **Instruments**). Опір вторинної обмотки вимірювати між затискачами без позначок.

2. Підключити до синусоїдного джерела напругою  $U=200+20N$  В частотою 50 Гц первинну обмотку трансформатора та виміряти вхідний струм  $I_{1P}$  і напругу вторинної обмотки (між затискачами без позначок)  $U_{2P}$  (рис. 2.6.2).

3. Підключити до синусоїдного джерела вторинну обмотку трансформатора між затискачами без позначок та виміряти вхідний струм  $I_2$ .

4. Включити обмотки трансформатора послідовно узгоджено (вторинна обмотка між затискачами без позначок) та виміряти їх струм  $I_{1У}$  від того самого джерела (рис. 2.6.3).

5. Включити обмотки трансформатора послідовно зустрічно (вторинна обмотка між затискачами без позначок) та виміряти їх струм  $I_{1З}$  від того самого джерела (рис. 2.6.3).

6. Дані вимірів занести в табл. 2.6.2.

Табл. 2.6.2.

$U, В$	$I_{1P}, А$	$U_{2P}, В$	$I_{1У}, А$	$I_{1З}, А$

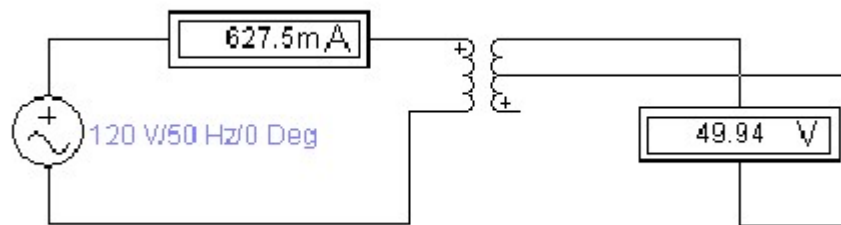


Рис. 2.6.2. Схема вимірювання параметрів трансформатора

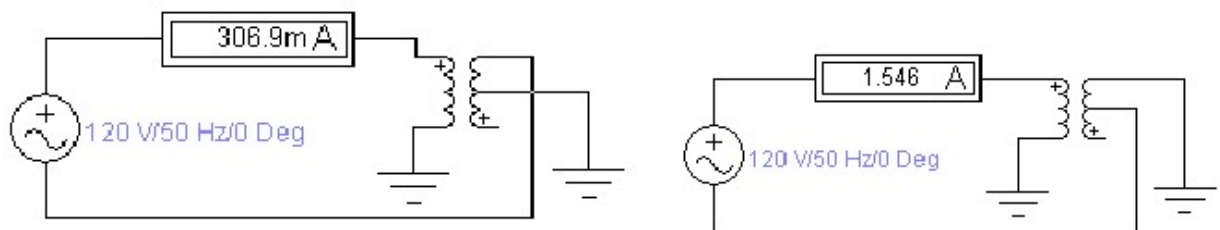


Рис. 2.6.3. Схеми включення обмоток трансформатора:  
*a* – послідовно узгоджено; *b* – послідовно зустрічно

*Вказівки:* при виконанні в програмі Multisim обрати найпростіший трансформатор (рис. 2.6.4). Схема підключення аналогічно схемам, наведеним на рис. 2.6.3.



Рис. 2.6.4. Зовнішній вигляд компонента трансформатор

*Розрахункова частина*

1. За вимірними даними з табл. 2.6.2 розрахувати власні індуктивності котушок  $L_1$ ,  $L_2$ , взаємну індуктивність  $M$  та коефіцієнту зв'язку  $k$ . Для перевірки правильності розрахунків визначити взаємну індуктивність через еквівалентну індуктивність узгодженого і зустрічного ввімкнення котушок.

2. Накреслити схему підключення до джерела послідовного з'єднання котушок разом з конденсатором  $C=3$  мкФ (рис. 2.6.5) та вказати на них розраховані параметри котушок.

3. Для послідовного (узгодженого та зустрічного) з'єднання котушок індуктивності розрахувати: комплексні значення повних опорів ділянок схеми та вхідного опору всієї схеми; струм в колі та напруга на ділянках схеми. Результати обчислень записати до табл. 2.6.3. Побудувати векторні діаграми струмів та напруг.

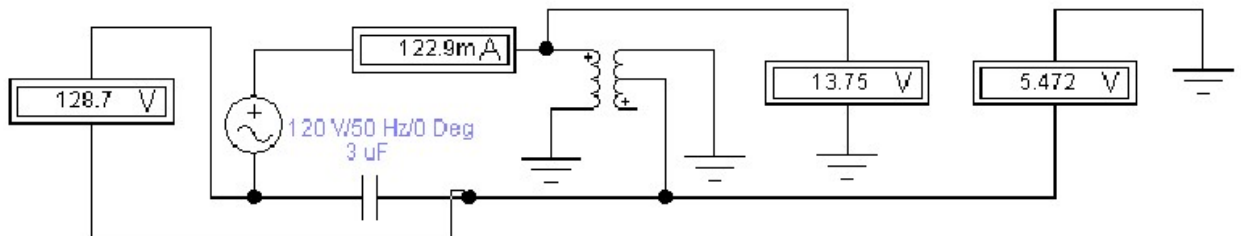


Рис. 2.6.5. Схема підключення трансформатора із послідовно з'єднаними котушками до джерела разом з конденсатором

Табл. 2.6.3.

З'єднання котушок	Величини	$\dot{I}$	$\dot{U}$	$\dot{U}_1$	$\dot{U}_2$	$\dot{U}_3$	$M$	$\underline{Z}_1$	$\underline{Z}_2$	$\underline{Z}_3$	$\underline{Z}_{\text{вх}}$
	Одиниці виміру	мА	В				Гн	Ом			
Узгоджене	Розрахована										
	Виміряна										
	Абсолютна похибка										
	Відносна похибка										
Зустрічне	Розрахована										
	Виміряна										
	Абсолютна похибка										
	Відносна похибка										

4. Накреслити схему та розрахувати комплексні значення невідомих величин повітряного трансформатору у режимі розриву. Результати розрахунку занести до табл. 2.6.4. Побудувати векторну діаграму струму та напруг.

#### *Експериментальна частина*

1. Зібрати електричне коло з послідовним з'єднанням котушок та конденсатора відповідно до схеми п. 2 розрахункової частини.

2. Ввімкнути джерело живлення, виміряти струм та напруги при узгодженому та зустрічному з'єднаннях котушок індуктивності, розрахувати модулі комплексних опорів ділянок кола. Результати вимірів та розрахунків записати до табл. 2.6.3.

Табл. 2.6.4.

Величини	$\overset{\circ}{U}$ , В	$\overset{\circ}{I}_{1P}$ , А	$\overset{\circ}{U}_{2P}$ , В	$\frac{Z_1}{\text{Ом}}$	$\frac{Z_M}{\text{Ом}}$
Розрахована					
Виміряна					
Абсолютна похибка					
Відносна похибка					

3. Зібрати схему повітряного трансформатора відповідно до схеми п. 4 розрахункової частини. Ввімкнути джерело живлення та встановити задане (або розраховане) значення напруги  $U_1$  на затискачах первинної обмотки. Виміряти струм та напругу, розрахувати модулі комплексних опорів ділянок кола. Результати вимірів записати до табл. 2.6.4.

4. Розрахувати абсолютні та відносні похибки експериментів та пред'явити протокол лабораторної роботи для перевірки викладачеві.

#### *Контрольні питання*

1. Закон електричної індукції. Що таке е.р.с. самоіндукції та е.р.с. взаємної індукції?

2. Коефіцієнт зв'язку для індуктивно зв'язаних котушок. Від чого залежить величина коефіцієнта зв'язку та як він обчислюється?

3. Способи експериментального визначення коефіцієнта взаємної індукції.

4. Що розуміють під узгодженим та зустрічним ввімкненням індуктивно зв'язаних котушок та як його визначити?

5. Як визначити еквівалентну індуктивність при послідовному з'єднанні індуктивно зв'язаних котушок?

6. Як визначити еквівалентну індуктивність при паралельному з'єднанні індуктивно зв'язаних котушок?

7. Як скласти рівняння за другим законом Кірхгофа при наявності взаємоіндукції?

8. Як скласти рівняння за другим законом Кірхгофа для схеми повітряного трансформатору?

## БІБЛІОГРАФІЧНІ СПИСКИ

### СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В. С. Бойко, В. В. Бойко, Ю. Ф. Видолоб та ін.; За заг. ред. І. М. Чиженка, В. С. Бойка. – Київ: Видавництво «Політехніка», 2004. Т.1. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – 232 с.
2. Коваль Ю. В. Основи теорії кіл: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Ч. 1 [Текст] / Ю. В. Коваль, Л. В. Гринченко, І. О. Милютченко, О. І. Рибін. – Харків: Компанія СМІТ, 2008. – 432 с.
3. Артеменко М. Ю., Кулешов Ю. Є., Якименко Ю. І. Матричні методи в теорії електричних та електронних кіл (навчальний посібник з грифом МОН). – Київ: КНУТД, 2008. – 156 с.
4. Теорія електричних кіл. Розрахунок лінійних електричних кіл постійного струму. Алгоритми й приклади розв'язування задач та самостійна робота студентів. М. Ю. Артеменко, К. С. Дрозденко. – Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2020. – 95 с.
5. Артеменко М. Ю., Заграничний А. В., Волківський В. Б. Теорія електричних кіл-1: Методичні настанови до виконання лабораторних робіт та самостійної роботи студентів спеціальності 171 Електроніка. – Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2018. – 45 с.
6. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC: Т. 1 / В. И. Карлащук. – М.: Солон-Пресс, 2007. – 720 с.

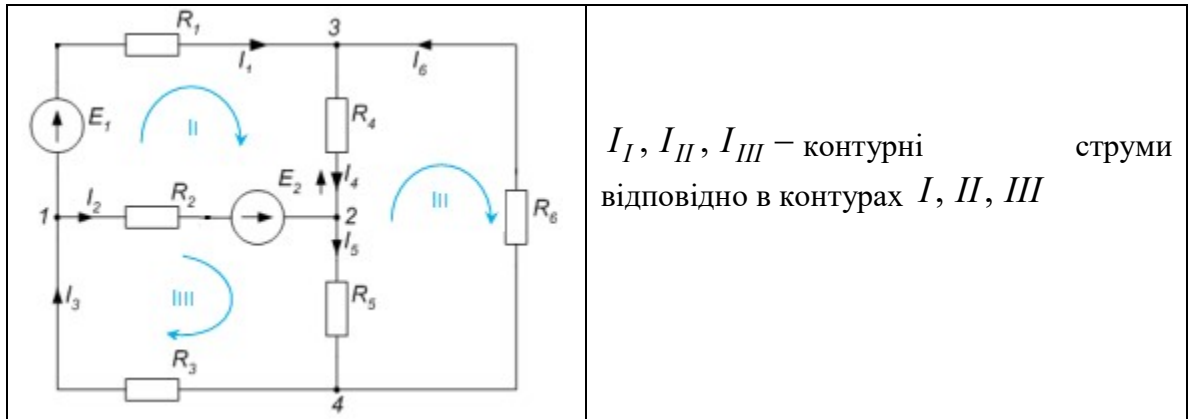
### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Віртуальний електронний практикум: Навчальний посібник / В. Г. Дейбук, О. В. Деревянчук, Г. О. Кравченко. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2021. – 188 с.
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Аналогова схемотехніка» для студентів напряму підготовки 050803 – Акустотехніка / Уклад.: В. С. Берегун, О. В. Гармаш. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 40 с.

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК А. МЕТОД КОНТУРНИХ СТРУМІВ (МКС): знаходження розв'язку системи рівнянь з 3-ма невідомими в MathCAD

Розглянемо приклад розрахунку МКС в програмі **MathCAD** стосовно наступної схеми:



1. Скласти канонічну систему алгебраїчних рівнянь за другим законом Кірхгофа, відповідно до заданої схеми:

$$\begin{cases} (R_1 + R_2 + R_4)I_I - R_4I_{II} - R_2I_{III} = E_1 - E_2; \\ -R_4I_I - (R_4 + R_5 + R_6)I_{II} - R_5I_{III} = 0; \\ -R_2I_I - R_5I_{II} - (R_4 + R_5 + R_6)I_{III} = E_2. \end{cases} \quad (\text{A.1})$$

Дана система рівнянь безпосередньо в матричному вигляді може бути записана так

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 + R_4 & -R_4 & -R_2 \\ -R_4 & R_4 + R_5 + R_6 & -R_5 \\ -R_2 & -R_5 & R_2 + R_3 + R_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_I \\ I_{II} \\ I_{III} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 - E_2 \\ 0 \\ E_2 \end{bmatrix}.$$

Струми у вітках через контурні струми можуть бути знайдені наступним чином:

$$I_1 = I_I; I_2 = I_{III} - I_I; I_3 = I_{III}; I_4 = I_I - I_{II}; I_5 = I_{III} - I_{II}; I_6 = -I_{II}$$

2. Розв'язок складеної системи рівнянь виконаємо в середовищі MathCAD.

Задати в середовищі MathCAD вихідні данні до виконання завдання – числові значення ЕРС  $E_1, E_2$  та опорів  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$  :

**E1:=значення      R1:= значення      ...**

А саме:

$$E1 := 20 \quad E2 := 40$$

$$R1 := 13 \quad R2 := 5 \quad R3 := 9 \quad R4 := 7 \quad R5 := 10 \quad R6 := 4$$

Задати матрицю опорів  $Rr$  згідно системи рівнянь (A.1) та матрицю-вектор ЕРС  $E$ . Для цього в MathCAD вибрати на панелі Матриця інструмент , де вкажете кількість стовпців і рядків матриці.



$$Rr := \begin{pmatrix} R1 + R2 + R4 & -R4 & -R2 \\ -R4 & R4 + R5 + R6 & -R5 \\ -R2 & -R5 & R2 + R3 + R5 \end{pmatrix}$$

$$E := \begin{pmatrix} E1 - E2 \\ 0 \\ E2 \end{pmatrix}$$

3. Ввести формулу для розрахунку матриці контурних струмів  $I_k$ . Для цього використати операцію знаходження оберненої матриці, обравши на панелі Матриця інструмент  $\times^{-1}$ . Знак множення  $\langle x \rangle$  беремо з панелі калькулятор (після вводу у виразі цей знак відображається крапкою):

$$I_k := Rr^{-1} \cdot E$$

4. Отримати чисельні значення. Після вводу знаку  $\langle == \rangle$  програма видасть розв'язок системи рівнянь у вигляді:

$$I_k := Rr^{-1} \cdot E = \begin{pmatrix} -0.14 \\ 0.914 \\ 2.018 \end{pmatrix}$$

5. Записати значення знайдених контурних струмів та віднайти струми у вітках:

$$I_{k1} := -0.14 \quad I_{k2} := 0.914 \quad I_{k3} := 2.018$$

$$I_1 := I_{k1} = -0.14 \quad I_2 := I_{k3} - I_{k1} = 2.158 \quad I_3 := I_{k3} = 2.018$$

$$I_4 := I_{k1} - I_{k2} = -1.054 \quad I_5 := I_{k3} - I_{k2} = 1.104 \quad I_6 := (-I_{k2})_2 = -0.914$$

**Примітка: Використання формул в Mathcad.**

Імена вбудованих функцій нечутливі до шрифту, але чутливі до регістра (верхнього, нижнього) – їх слід набирати так, як вони наведені в документації по Mathcad. Набір змінної чи формули здійснюється в робочій області там, де стоїть курсор введення (хрестик червоного кольору).

Для набору формул в Mathcad можна використовувати числа, змінні, функції як стандартні (вбудовані), так ті, які визначив користувач, а також різні математичні оператори (додавання, віднімання, множення, ділення, піднесення до степеню, інтегрування, диференціювання і т. п.). Набір формул можна здійснювати також за допомогою панелі математичного меню Mathcad.

Для визначення змінної слід після вказівки її імені ввести знак привласнення  $\langle := \rangle$  (натиснувши клавішу  $\langle : \rangle$ ), після якого вводиться алгебраїчний (або логічний) вираз, всі операнди якого повинні бути визначені. Знак  $\langle := \rangle$  діє по полю Mathcad правіше і нижче вказаного виразу.

## ДОДАТОК Б. Побудова графіків частотних характеристик в Excel

Отримати вихідні дані для побудови графіку  $U_1 = F_1(f)$  (табл. Б.1).

Таблиця Б.1.

$f$ , кГц	2	5	8
$U_1$ , В	4,439	11,999	7,189

### Створення графіка

1. У відкриту сторінку **Excel** скопіювати дані, за якими слід побудувати графік (табл. Б.1).
2. Виділити дані, які хочете відобразити на графіку.
3. На вкладці **Вставка** обрати піктограму точкової **Діаграми** (рис. Б.1) у відкритому меню обрати **Точкова** з гладкими кривими і маркерами (рис. Б.2).

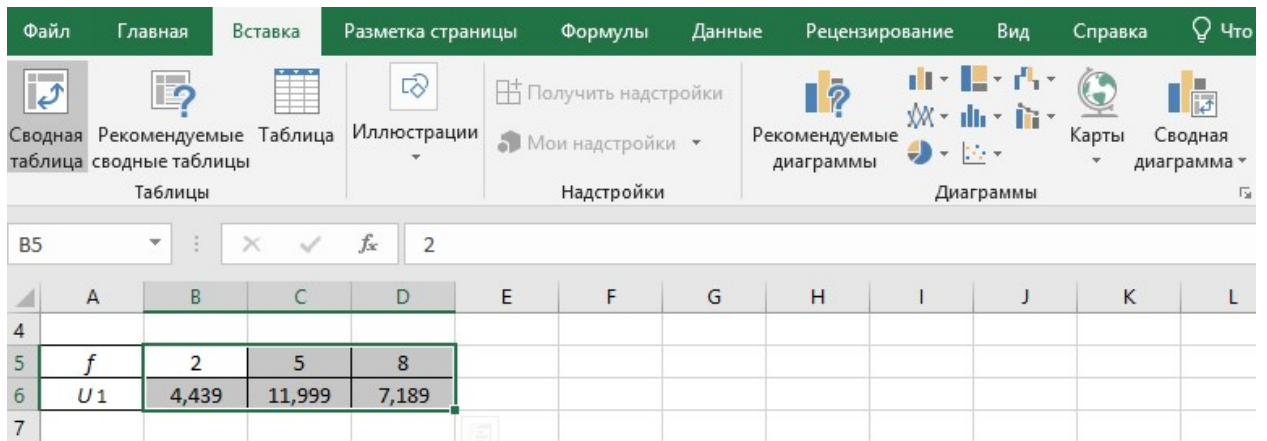


Рис. Б.1.

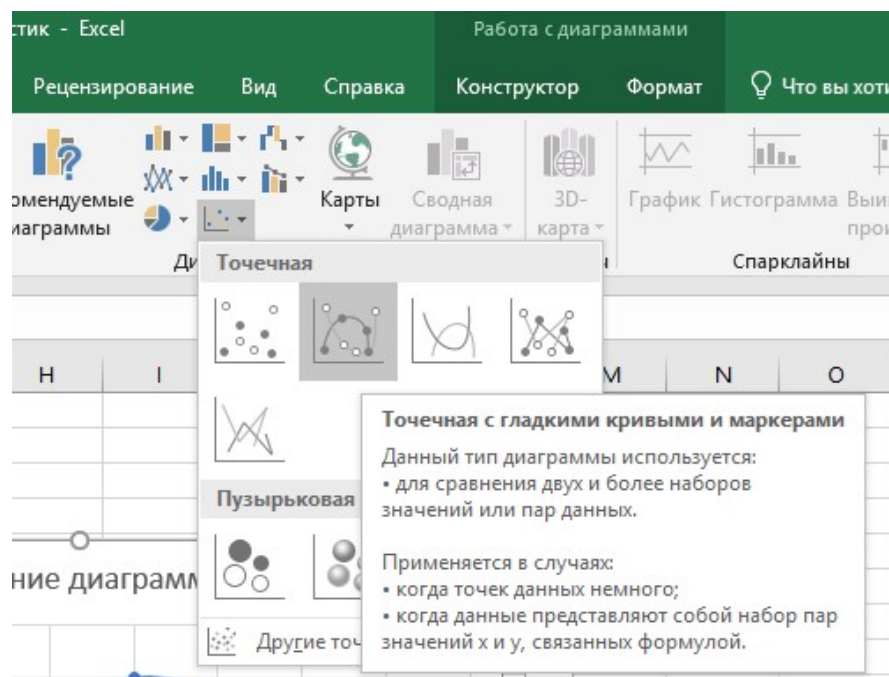


Рис. Б.2.

Після чого побудується графік, наведений на рис. Б.3.

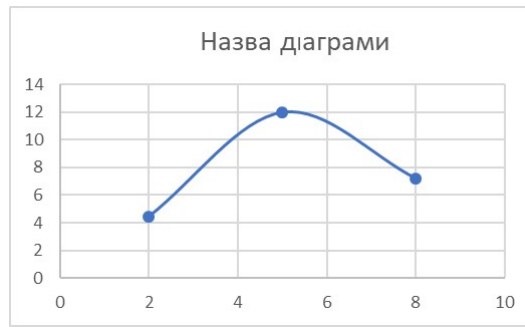




Рис. Б.3.

4. Клікніть на **Назва діаграми** і введіть потрібний текст.
5. Підпис осей.
  - Виділити діаграму. На вкладці **Конструктор** в групі **Макети діаграм**, натиснути кнопку **Додати елемент діаграми**
  - Щоб додати назву основної вертикальної осі, клікнути **Назва осі > основна вертикальна**. Після того, в області **Формат назва осі** клікнути **Розмір і властивості** , щоб налаштувати необхідний тип назви вертикальної осі.
  - Клікніть на кожній назві, введіть необхідний текст і натисніть ввід.
  - Щоб змінити орієнтацію шрифту, слід в області **Формат назва осі > Параметри тексту** клікнути **Надпис**  та в полі **Направлення тексту** обрати <горизонтально>.
  - Щоб змінити розташування підпису, слід його виділити, коли з'явиться курсор у вигляді перехресних стрілок, при затисканні лівої кнопки миші перемістити в потрібне місце.
  - Додавання назви основної горизонтальної осі – аналогічним чином.

Результат наведено на рис. Б.4.

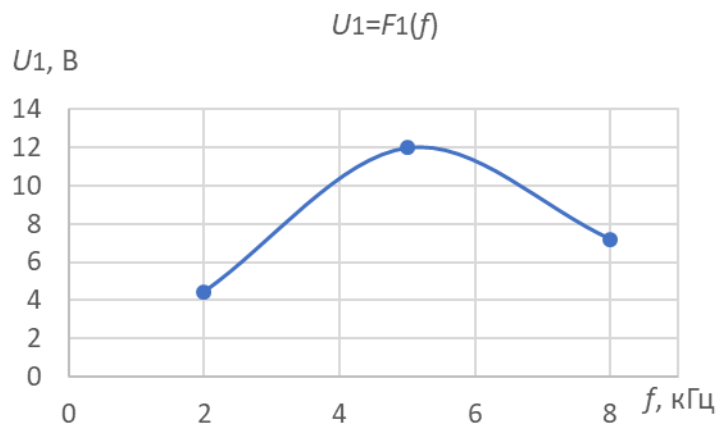


Рис. Б.4

## ДОДАТОК В. Титульний аркуш протоколу на лабораторну роботу

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**Факультет електроніки**  
**Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем**

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № \_\_\_\_\_

з дисципліни \_\_\_\_\_  
(назва дисципліни)

на тему: \_\_\_\_\_

**Виконав:**

студент \_\_\_\_-го курсу гр. \_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище студента)

**Перевірив:**

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище викладача)

Відмітки про виконання роботи:

допуск	виконання	протокол	захист	всього

Київ

2023