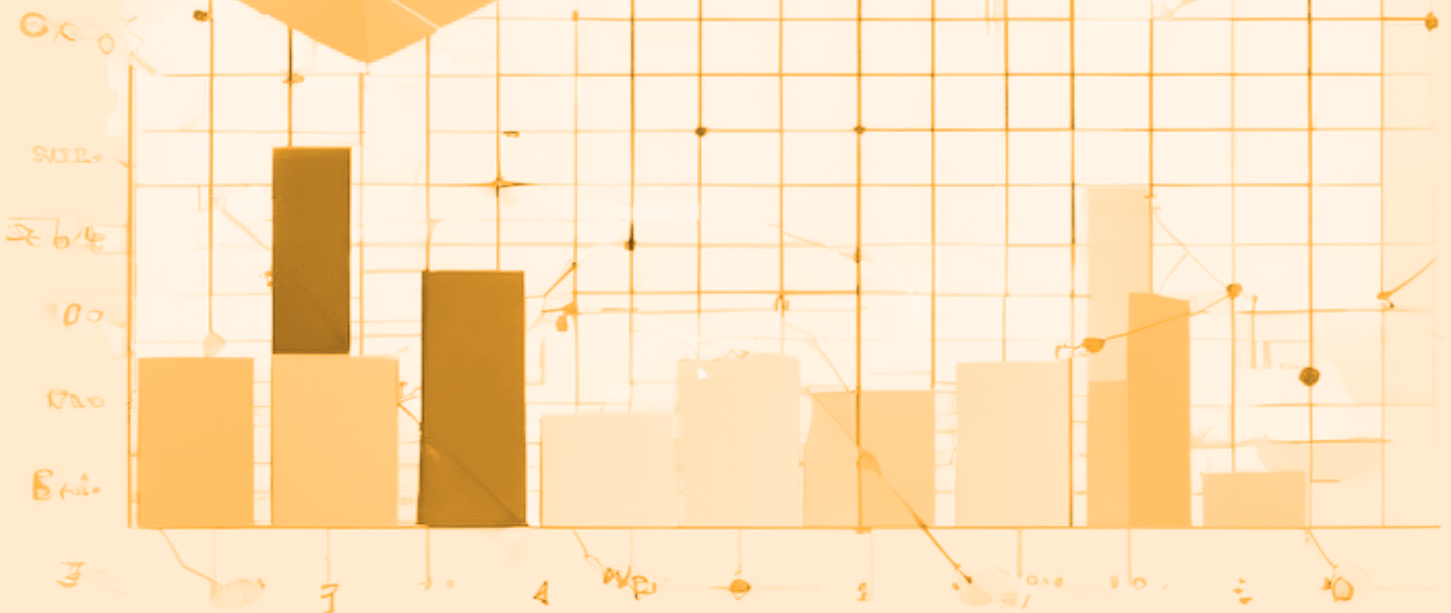




**Методичні вказівки  
до виконання курсових робіт з дисципліни  
«Засоби моделювання в електротехнічних системах»  
зі спеціальності «Електрична інженерія»**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки**  
**до виконання курсових робіт з дисципліни**  
**«Засоби моделювання в електротехнічних системах»**  
**зі спеціальності «Електрична інженерія»**

Вінниця  
ВНТУ  
2025

Рекомендовано до видання Радою з якості освіти Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 3 від 23.10.2025 р.)

Рецензенти:

**О. Є. Рубаненко**, кандидат технічних наук, професор

**О. В. Бабенко**, кандидат технічних наук, доцент

**Д. Х. Штофель**, кандидат технічних наук, доцент

Методичні вказівки до виконання курсових робіт з дисципліни «Засоби моделювання в електротехнічних системах» зі спеціальності «Електрична інженерія» [Електронний ресурс] / уклад. : О. М. Кравець, Д. Ю. Лебедь. – Вінниця : ВНТУ, 2025. – (PDF, 44 с.)

Методичні вказівки містять рекомендації з вивчення дисципліни «Засоби моделювання в електротехнічних системах» та виконання курсових робіт зі спеціальності «Електрична інженерія».

## ЗМІСТ

1 ТЕМАТИКА ТА ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	4
1.1 Загальна характеристика теми .....	4
1.2 Мета та практична значущість роботи.....	4
1.3 Конкретні завдання курсової роботи .....	4
1.4 Вхідні та вихідні дані.....	5
1.5 Побудова математичної моделі .....	5
1.6 Вибір засобів моделювання та обґрунтування.....	6
1.7 Методика проведення чисельного експерименту.....	6
1.8 Очікувані результати та критерії оцінювання .....	7
2 ОРГАНІЗАЦІЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	8
2.1. Загальні положення.....	8
2.2 Вимоги до обсягу та структури курсової роботи.....	8
2.3 Взаємодія студента з керівником .....	9
2.4 Постановка завдання.....	9
2.5 Вимоги до методології та наукового підходу .....	9
2.6 Стандарти оформлення та цитування .....	9
2.7 Захист курсової роботи: формат і рекомендації .....	10
2.8 Академічна доброчесність і перевірка на плагіат.....	10
3 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ.....	11
3.1 Структура пояснювальної записки.....	14
3.2 Титульний аркуш.....	14
3.3 Індивідуальне завдання .....	15
3.4 Анотація .....	15
3.5 Зміст.....	15
3.6 Вступ.....	16
3.7 Вимоги до оформлення розділів та підрозділів .....	17
3.8 Висновки .....	17
3.9 Оформлення списку використаних джерел.....	17
3.10 Оформлення додатків .....	19
4 ГРАФІК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ ТА ПОРЯДОК ЇІ ЗАХИСТУ .....	20
4.1 Рекомендований графік виконання роботи .....	20
4.2 Порядок контролю та захисту роботи.....	22
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	24
Додаток А .....	26
Додаток Б.....	33
Додаток В .....	41
Додаток Г .....	42
Додаток Д.....	43

# 1 ТЕМАТИКА ТА ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

## 1.1 Загальна характеристика теми

Курсова робота (КР) з дисципліни «Засоби моделювання в електротехнічних системах» – це самостійна робота, яка направлена на застосування засобів моделювання для вирішення задач електроенергетики та охоплює матеріал, що викладений під час вивчення дисциплін «Вступ до фаху», «Обчислювальна техніка та САПР в енергетиці» та «Засоби моделювання в електротехнічних системах».

Зміст КР визначається завданням, яке видається на консультації викладачем кожному студенту. Завдання видається не пізніше 6-ти днів з початку семестру.

Кожен етап роботи обов'язково має знайти своє відображення в пояснювальній записці, що містить вхідні та вихідні дані, пояснювальні матеріали, які пов'язані з виконанням КР.

В роботі від студента вимагається самостійність у виборі функцій алгоритмів, операторів та їх послідовності для створення математичної та комп'ютерної моделі, що дозволить в повній мірі відобразити об'єкт та вирішити поставлену задачу.

Завдання для КР визначаються викладачем із загального списку завдань на КР (додаток А, відповідно до номера варіанта).

## 1.2 Мета та практична значущість роботи

Метою курсової роботи є розробка математичної та комп'ютерної моделей заданої електричної системи, їх чисельна реалізація із застосуванням мови програмування Python та доведення коректності моделей шляхом порівняння з результатами симуляції або аналітичними розрахунками. Практична значущість полягає у відпрацюванні методики побудови моделей, вибору чисельних алгоритмів та інструментів для графічного представлення результатів, що є необхідними навичками для інженерної діяльності у сфері електричної інженерії.

## 1.3 Конкретні завдання курсової роботи

Курсова робота виконується за індивідуальним завданням і включає наступні обов'язкові етапи, кожний з яких підлягає документуванню у пояснювальній записці:

1. Формулювання задачі та визначення вхідних даних: параметрів схеми, режиму роботи джерел та меж варіацій параметрів.

2. Побудова математичної моделі електричної схеми у вигляді системи рівнянь, що описують електричні величини (струми, напруги, потужності) у заданих вузлах та гілках.

3. Аналіз вибору чисельних методів для розв'язання отриманих рівнянь (методи матричного аналізу, методи на основі комплексних чисел для змінного струму, ітераційні методи для нелінійних елементів).

4. Реалізація моделей у середовищі Python із використанням бібліотек NumPy та SciPy; автоматизація серії розрахунків при варіюванні параметрів.

5. Експорт результатів у табличний редактор (Google Sheets або Excel) та побудова графіків для аналізу залежностей.

6. Перевірка результатів за допомогою альтернативних інструментів моделювання (онлайн-симулятори або спеціалізовані програмні пакети) та порівняння отриманих даних.

7. Оформлення висновків з кількісними показниками точності моделі та рекомендаціями щодо застосування обраних інструментів.

#### 1.4 Вхідні та вихідні дані

Вхідні дані мають бути чітко й однозначно визначені в індивідуальному завданні та в пояснювальній записці. До вхідних даних належать: параметри елементів схеми (опори, індуктивності, ємності, параметри джерел), початкові умови для режимів з пам'яттю (конденсатори, індуктивності), а також параметри дискретизації та точності чисельних методів. Вихідними даними є чисельні значення струмів і напруг у вузлах та гілках, значення активної та реактивної потужності, графіки залежностей параметрів від варіацій вхідних величин та аналіз похибок між моделлю та еталонними розрахунками.

#### 1.5 Побудова математичної моделі

Математична модель повинна бути представлена у вигляді системи алгебраїчних та/або диференціальних рівнянь залежно від типу задачі. Для схем постійного струму застосовуються рівняння по законах Кірхгофа та матричні методи (метод вузлових потенціалів або метод контурних струмів), що формулюються у вигляді лінійної системи  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{b}$ . Для схем змінного струму вводиться комплексна форма запису параметрів та використовується формат імпедансної матриці. Для задач у часовій області необхідно побудувати систему диференціальних рівнянь із подальшою дискретизацією методом Ейлера або методом Рунге–Кутта відповідного порядку.

У випадку нелінійних елементів модель має містити відповідні нелінійні функції та опис ітераційної процедури їх розв'язання (наприклад, метод Ньютона–Рафсона для вузлових рівнянь).

Кожна формула у пояснювальній записці має супроводжуватися коротким поясненням позначень та меж застосування. Нумерація формул – в межах розділу за правилами методичних вказівок.

## **1.6 Вибір засобів моделювання та обґрунтування**

В якості основних інструментів для реалізації обрано мову Python з бібліотеками NumPy, SciPy та Matplotlib. Обґрунтування вибору базується на наступних твердженнях:

NumPy забезпечує ефективні операції над багатовимірними масивами та реалізацію матричних обчислень із складністю  $O(n^3)$  для прямих методів розв'язання лінійних систем, що необхідно для аналізу вузлових та контурних методів.

SciPy надає готові чисельні методи для інтегрування диференціальних рівнянь та оптимізації, що потрібні для задач у часовій області та для параметричної ідентифікації.

Matplotlib дозволяє створювати наукові графіки, гістограми та тривимірні поверхні для наочної інтерпретації результатів.

Додаткові інструменти: Google Colaboratory для демонстрації виконаного коду в хмарі та Google Sheets для спільної роботи зі значеннями та побудови інтерактивних графіків.

## **1.7 Методика проведення чисельного експерименту**

Методика включає наступні послідовні кроки:

1. Верифікація алгоритму на простих тестових схемах з відомими аналітичними розв'язками.

2. Формування набору сценаріїв варіювання параметрів (один параметр – інші фіксовані; багатовимірні сітки параметрів для побудови поверхонь залежностей).

3. Проведення серії розрахунків із контролем чисельної стабільності (аналіз умов збіжності, вибір кроку дискретизації для часових інтеграторів).

4. Збір результатів та обчислення метрик точності (відносна похибка, середнє квадратичне відхилення) при порівнянні з еталонними розрахунками або результатами симулятора.

5. Формалізований аналіз чутливості результатів до варіацій вхідних параметрів.

Кожен етап супроводжується кодом, коментарями та ілюстраціями результатів.

## 1.8 Очікувані результати та критерії оцінювання

Очікувані результати: коректна реалізована програма для розв'язання поставленої задачі; таблиці з чисельними значеннями струмів і напруги; послідовність графіків, що ілюструють залежності досліджуваних величин від варіацій параметрів; порівняння результатів з альтернативними джерелами.

Критерії оцінювання роботи:

- коректність математичної моделі та її обґрунтування;
- повнота реалізації чисельного методу та коректність програмної реалізації;
- якість верифікації та валідації результатів;
- аналітичність висновків та рекомендацій щодо застосування методів;
- оформлення пояснювальної записки згідно норм «Державних стандартів України» та методичних вказівок.

## 2 ОРГАНІЗАЦІЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

### 2.1. Загальні положення

Організація підготовки до КР є вирішальним фактором у створенні якісної роботи та отримання позитивної оцінки студентом. Така організація має нижче вказані складові:

- побудова математичної моделі для розв'язання поставленої задачі; вибір функцій засобів та функцій Python, Google Sheets, Google Collaboratory, які в повному обсязі будуть відображати математичні моделі та дозволять розв'язати поставлену задачу;

- оформлення роботи відповідно до чинних стандартів;

- налаштування сучасних хмарних і мобільних технологій, яке полягає у зручному контролі за виконанням основних етапів виконання роботи, наданням викладачем рекомендацій та врахуванням студентами поточних зауважень;

- налагодження швидкого та якісного дистанційного діалогу з викладачем, що здійснюється в ході написання роботи за допомогою сучасних хмарних та мобільних технологій.

Створена КР має мати вигляд завершеного дослідження та супроводжуватись пояснювальною запискою, яка містить такі розділи: «Анотація», «Вступ», «Побудова математичної моделі для визначення струмів у колах постійного струму», «Визначення взаємної залежності параметрів кіл постійного струму. Побудова графіків», «Визначення параметрів кіл змінного струму», «Висновки» та «Список використаних джерел».

### 2.2 Вимоги до обсягу та структури курсової роботи

Курсова робота повинна містити такі обов'язкові розділи: титульний аркуш, завдання до роботи, анотація (укр. та англ., по 100–150 слів), вступ, три основних розділи (теоретичний та практичний), висновки, список використаних джерел, додатки (код, результати чисельних експериментів, таблиці). Обсяг основної частини має складати не менше 20 сторінок друкованого тексту. Додатки не включаються в основний обсяг.

Кожний розділ повинен починатися з чіткого заголовка та містити структуровані пункти. Формули нумеруються послідовно у межах розділу або в загальному форматі та супроводжуються поясненнями всіх символів. Кожна таблиця та рисунок мають підпис і джерело походження (якщо не авторські).

### **2.3 Взаємодія студента з керівником**

Керівник призначається офіційно та проводить не менше трьох консультацій: при формуванні завдання, після реалізації моделі та перед захистом. Студент щотижня надсилає коротке повідомлення про статус виконання робіт (необхідні мінімальні вимоги – перелік виконаних задач, проблеми, запит на допомогу). Консультації мають документуватися: дата, основні питання, рішення, список завдань до наступної зустрічі.

Керівник відповідає за змістовну частину, коректність наукових підходів та відповідність роботи вимогам кафедри. Оцінки за наукову і практичну частини формуються спільно керівником і рецензентом.

### **2.4 Постановка завдання**

Завдання на курсову роботу оформляється у вигляді документа, що містить: мету, перелік задач, вихідні дані, обмеження, критерії успішності, очікувані результати (аналітичні вирази, чисельні дослідження, програмна реалізація), строк виконання. Індивідуальне завдання має бути підписане студентом і керівником. Зміни в індивідуальному завданні можливі лише після узгодження з керівником.

### **2.5 Вимоги до методології та наукового підходу**

Курсова робота має спиратися на наукові методи: детермінація припущень; формальне виведення рівнянь; обґрунтований вибір чисельних методів; перевірка результатів аналітичними прикладами; аналіз похибок. Всі твердження повинні бути підкріплені джерелами або власними розрахунками. Заборонено приводити результати без методичного опису процедури їх отримання.

Якщо використовується програмне забезпечення, слід вказати версію середовища, бібліотек та параметри запуску. Код повинен супроводжуватись коротким технічним описом та інструкцією для відтворення результатів.

### **2.6 Стандарти оформлення та цитування**

Оформлення бібліографії має відповідати вимогам «Положення про курсове проектування». Посилання на джерела у тексті – у квадратних дужках з порядковим номером. У списку літератури наведено всі джерела, використані при написанні: наукові статті, монографії, нормативні документи, посилання на ПЗ та інтернет-ресурси з датою звернення.

Цитування чужих результатів без посилання вважається академічним порушенням. У разі використання чужого коду або значних фрагментів – вказати авторів та ліцензію.

## **2.7 Захист курсової роботи: формат і рекомендації**

Захист проводиться перед комісією кафедри. Формат захисту: усна презентація (до 10 хв) і відповіді на питання (до 10 хв). Презентація має містити мету роботи, постановку задачі, методи, ключові результати і висновки.

Під час захисту студент повинен чітко обґрунтувати обрані методи та продемонструвати відтворюваність основних чисельних результатів.

Комісія оцінює: логічність викладу, глибину аналізу, вміння відповідати на технічні питання та володіння матеріалом.

## **2.8 Академічна доброчесність і перевірка на плагіат**

Роботи перевіряються протиплагіатними системами згідно правил університету. Порогові значення дозволеної самозапозичення визначає кафедра; загальна рекомендація — унікальність не менше 70 % по змісту (без урахування технічних блоків, таблиць, та бібліографії). У разі перевищення порогу студент має виправити роботу за вказівками керівника.

При виявленні несанкціонованого запозичення можуть застосовуватись дисциплінарні санкції відповідно до Положення університету.

### 3 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Під час оформлення пояснювальної записки необхідно дотримуватись вимог до КР за ДСТУ 3008:2015. Текст пояснювальної записки має бути набраний на комп'ютері та роздрукований на принтері.

**Шрифт і відступи.** Текст пояснювальної записки має бути набраний у будь-якому текстовому редакторі шрифтом Times New Roman, кегль 14 з міжрядковим інтервалом 1,5. Шрифт та міжрядковий інтервал у додатках можуть бути довільними, але такими, щоб текст можна було прочитати і зрозуміти. Відступи: зліва – 2,5 см, справа – 1 см, решта – 2,0 см.

**Нумерація сторінок.** Сторінки мають бути пронумеровані, починаючи з другої, у правому верхньому кутку сторінки. Нумерація додатків продовжує основну нумерацію.

**Оформлення розділів і підрозділів.** Структурними елементами основної частини дослідження є розділи, підрозділи, пункти, підпункти, переліки.

Розділ – головний ступінь поділу тексту, позначений номером, має заголовок. Підрозділ – частина розділу, позначена номером, має заголовок. Пункт – частина розділу чи підрозділу, позначена номером і може мати заголовок. Підпункт – частина пункту, позначена номером і може мати заголовок. Заголовки структурних елементів необхідно нумерувати, використовуючи лише арабські цифри.

Кожен розділ рекомендується починати з нової сторінки. Заголовок розділу записують посередині великими літерами з більш високою насиченістю.

Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів (при наявності заголовка) записують з абзацу малими літерами, починаючи з великої, без крапки в кінці. Перед заголовком і після нього пропускають один рядок.

Розділи нумерують порядковими номерами в межах всього документа (1, 2 і т. д.). Підрозділи нумерують в межах кожного розділу, пункти – в межах підрозділу і т. д. за формою (3.1, 3.2, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.2.1 і т. д.).

Цифри, які вказують номер, не повинні виступати за абзац. Після номера крапку не ставлять, а пропускають один знак.

Допускається розміщувати текст між заголовками розділу і підрозділу, між заголовками підрозділу і пункту. Посилання в тексті на розділи виконується за формою: «...наведено в розділі 3».

**Оформлення таблиць.** Таблицю розміщують симетрично до тексту після першого посилання на даній сторінці або на наступній, якщо на даній вона не вміщується, і таким чином, щоб зручно було її розглядати без повороту або з поворотом на кут 90°. Таблиці у тексті пояснювальної записки набираються основним шрифтом, в деяких випадках розмір шрифту може бути зменшений до 10–12. Назва таблиці має відображати її зміст, бути конкретною та стислою. Якщо з тексту можна зрозуміти зміст

таблиці, її назву можна не наводити. Назву таблиці друкують з великої літери і розміщують над таблицею з абзацного відступу, вказавши її номер.

**Приклад 1:**

Таблиця 3.1 – Таблиця залежності спадів напруг  $U_1$  та  $U_2$  від значення опору  $R_1$

Опір $R_1$ , Ом	Значення спаду напруги $U_1$ Вольт	Значення спаду напруги $U_2$ Вольт
100	2,3	16,2
150	3,8	22,3
200	5,3	28,2
250	6,8	32,4

На всі таблиці мають бути посилання за формою «... в табл. 3.1» або в дужках по тексту «(табл. 3.1)». Посилання на раніше наведену таблицю дають зі скороченим словом «дивись» «(див. табл. 3.1)» за ходом чи в кінці речення.

При перенесенні частин таблиці на інші сторінки, повторюють або продовжують найменування граф. Допускається виконувати нумерацію граф на початку таблиці і при перенесенні частин таблиці на наступні сторінки повторювати тільки нумерацію граф. У всіх випадках найменування (при його наявності) таблиці розміщують тільки над першою частиною, а над іншими частинами зліва пишуть «Продовження таблиці 1» без крапки наприкінці.

**Приклад 2:**

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5

**Оформлення рисунків.** Розміщують рисунки в тексті або в додатках. В тексті ілюстрацію розміщують симетрично до тексту після першого посилання на неї або на наступній сторінці, якщо на даній вона не вміщується без повороту. На всі рисунки мають бути посилання за формою: «... на рис. 3–5», або в дужках по тексту «(рис. 3.6)». Посилання на раніше наведений рисунок дають зі скороченим словом «дивись» «(див. рис. 4)» за ходом чи в кінці речення. Кожен рисунок має мати номер і підпис, розташовані під рисунком по центру. Крапку в кінці не ставлять, знак переносу не використовують. Якщо найменування рисунка довге, то його продовжують у наступному рядку, починаючи від найменування.

Між ілюстрацією і текстом пропускають один рядок. В квадратних дужках вказують джерело посилання (якщо взято з літератури) (рис. 3.1).

Нумерують ілюстрації в межах розділів, вказуючи номер розділу і порядковий номер ілюстрації в розділі, розділяючи крапкою. Дозволяється нумерувати рисунки в межах всього документа.

**Приклад 3:**

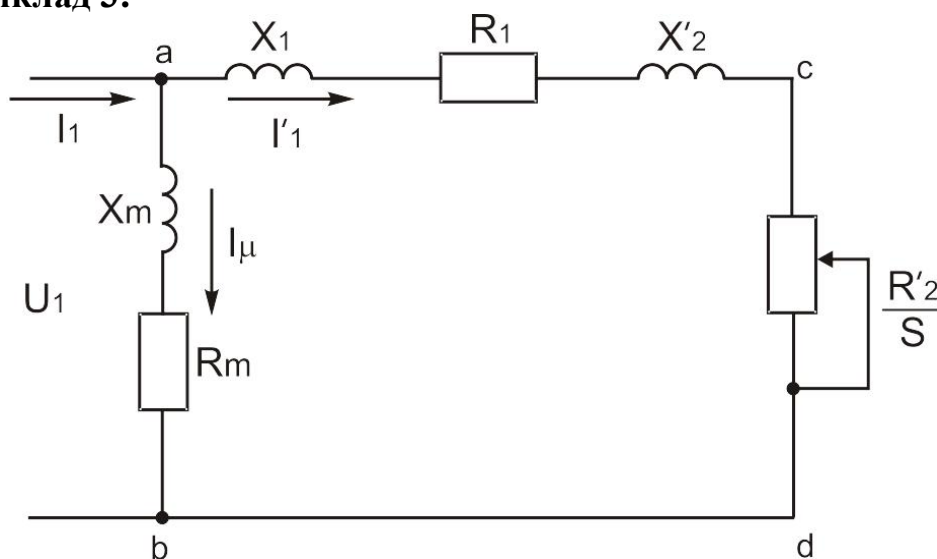


Рисунок 3.1 – Заступна схема

**Оформлення формул.** Кожну формулу записують з нового рядка, симетрично до тексту. Між формулою і текстом пропускають один рядок. Пояснення позначень (познач), які входять до формули, наводять в тексті або зразу ж під формулою. Для цього після формули ставлять кому і записують пояснення до кожного символу з нового рядка в тій послідовності, в якій вони наведені у формулі, розділяючи крапкою з комою. Перший рядок має починатися зі слова «де» без двокрапки. Всі формули нумерують в межах розділу арабськими цифрами. Номер вказують в круглих дужках з правої сторони, в кінці рядка, на рівні закінчення формули. Номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули в розділі, розділених крапкою. Дозволяється виконувати нумерацію в межах всього документа.

**Приклад 4:**

$$I = \frac{U}{R}. \quad (3.1)$$

Формула є частиною речення, тому до неї застосовують такі ж правила пунктуації, як і до інших членів речення. Якщо формула знаходиться наприкінці речення, то після неї ставлять крапку. Формули, які йдуть одна за одною і не розділені текстом, відокремлюють комою.

### 3.1 Структура пояснювальної записки

Пояснювальна записка має відповідати індивідуальному завданню, а її оформлення – чинним (на момент виконання розробки, з урахуванням всіх офіційних змін, введених в дію) державним стандартам.

Пояснювальна записка має таку структуру.

1. Вступна частина, яка містить:
  - титульний аркуш;
  - індивідуальне завдання;
  - анотацію;
  - зміст.
2. Основна частина, яка складається зі:
  - вступу;
  - викладу суті курсової роботи;
  - висновків;
  - списку використаних джерел.
3. Додатки, які розміщують після основної частини пояснювальної записки КР.

### 3.2 Титульний аркуш

Титульний аркуш КР повинен відповідати вимогам Положення про курсове проектування (додаток В). Для КР титульний аркуш виконується без рамки. Він є першою сторінкою КР, яка не нумерується.

На титульному аркуші для КР подаються: тема; запис «Пояснювальна записка ...» із зазначенням спеціальності, умовне позначення згідно з прийнятою системою (див. далі); перераховується науковий ступінь та вчене звання керівника. Підписи керівника та студента із зазначенням термінів обов'язкові.

Для КР доцільною є предметна система умовних позначень, яка має таку структуру:

xx-xx.xxx.xxx.xx.xxx.xx

1 2 3 4 5 6

- де 1 (XX-XX) – числовий шифр кафедри, прийнятий у ВНТУ (08-20);
2. (XXX) – умовне скорочення для дисципліни (ЗПЗ, ТП, ПРГ і т. д.);
3. (XXX) – перша цифра 0, якщо це проєкт, або 1, якщо робота, друга і третя цифри означають рік, наприклад, 08 – 2008 рік);
4. (XX) – варіант завдання на КР (наприклад, 01, 02, ...);
5. (XXX) – перший символ – номер групи (1 або 2), наступні два символи задають номер студента за списком у журналі академічної групи;
6. (XX) – код документа (ПЗ – пояснювальна записка).

Робота, яка подається у вигляді копії, до захисту не приймається.

### **3.3 Індивідуальне завдання**

Конкретний зміст (додаток Г) кожної КР, етапи виконання визначає керівник на підставі індивідуального завдання, затвердженого на засіданні кафедри та підписаного завідувачем кафедри.

Попередньо керівник видає індивідуальне завдання до КР.

Індивідуальне завдання в перелік змісту не вноситься і має бути другою сторінкою після титульного аркуша. Зразок індивідуального завдання до КР наведено в додатку Д. Обов'язковим в індивідуальному завданні є наведення вхідних і вихідних даних.

З навчальною метою зміст може висвітлюватись в індивідуальному завданні. Індивідуальне завдання до КР має містити термін видачі, підписи керівника та студента.

### **3.4 Анотація**

Анотація призначена для ознайомлення з текстовим документом КР. В анотації коротко характеризують мету роботи, засоби, необхідні для розв'язання поставленої задачі, наводять стисло інформацію про досягнуті результати. Розмір анотації зазвичай становить  $\frac{1}{3}$  частину сторінки (не має перевищувати  $\frac{1}{2}$  сторінки). Анотацію розміщують безпосередньо за аркушем з індивідуальним завданням, починаючи з нової сторінки (третьої).

### **3.5 Зміст**

Зміст розташовують безпосередньо після анотації, починаючи з нової сторінки. До змісту вносять: вступ; послідовно перелічені назви всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони мають заголовки); висновки; перелік використаних джерел; назви додатків і номери сторінок, які містять початок матеріалу. В зміст не вносять титульний лист, індивідуальне завдання на КР та анотацію. Нумерація у змісті починається зі ВСТУПУ (відповідно до нумерації у пояснювальній записці). Сам зміст за нумерацією пояснювальної записки є четвертою сторінкою. Нумерація сторінок має бути наскрізною, охоплюючи додатки.

Назви заголовків змісту мають однозначно відповідати назвам заголовків пояснювальної записки за текстом. Формування змісту у текстовому документі бажано здійснювати автоматично.

#### **Приклад оформлення змісту:**

ВСТУП

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ...

1.1 Загальна характеристика ...

1.1.1 ...

.....

## 2 ЗАГОЛОВОК ДРУГОГО РОЗДІЛУ ....

### 2.1 Заголовки підрозділів

#### 2.1.1 ...

.....

## 3 ЗАГОЛОВОК ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ

### 3.1 Заголовки підрозділів

#### 3.1.1 ...

.....

## ВИСНОВКИ

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

## ДОДАТКИ

Додаток А Назва першого додатка

Додаток Б Назва другого додатка

.....

### **3.6 Вступ**

Вступ пишуть з нової пронумерованої сторінки з заголовком ВСТУП посередині великими літерами з більш високою насиченістю (жирністю) шрифту.

Текст вступу має бути коротким і висвітлювати питання актуальності, значення, сучасний рівень і призначення курсової роботи. У вступі і далі за текстом не дозволяється використовувати скорочені слова, терміни, крім загальноприйнятих. Якщо у вступі і далі за текстом використовується деяке загальноживане поняття у вигляді аббревіатури, то при першій появі цього поняття воно наводиться повністю, а поруч у дужках наводиться скорочення. При повторному використанні введеного поняття можна наводити лише скорочення у вигляді аббревіатури.

Вступ висвітлює:

- стан розвитку засобів моделювання в електроенергетичних системах (сучасні системи комп'ютерної математики, область застосування, переваги та недоліки тощо);
- галузь використання та призначення об'єкта дослідження;
- мету та загальну постановку задачі;
- об'єкт і предмет дослідження;
- актуальність, яка має подаватись в останньому абзаці вступу з метою стислого викладу суті обраних засобів моделювання та їх функцій, що дозволять ефективно вирішити поставлену задачу.

Обсяг вступу не має перевищувати 1–2 сторінок.

### **3.7 Вимоги до оформлення розділів та підрозділів**

**В першому** розділі здійснюється побудова математичної моделі для вирішення поставленої задачі. Приклад побудови математичної моделі приведено в додатку Б.

**В другому** розділі необхідно здійснити аналіз функцій з допомогою мови програмування Python, табличного редактора Google Spreadsheets та наукового записника Google Callaboratory. Також потрібно провести обґрунтування доцільності застосування цих інструментів для вирішення поставленої задачі. Результатом такого аналізу має бути мінімальний перелік функцій, що дозволить ефективно розв'язати поставлену задачу.

**Третій** розділ присвячений безпосередньому застосуванню обраних функцій програмного забезпечення для розв'язання поставленої задачі. Обов'язково повинен містити рисунки, що демонструють застосування засобів моделювання для розв'язання поставленої задачі, а також посилання на науковий блокнот, в якому здійснено обчислення

**В четвертому** розділі потрібно розглянути можливість застосування альтернативного програмного середовища, вказаного в завданні (додаток А, таблиця А3), дати його загальну характеристику та розглянути можливість застосування для розв'язання поставленої задачі, або її частини.

### **3.8 Висновки**

Висновки оформляють з нової пронумерованої сторінки, слово «ВИСНОВКИ» наводять посередині великими літерами більш високої насиченості.

У висновках наводяться основні результати роботи над КР. На основі проведених у роботі досліджень надаються обґрунтовані висновки щодо переваг і недоліків застосування різних засобів моделювання. Опис труднощів під час вибору оптимального варіанту програмного середовища та його функцій, труднощі відображення моделі чи проведення розрахунку.

### **3.9 Оформлення списку використаних джерел**

Список містить перелік літературних джерел, на які мають бути обов'язкові посилання в тексті пояснювальної записки. Література (книги, статті, патенти, журнали) в загальний список записується в порядку посилання на неї в тексті. В даному переліку дається оформлений, відповідно до ДСТУ 8302:2015, список тих джерел (книги, підручники, журнали, електронні адреси), які було використано в процесі виконання роботи та на які є посилання в тексті пояснювальної записки. Кожне

джерело має бути вказано разом з видавництвом, роком видання, кількістю сторінок. Літературу записують мовою оригіналу. В списку кожен літературний запис записують з абзацу, нумерують арабськими цифрами, починаючи з одиниці. Правильне оформлення певного джерела інформації можна переглянути у переліку літературних джерел. Якщо у списку використаних джерел є посилання на інтернет-сторінки, то їх потрібно наводити разом з назвою.

Приклади оформлення переліку використаних джерел різного характеру:

[https://vo.uu.edu.ua/pluginfile.php/717857/mod\\_resource/content/1/Prykladnyy\\_D\\_STU\\_8302\\_2015.pdf](https://vo.uu.edu.ua/pluginfile.php/717857/mod_resource/content/1/Prykladnyy_D_STU_8302_2015.pdf)

#### **Посилання на книги:**

1. Скидан О. В. Аграрна політика в період ринкової трансформації : монографія. Житомир : ЖНАЕУ, 2008. 375 с.

2. Крушельницька О. В., Мельничук Д. П. Управління персоналом : навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ : Кондор, 2005. 308 с.

3. Скидан О. В., Ковальчук О. Д., Янчевський В. Л. Підприємництво у сільській місцевості : довідник. Житомир, 2013. 321 с.

4. Доклінічні дослідження ветеринарних лікарських засобів / за ред. І. Я. Коцюмба. Львів : Тріада плюс, 2006. 360 с.

#### **Посилання на журнали:**

5. Яковчук В. П. Стратегічні пріоритети інноваційного розвитку підприємництва в аграрній сфері. *Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка. Сер. Економіка*. 2013. Вип. 148. С. 31–34.

#### **Посилання на вебсторінки, електронні джерела:**

6. Ілляшенко С. М., Шипуліна Ю. С. Товарна інноваційна політика : підручник. Суми : Університетська книга, 2007. 281 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/45671> (дата звернення: 07.08.25).

7. Про стандартизацію : Закон України від 11.02.2014 р. № 1315. Відомості Верховної Ради. 2014. № 31. ст. 1058. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1315-18> (дата звернення: 07.08.25).

8. Що таке органічні продукти і чим вони кращі за звичайні? Екологія життя : вебсайт. URL: <http://www.eco-live.com.ua> (дата звернення: 07.08.25).

### **3.10 Оформлення додатків**

Додатки мають містити матеріал, який не увійшов в основні розділи пояснювальної записки, презентацію до захисту КР, схеми взаємодії програм тощо. Кожен додаток необхідно починати з нової сторінки, вказуючи зверху посередині рядка слово «Додаток» і через пропуск – його позначення. Додатки позначають послідовно великими українськими літерами, за винятком літер Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь, наприклад, Додаток А, Додаток Б.

Кожен додаток може мати тематичний (змістовний) заголовок, який записують посередині рядка малими літерами з першої великої. Сторінки додатків нумеруються, продовжуючи загальну нумерацію пояснювальної записки. Всі додатки вносять у зміст, вказуючи номер додатка, заголовок і номер сторінки, з яких вони починаються. Приклад оформлення додатків можна переглянути у додатках до даних методичних вказівок.

## 4 ГРАФІК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ ТА ПОРЯДОК ЇЇ ЗАХИСТУ

Цей розділ встановлює рекомендований графік виконання роботи, що враховує самостійну роботу студентів протягом семестру, а також описує процедуру контролю та захисту.

### 4.1 Рекомендований графік виконання роботи

Для успішного та своєчасного виконання курсової роботи пропонується дотримуватись наступного поетапного плану, розрахованого на 12 тижнів.

Таблиця 4.1 – Графік виконання курсової роботи

Тижні	Етап	Зміст робіт та очікувані результати
1–2	Підготовчий етап	Отримання індивідуального завдання, вибір варіанта схеми та параметрів з Додатку А Затвердження теми та технічного завдання у керівника. Огляд рекомендованої літератури, збір теоретичного матеріалу для побудови моделей. Результат: Чітке розуміння задачі, затверджений план роботи.
3–5	Етап математичного моделювання	Побудова математичних моделей для Завдань 1 та 3: складання систем рівнянь за законами Кірхгофа, переведення їх у матричну форму ( $A \cdot x = b$ для постійного струму та $Z \cdot I' = E'$ для змінного). Детальний опис моделей, виведення рівнянь та пояснення позначень. Результат: Готовий матеріал для Розділу 1 пояснювальної записки.

Продовження таблиці 4.1

6–7	Етап програмної реалізації	Створення програмного коду на мові Python з використанням бібліотек NumPy та Matplotlib для розв'язання всіх трьох завдань. Реалізація розрахунку для параметричного аналізу (Завдання 2) та побудови 3D-графіка (Завдання 3). Результат: Працюючий програмний код, що реалізує всі математичні моделі. Матеріал для Розділів 2 та 3 пояснювальної записки.
8	Проміжна верифікація та звітність	Первинна перевірка отриманих результатів: порівняння з аналітичними розрахунками для простих випадків, валідація моделі змінного струму в онлайн-симуляторі. Усунення помилок у коді та моделях. Підготовка та надання керівнику проміжного звіту про виконану роботу (1-2 сторінки). Результат: Підтверджена коректність роботи моделей, отримання зворотного зв'язку від керівника.
9–10	Проведення експериментів та аналіз	Проведення серії розрахунків для Завдання 2 (змiна R1) та Завдання 3 (змiна E та R5). Збір та структурування отриманих даних. Перенесення даних в Google Таблиці та побудова графіка для Завдання 2. Результат: Набір фінальних даних, графіки, матеріал для аналізу та висновків.
11	Оформлення пояснювальної записки	Написання тексту всіх розділів, вступу та висновків. Оформлення пояснювальної записки згідно з вимогами ДСТУ 3008:2015 та вказівками з Розділу 3 цього посібника (шрифти, відступи, нумерація, оформлення формул, рисунків, таблиць). Формування списку використаних джерел та додатків. Результат: Повністю готова пояснювальна записка.
12	Фіналізація та підготовка до захисту	Підготовка презентації для захисту (до 10 хв), що містить мету, постановку задачі, ключові результати та висновки. Репетиція доповіді. Подача фінальної версії роботи в електронному вигляді (формати PDF/A та .docx) та архіву з вихідними файлами. Результат: Робота здана на перевірку, студент готовий до захисту.

## 4.2 Порядок контролю та захисту роботи

Попередній контроль. Готовність роботи до захисту визначається керівником на основі планових перевірок якості окремих розділів та фінальної версії пояснювальної записки. Якщо робота відповідає вимогам і не містить принципових помилок, керівник надає допуск до захисту. В іншому випадку, робота повертається на доопрацювання у визначений термін.

Захист. Захист курсової роботи відбувається перед комісією у складі двох викладачів, призначених кафедрою. Процедура включає усну доповідь студента з презентацією та відповіді на запитання комісії.

Терміни подачі. Робота має бути здана у терміни, встановлені графіком кафедри. Несвоєчасна здача без поважної причини (підтвердженої документально) призводить до зниження підсумкової оцінки.

Таблиця 4.2 – Критерії оцінювання курсової роботи

Рівень компетентності	За бальною шкалою	За шкалою ЄКТС	Критерії оцінювання
IV Високий (творчий)	90-100	A	КР виконано якісно, без помилок, при відповіді на питання здобувач вищої освіти виявляє всебічні, систематизовані, глибокі знання змісту КР, змісту й алгоритму робіт на усіх етапах виконання КР у відповідності з індивідуальним завданням, вільне орієнтування в джерелах інформації і нормативних документах, навички роботи з технічною документацією на рівні творчого використання.
III Достатній (конструктивний)	82-89	B	КР виконано якісно, без суттєвих помилок. Повні знання з поставлених питань і задач. Уміння викладати основні ідеї та результати. Уміння професійно відстоювати свій погляд. Допускаються несуттєві неточності у викладенні матеріалу та у відповідях.
	75-81	C	КР / КП виконано з незначними помилками. Достатньо повні знання з поставлених питань і задач. Уміння викладати основні ідеї та результати. Здатність самостійно застосовувати матеріал на рівні стандартних ситуацій, наводити власні приклади на підтвердження власних тверджень. Уміння доводити правильність своїх рішень.

Продовження таблиці 4.2

II Середній (репродуктивний)	64-74	D	У КР допущена одна суттєва помилка. Здобувач вищої освіти може відтворити значну частину опрацьованого матеріалу й отриманих результатів, виявляє знання та розуміння основних положень, з допомогою викладача може аналізувати матеріал та робити висновки. Пояснення неповні, не завжди точні.
	60-63	E	У КР допущено дві суттєвих помилки. Задовільні знання матеріалу на рівні, вищому за початковий. Здатність з допомогою викладача логічно відтворювати значну частину матеріалу і отриманих результатів. Дає відповіді не на всі запитання, або відповіді неповні, містять неточності
I Низький	35-59	FX	У КР виявлено більше двох суттєвих помилок. Здобувач вищої освіти володіє теоретичним матеріалом на фрагментарному рівні, викладає матеріал і результати курсового проектування уривчасто, з помилками. Не може обґрунтувати прийняті конструкторські або проєктні рішення, на запитання комісії дає неправильні відповіді (40–60 %), або відповіді й пояснення не дають змоги оцінити знання і навички
	0-34	F	У КР / КП виявлено більше двох суттєвих помилок. Теорією володіє на рівні фрагментів, викладає матеріал уривчасто. Не може обґрунтувати прийняті рішення, на запитання викладача дає неправильні відповіді (60–100 %).

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Россум Г. Підручник мови Python [Електронний ресурс]. URL: [http://docs.linux.org.ua/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F/Python/%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B8\\_Python/](http://docs.linux.org.ua/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F/Python/%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B8_Python/) (дата звернення: 07.08.25).
2. Downey A. B. Modeling and Simulation in Python: An Introduction for Scientists and Engineers. San Francisco : No Starch Press, 2023. P. 248. URL: <https://allendowney.github.io/ModSimPy/> (дата звернення: 07.08.25).
3. Бхаргава А. Грожаємо алгоритми. Київ : ArtHuss, 2023. 286 с.
4. Павлюченко Н. Онлайн курс Programming101 Основи програмування. URL: [https://courses.prometheus.org.ua/courses/KPI/Programming101/2015\\_T1/infoPrometheus](https://courses.prometheus.org.ua/courses/KPI/Programming101/2015_T1/infoPrometheus) (дата звернення: 07.08.25).
5. Програмування числових методів мовою Python / А. В. Анісімов та ін. Київ : Київський університет, 2014. 640 с.
6. Robitaille T. Python for Scientists. URL: <https://astrofrog.github.io/py4sci/> (Last accessed: 07.08.2025).
7. Iyer S. Simulating Nonlinear Circuits with Python Power Electronics. Springer, 2018. 215 с.
8. Створення і редагування Google Таблиці. Віртуальна школа ІКТ. URL: <http://i-math.com.ua/vsikt/stvorennya-i-redaguvannya-google-tablici/> (дата звернення: 07.08.25).
9. 18+ Кращих Уроків по Google Таблицям 2018 року. Business Envato Tuts+ URL: <https://business.tutsplus.com/uk/tutorials/best-google-sheets-spreadsheet-tutorials-for-2018--cms-31125> (дата звернення: 07.08.25).
10. Для чайників. Умове форматування в Microsoft Excel та Google таблицях. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=2p82Bw9kbQI> (дата звернення: 07.08.25).
11. Як зробити графік у Google Таблицях – TheFastCode. URL: <https://www.thefastcode.com/uk-uah/article/how-to-make-a-graph-in-google-sheets?> (дата звернення: 07.08.25).
12. Spady L. Matrices in Google Sheets. URL: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=pjYb2e3GJ8o> (Last accessed: 07.08.2025).
13. Штофель Д. Положення про курсове проектування у Вінницькому національному технічному університеті. Вінниця : ВНТУ, 2024. 52 с. URL: <https://vntu.edu.ua/uploads/2024/StateofKurs.pdf> (дата звернення: 07.08.2025).

## **ДОДАТКИ**

## Додаток А

### Варіанти завдань на курсову роботу

Варіанти завдань обираються згідно таблиці А1.

#### **Завдання 1: Розрахунок електричного кола постійного струму**

**Мета:** Розробити та програмно реалізувати математичну модель для аналізу статичного режиму роботи електричного кола постійного струму.

#### **Кроки виконання:**

**1. Побудова математичної моделі (для розділу 1 Пояснювальної записки):**

– **Вихідні дані:** Оберіть вашу схему (згідно з номером варіанта) з Таблиці А2 та відповідні параметри (E, R1-R5) з Таблиці А1.

– **Формалізація:** На основі обраної схеми складіть систему лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР)

– **Матрична форма:** Запишіть отриману систему рівнянь у матричній формі  $A \cdot x = b$ , де  $A$  – матриця опорів (або провідностей),  $x$  – вектор невідомих струмів (або потенціалів),  $b$  – вектор джерел ЕРС (або струмів). Чітко опишіть, що означає кожен елемент матриць.

**2. Програмна реалізація (для розділів 2 та 3 Пояснювальної записки):**

– **Інструменти:** Використовуйте мову програмування **Python** та бібліотеку **NumPy**.

– **Алгоритм:**

1. Ініціалізуйте вхідні параметри (ЕРС та опори) відповідно до вашого варіанта.

2. Сформуйте матрицю  $A$  та вектор  $b$  у програмному коді.

3. Розв'яжіть систему рівнянь  $A \cdot x = b$  за допомогою функції `numpy.linalg.solve(A, b)`.

4. На основі знайденого вектора  $x$  (контурних струмів або вузлових потенціалів) обчисліть струми у всіх вітках схеми.

5. Використовуючи закон Ома, розрахуйте спади напруг на кожному елементі кола ( $U_R = I \cdot R$ ).

**3. Представлення результатів:**

– Подайте результати у вигляді таблиці, де для кожного елемента (R1...R5) вказано розраховані значення струму та спаду напруги з відповідними одиницями вимірювання (A, V).

– Проведіть перевірку коректності розрахунків, підтвердивши виконання першого та другого законів Кірхгофа на основі отриманих значень.

## Завдання 2: Аналіз залежності параметрів та візуалізація

**Мета:** Дослідити вплив зміни одного з параметрів на стан електричного кола та візуалізувати отриману залежність.

### Кроки виконання:

#### 1. Модифікація програми для параметричного аналізу:

– Алгоритм: На основі програми з **Завдання 1** організуйте цикл (наприклад, **for** або **while**) для ітеративної зміни опору **R1** в діапазоні від 20 до 250 Ом.

– Дискретизація: Кількість кроків у циклі має бути не менше 15. Розрахуйте крок зміни опору, щоб забезпечити потрібну кількість точок.

– Розрахунок: На кожній ітерації циклу виконуйте повний розрахунок схеми (крок 2 з Завдання 1) та зберігайте отримане значення струму у вітці з опором **R2**.

#### 2. Експорт та візуалізація даних (для розділу 3 Пояснювальної записки):

– **Експорт:** Виведіть результати розрахунків (пари значень "Опір R1, Ом" та "Струм I2, A") у форматі, зручному для копіювання.

#### – Візуалізація:

1. Перенесіть отримані дані до **Google Таблиць**.
2. Побудуйте графік залежності струму від опору I2(R1).
3. Оформіть графік згідно з вимогами: підпишіть осі (із зазначенням одиниць вимірювання), додайте назву графіка.

## Завдання 3: Моделювання кола змінного струму та 3D-візуалізація

**Мета:** Адаптувати модель для аналізу кіл змінного струму з використанням комплексних чисел та провести поглиблений аналіз чутливості з 3D-візуалізацією.

### Кроки виконання:

#### 1. Побудова нової схеми та моделі (для розділу 1 Пояснювальної записки):

#### – Трансформація схеми:

1. Замініть опір R1 на комплексний опір  $Z1=25+j38$  Ом (послідовно з'єднані резистор 25 Ом та котушка індуктивності).

2. Замініть опір R4 на комплексний опір  $Z4=63-j28$  Ом (послідовно з'єднані резистор 63 Ом та конденсатор).

– **Візуалізація:** Створіть нову принципову схему кола змінного струму за допомогою графічного редактора (наприклад, **Google Фото**), використовуючи стандартні позначення для індуктивності та ємності.

– **Математична модель:** Переформулюйте матричне рівняння  $A \cdot x = b$  у комплексному вигляді  $Z \cdot I = E$ , де  $Z$  – матриця комплексних опорів,  $I$  – вектор комплексних діючих значень струмів,  $E$  – вектор комплексних діючих значень ЕРС.

## **2. Програмний розрахунок з комплексними числами (для розділу 3 Пояснювальної записки):**

– **Інструменти:** Використовуйте **Python** та **NumPy**, які підтримують операції з комплексними числами.

– **Алгоритм:**

1. Задайте елементи матриці  $Z$  та вектора  $E$  як комплексні числа.
2. Розв'яжіть систему, як і в **Завданні 1**, для знаходження комплексних значень струмів.
3. Для кожного струму визначте його діюче значення (модуль комплексного числа, функція `numpy.abs()`).

## **3. Побудова 3D-графіка залежності (для розділу 3 Пояснювальної записки):**

– **Мета:** Візуалізувати залежність діючого значення струму у вітці з опором  $R_2$  від діючого значення ЕРС джерела ( $E$ ) та значення опору  $R_5$ .

– **Інструменти:** Використовуйте бібліотеки **NumPy** та **Matplotlib**.

– **Алгоритм:**

1. Створіть діапазони значень для ЕРС (від 5 до 30 В) та опору  $R_5$  (від 40 до 100 Ом).
2. Сформууйте сітку параметрів за допомогою `numpy.meshgrid`.
3. Напишіть функцію, яка приймає на вхід значення  $E$  та  $R_5$  і повертає діюче значення струму  $I_2$ .
4. Застосуйте цю функцію до сітки параметрів для отримання масиву значень струму.
5. Побудуйте 3D-поверхню за допомогою `ax.plot_surface()` з `matplotlib.pyplot`, де осями будуть  $E$ ,  $R_5$  та  $I_2$ .
6. Обов'язково підпишіть всі осі графіка.

## **4. Верифікація результатів:**

– **Інструмент:** Використайте онлайн-симулятор [Falstad Circuit Simulator](#).

– **Процедура:**

1. Зберіть у симуляторі схему змінного струму, розраховану в п.1. Для визначення значень індуктивності ( $L$ ) та ємності ( $C$ ) з реактивних опорів ( $X_L, X_C$ ) використовуйте стандартну частоту 50 Гц:  $L = X_L / (2\pi f)$ ,  $C = 1 / (2\pi f X_C)$ .
2. Встановіть параметри всіх елементів відповідно до завдання.
3. Проведіть симуляцію та зафіксуйте діючі значення струмів у вітках.
4. **Порівняйте** значення, отримані в симуляторі, з результатами ваших програмних розрахунків (п.2). Зробіть висновок про точність вашої моделі.

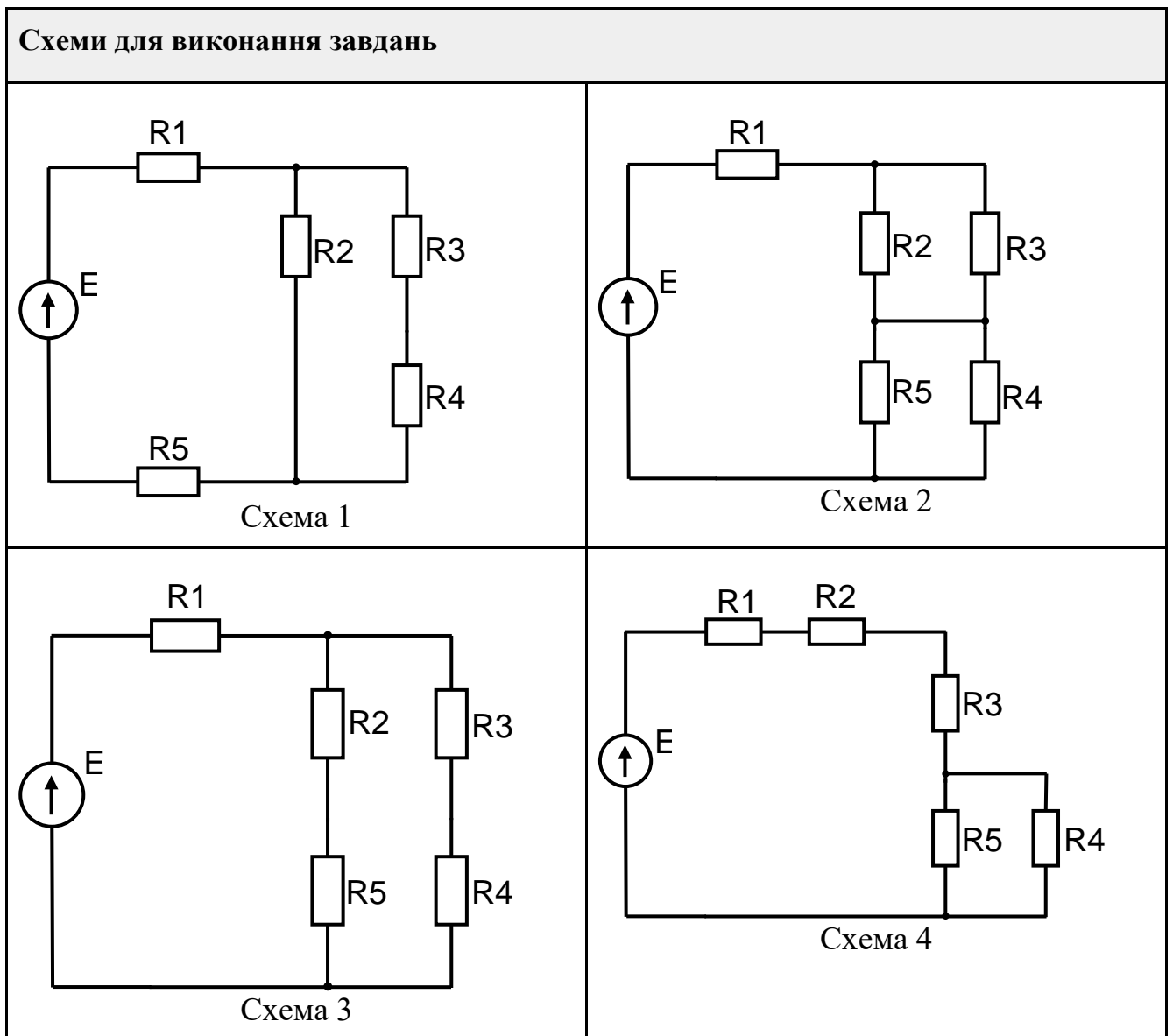
Таблиця А1 – Значення параметрів електричних кіл для виконання курсової роботи

<b>Варіант</b>	<b>Схема</b>	<b>Е, В</b>	<b>R1, Ом</b>	<b>R2, Ом</b>	<b>R3, Ом</b>	<b>R4, Ом</b>	<b>R5, Ом</b>
<b>1</b>	1	10	5	10	15	20	25
<b>2</b>	2	15	10	15	20	25	5
<b>3</b>	3	20	15	20	25	5	10
<b>4</b>	4	25	20	25	30	35	40
<b>5</b>	5	30	10	20	30	50	70
<b>6</b>	6	35	5	10	15	20	25
<b>7</b>	7	40	10	15	20	25	5
<b>8</b>	8	45	15	20	25	5	10
<b>9</b>	9	50	20	25	30	35	40
<b>10</b>	10	45	10	20	30	50	70
<b>11</b>	11	40	5	10	15	20	25
<b>12</b>	12	35	10	15	20	25	5
<b>13</b>	13	30	15	20	25	5	10
<b>14</b>	14	25	20	25	30	35	40
<b>15</b>	1	20	10	20	30	50	70
<b>16</b>	2	15	5	10	15	20	25
<b>17</b>	3	10	10	15	20	25	5
<b>18</b>	4	15	15	20	25	5	10
<b>19</b>	5	20	20	25	30	35	40
<b>20</b>	6	25	10	20	30	50	70
<b>21</b>	7	30	5	10	15	20	25
<b>22</b>	8	35	10	15	20	25	5
<b>23</b>	9	40	15	20	25	5	10

Продовження таблиці А1

Варіант	Схема	Е, В	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом	R5, Ом
24	10	45	20	25	30	35	40
25	11	50	10	20	30	50	70
26	12	45	50	80	100	150	200
27	13	40	200	50	100	150	10
28	14	35	25	50	75	100	150

Таблиця А2 – Варіанти схем для моделювання електричних кіл



Схеми для виконання завдань

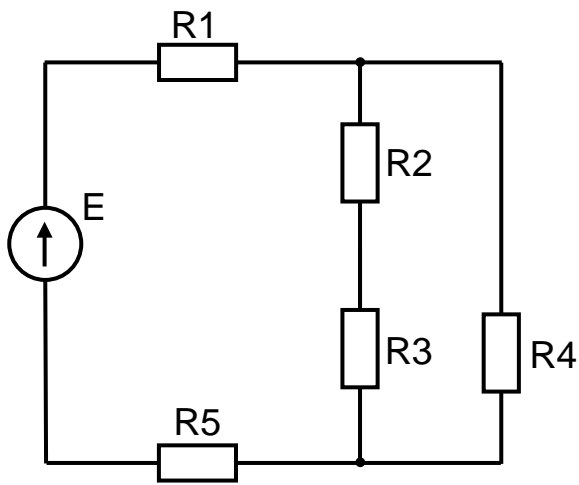


Схема 5

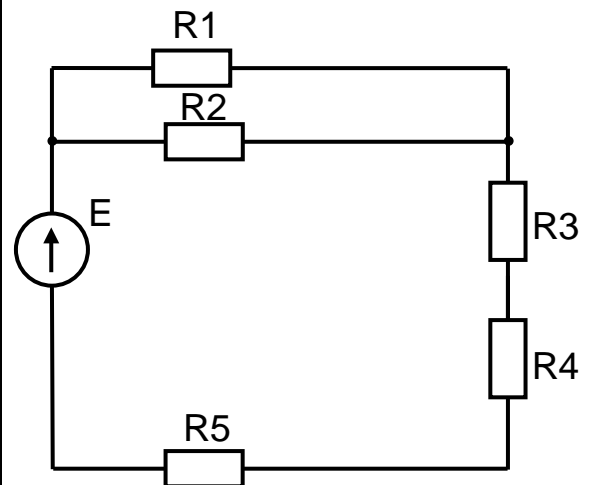


Схема 6

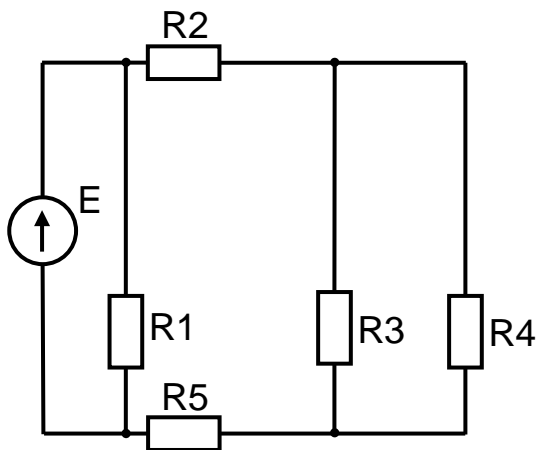


Схема 7

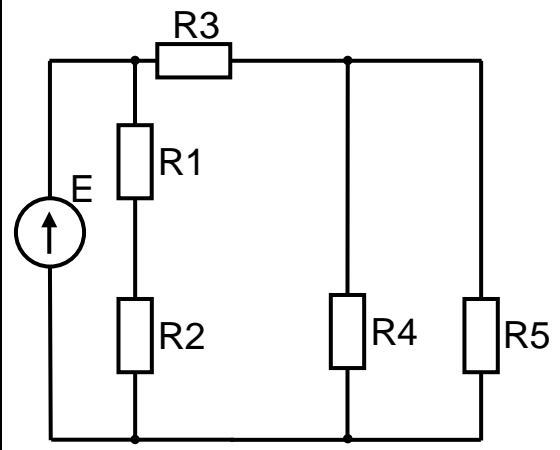


Схема 8

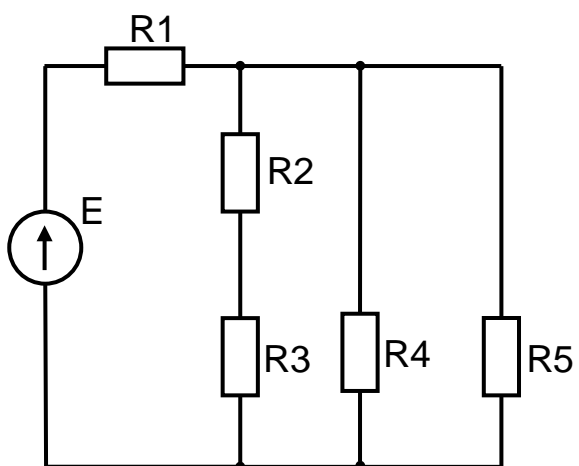


Схема 9

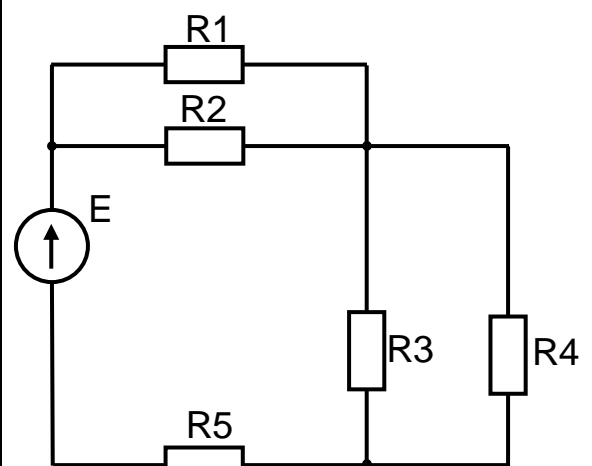


Схема 10

Схеми для виконання завдань

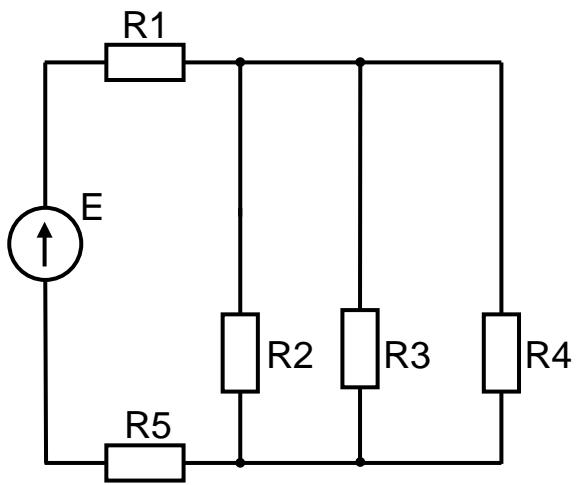


Схема 11

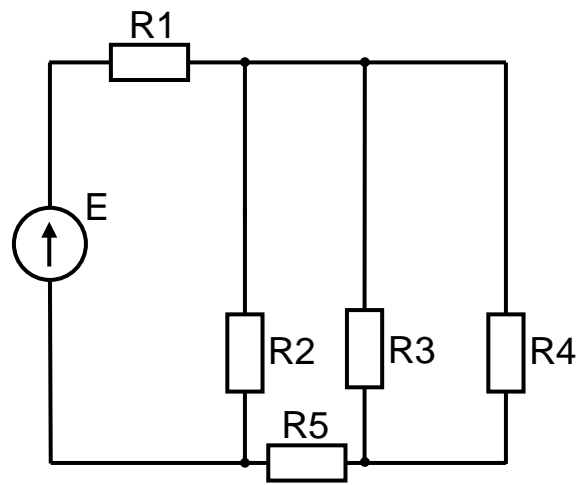


Схема 12

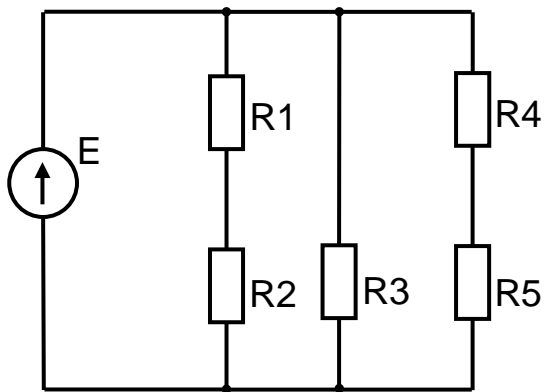


Схема 13

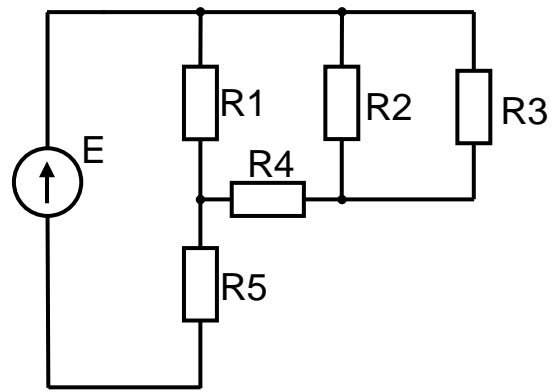


Схема 14

## Додаток Б Приклад розрахунків

### Завдання 1

Розглянемо схему спрощеного електричного кола (рис. Б.1):

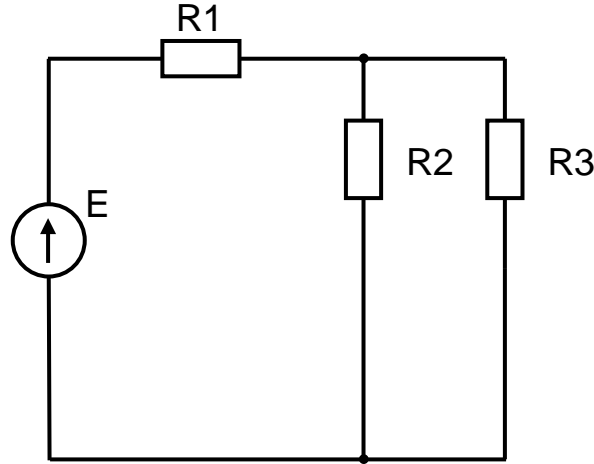


Рисунок Б.1 – Електрична схема для прикладу розрахунків

Розробимо математичну модель для визначення струмів та спадів напруг.

Спочатку визначаємо еквівалентні опори кола:

1. Еквівалентний опір ділянки з двома паралельно з'єднаними резисторами:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}. \quad (\text{Б.1})$$

2. Еквівалентний опір всього кола:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_{23}. \quad (\text{Б.2})$$

3. Визначимо струм, що протікає через опір  $R_1$ :

$$I_1 = \frac{E}{R_{\Sigma}}. \quad (\text{Б.3})$$

4. Знайдемо спади напруг на ділянках кола:

$$\Delta U_1 = I_1 \cdot R_1, \quad (\text{Б.4})$$

$$\Delta U_{23} = I_1 \cdot R_{23}. \quad (\text{Б.5})$$

5. Знайдемо струми  $I_2$  та  $I_3$ :

$$I_2 = \frac{\Delta U_{23}}{R_2}, \quad I_3 = \frac{\Delta U_{23}}{R_3}. \quad (\text{Б.6})$$

Перевірка правильності розрахунків згідно першого та другого законів Кірхгофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0, \quad (\text{Б.7})$$

$$E - \Delta U_1 - \Delta U_{23} = 0. \quad (\text{Б.8})$$

Згідно розробленої математичної моделі створимо програму мовою програмування Python в онлайн редакторі Google Colab (рис. Б.2, Б.3):

## Завдання 1

Початкові умови

```
E = 10  
R1 = 50  
R2 = 30  
R3 = 15
```

Обчислення еквівалентних опорів

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3};$$

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_{23}$$

```
R23 = R2 * R3 / (R2 + R3)  
R_sum = R1 + R23  
print("R23 = %4.2f Ом\nR_sum = %4.2f Ом" % (R23, R_sum))
```

```
↻ R23 = 10.00 Ом  
R_sum = 60.00 Ом
```

Розрахунок струму

$$I_1 = \frac{E}{R_{\Sigma}}$$

```
I1 = E / R_sum  
print ("I1 = %5.2f A" %I1)
```

```
↻ I1 = 0.17 A
```

Рисунок Б.2 – Приклад оформлення завдання 1 в блокноті Google Colab

Розрахунок спадів напруг

$$\Delta U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$\Delta U_{23} = I_1 \cdot R_{23}$$

```
dU1 = I1 * R1
dU23 = I1 * R23
print("dU1 = %4.2f V \ndU23 = %4.2f V" % (dU1, dU23))
```

```
↔ dU1 = 8.33 V
   dU23 = 1.67 V
```

Розрахунок струмів

$$I_2 = \frac{\Delta U_{23}}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{\Delta U_{23}}{R_3}$$

```
▶ I2 = dU23 / R2
  I3 = dU23 / R3
print("I2 = %4.2f A \nI3 = %4.2f A" % (I2, I3))
```

```
↔ I2 = 0.06 A
   I3 = 0.11 A
```

Перевірка правильності розрахунків

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$E - \Delta U_1 - \Delta U_{23} = 0$$

```
print("Перевірка згідно першого закону Кірхгофа I1 - I2 - I3 = %5.2f " % (I1 - I2 - I3))
print("Перевірка згідно другого закону Кірхгофа E - dU1 - dU2 = %5.2f " % (E - dU1 - dU23))
```

```
↔ Перевірка згідно першого закону Кірхгофа I1 - I2 - I3 = 0.00
   Перевірка згідно другого закону Кірхгофа E - dU1 - dU2 = 0.00
```

Рисунок Б.3 – Приклад оформлення завдання 1 в блокноті Google Colab

## Завдання 2

Розробимо програму для визначення струму  $I_2$  при зміні опору  $R_1$  від 20 до 250 Ом з кроком 15 Ом. Для виконання розрахунків використаємо оператор циклу `while` (рис. Б.4):

```

E = 10
R1 = 20
R2 = 30
R3 = 15
print("  R1      I2 \n =====")
while R1 <= 250:
    R23 = R2 * R3 / (R2 + R3)
    R_sum = R1 + R23
    I1 = E / R_sum
    dU23 = I1 * R23
    I2 = dU23 / R2
    print("%5d ;   %5.3f" % (R1, I2))
    R1 = R1 + 15

```

R1	I2
20	0.111
35	0.074
50	0.056
65	0.044
80	0.037
95	0.032
110	0.028
125	0.025
140	0.022
155	0.020
170	0.019
185	0.017
200	0.016
215	0.015
230	0.014
245	0.013

Рисунок Б.4 – Приклад програми для обчислення залежності струму  $I_2$  від опору  $R_1$

Перенесемо отримані дані в табличний редактор (рис. Б.5) Google Spreadsheets (Google Таблиці):

B	C
R1	I2
20	0,11
35	0,07
50	0,06
65	0,04
80	0,04
95	0,03
110	0,03
125	0,03
140	0,02
155	0,02
170	0,02
185	0,02
200	0,02
215	0,02
230	0,01
245	0,01

Рисунок Б.5 – Перенесені дані в табличному редакторі

Розробимо програму для побудови графіка залежності  $I_2(R_1)$  (рис. Б.6).

```
import matplotlib.pyplot as plt

E = 10
R1 = 20
R2 = 30
R3 = 15
R_1 = []
I_2 = []

while R1 <= 250:
    R_1.append(R1)
    R23 = R2 * R3 / (R2 + R3)
    R_sum = R1 + R23
    I1 = E / R_sum
    dU23 = I1 * R23
    I2 = dU23 / R2
    I_2.append(I2)
    R1 = R1 + 10

plt.plot(R_1, I_2, 'b.-') # графік синього кольору з круглими точками та цільною лінією
plt.grid() #включаємо сітку
plt.xlabel("R_1") #підпис осі X
plt.ylabel("I_2") #підпис осі Y
plt.title("Графік I2(R1)") #підпис графіка
```

Рисунок Б.6 – Приклад програми для побудови графіка залежності  $I_2(R_1)$

Побудуємо в табличному редакторі графік залежності  $I_2(R_1)$  (рис. Б.7):

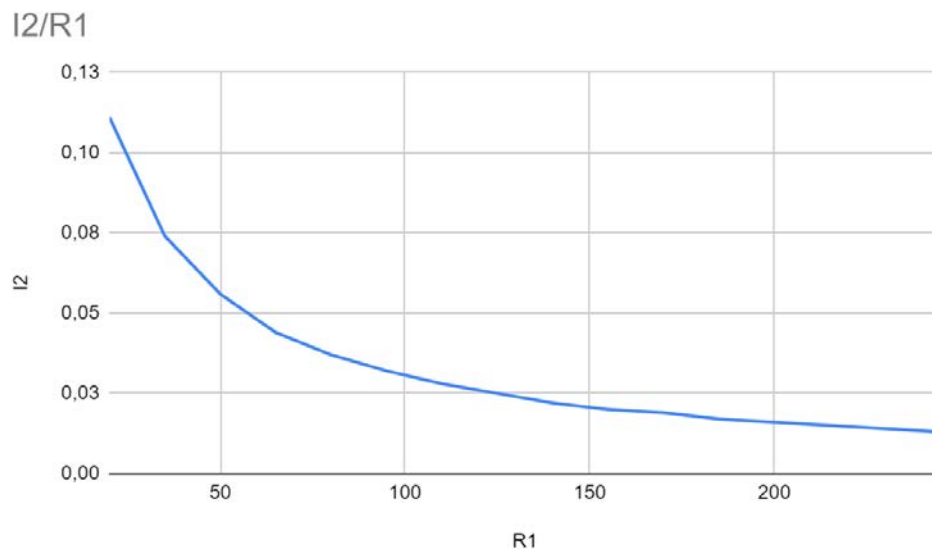


Рисунок Б.7 – Графік залежності  $I_2(R_1)$

### Завдання 3

Замінімо значення опорів на комплексні значення та розрахуємо струми, використавши отримані у попередньому завданні залежності (рис. Б.8, Б.9).

```
E = 10
R1 = 25 + 38j
R2 = 30
R3 = 60 - 28j
R23 = 1 / (1/R2 + 1/R3)
R_sum = R1 + R23
I1 = E / R_sum
dU1 = I1 * R1
dU23 = I1 * R23
I2 = dU23 / R2
I3 = dU23 / R3
print(" dU1 = %5.2f%+6.2fj V\ndU23 = %5.2f%+6.2fj V" % (dU1.real, dU1.imag, dU23.real, dU23.imag))
print(" I1 = %5.2f%+6.2fj A\n I2 = %5.2f%+6.2fj A\n I3 = %5.2f%+6.2fj A" % (I1.real, I1.imag, I2.real, I2.imag, I3.real, I3.imag))
```

```
dU1 = 7.43 +2.59j V
dU23 = 2.57 -2.59j V
I1 = 0.14 -0.11j A
I2 = 0.09 -0.09j A
I3 = 0.05 -0.02j A
```

Рисунок Б.8 – Приклад програми для розрахунку комплексних опорів

Для використання матричних методів вирішення СЛАП складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0 \\ I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 = E \\ I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3 = 0 \end{cases}$$

В матричній формі ця система може бути записана так:

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ R_1 & R_2 & 0 \\ 0 & R_2 & -R_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ E \\ 0 \end{pmatrix} \text{ або } \mathbf{R} \times \mathbf{I} = \mathbf{E}$$

Вирішення такої системи рівнянь буде:

$$\mathbf{I} = \mathbf{R}^{-1} \times \mathbf{E},$$

де  $\mathbf{R}^{-1}$  - обернена матриця

```
import numpy as np
#np.set_printoptions(precision = 3, formatter={'all':lambda x: str(x)})

E = 10
R1 = 25 + 38j
R2 = 30
R3 = 60 - 28j

R = np.array([
    [ 1, -1, -1],
    [R1, R2, 0],
    [0, R2, -R3]
])

E1 = np.array([0, E, 0])

OR = np.linalg.inv(R)

I = np.matmul(OR, E1)
print("complex value of currents: ", np.array2string(I, formatter={'complexfloat': lambda x: "%4.2f%+4.2fj" % (x.real, x.imag) }))
print("RMS value of currents: I1 = %5.3f, I2 = %5.3f, I3 = %5.3f" % ((abs(I[0]), abs(I[1]), abs(I[2]))))
```

```
complex value of currents: [0.14-0.11j 0.09-0.09j 0.05-0.02j]
RMS value of currents: I1 = 0.173, I2 = 0.122, I3 = 0.055
```

Рисунок Б.9 – Приклад програми для розрахунку в матричній формі

Перевіримо розв'язок за першим законом Кірхофа (рис. Б.10):

```
print(np.array2string(I[0]-I[1]-I[2], formatter={'complexfloat': lambda x: "%4.2f%+4.2fj" % (x.real, x.imag) }))  
0.00+0.00j
```

Рисунок Б.10 – Приклад програми для перевірки за першим законом Кірхофа

Перевіримо розв'язок, чи виконується рівність у матричному рівнянні (рис. Б.11).

```
print(np.array2string(np.matmul(R, I),formatter={'complexfloat': lambda x: "%4.2f%+4.2fj" % (x.real, x.imag) }))  
[0.00+0.00j 10.00+0.00j -0.00+0.00j]
```

Рисунок Б.11 – Приклад програми для перевірки матричного методу розрахунку

Перевірка виконана, отже, зроблені розрахунки вірні.

Для побудови 3D графіка залежності струму I2 від ЕРС та опору R3 розробимо програму, використавши функцію plot\_surface бібліотеки matplotlib (рис. Б.12, Б.13):

```
import matplotlib.pyplot as plt  
import numpy as np  
  
def I2calculate(E,R3): # функція визначення струму I2 в залежності від E та R3, які є аргументами функції  
    R1 = 25 + 38j  
    R2 = 30  
    R23 = 1/ (1/R2 + 1/R3)  
    R_sum = R1 + R23  
    I1 = E / R_sum  
    dU1 = I1 * R1  
    dU23 = I1 * R23  
    I2 = dU23 / R2  
    return np.abs(I2)  
  
E = np.arange(1,30,1) #значення E змінюється від 1 до 30 з кроком 1  
R3 = np.arange(1,100,1) #значення R3 змінюється від 1 до 100 з кроком 1  
E, R3 = np.meshgrid(E, R3)  
I2 = I2calculate(E,R3)  
  
ax = plt.figure().add_subplot(projection='3d')  
ax.set_title('графік I2 (E,R3)')  
ax.set_xlabel("E")  
ax.set_ylabel("R3")  
surf = ax.plot_surface(E, R3, I2)  
plt.show()
```

Рисунок Б.12 – Приклад програми для побудови графіка залежності I2(E, R3)

графік I2 (E,R3)

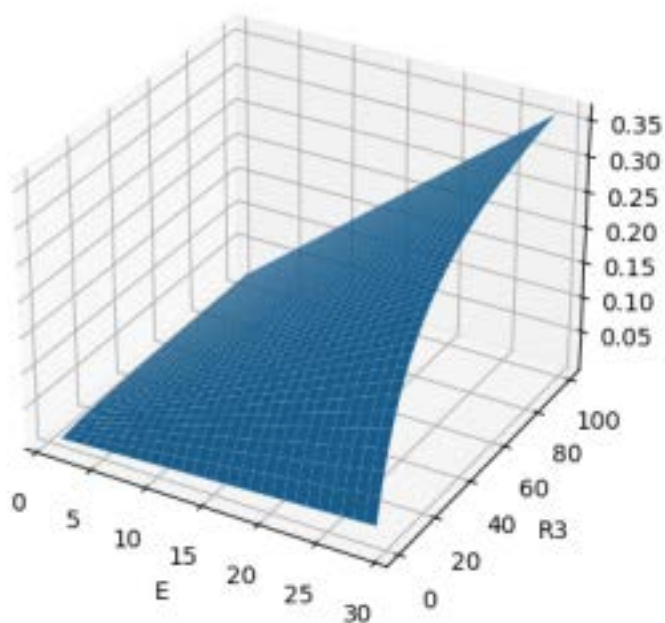


Рисунок Б.13 – Отриманий графік залежності  $I_2(E, R_3)$

Проведемо моделювання електричного кола в онлайн симуляторі, перевіримо правильність попередніх розрахунків. Дослідити схему можна за [посиланням](#) (рис. Б.14).

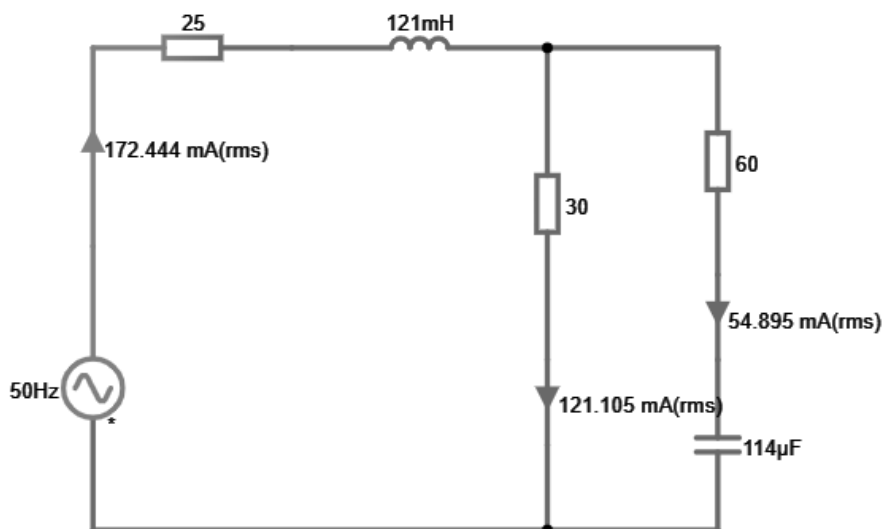


Рисунок Б.14 – Схема для проведення дослідів в симуляторі

Отримані в симуляторі значення струмів збігаються з розрахованими значеннями, що свідчить про правильність розрахунків та схеми емуляції.

**Додаток В**  
**Приклад оформлення титульного аркуша**  
**курсової роботи**

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного  
менеджменту

**КУРСОВА РОБОТА**

з дисципліни «Засоби моделювання в електротехнічних системах»  
на тему: «Застосування сучасних засобів моделювання для розв'язання задач  
електроенергетики»  
08-17.ЗМЕС.10.00.000 ПЗ

Виконав: студент 1 курсу групи ЗЕЕ-256  
спеціальності G3 Електрична інженерія  
Іван ІВАНОВИЧ

Керівник к.т.н., доцент каф.  
ЕСЕЕМ Олександр КРАВЕЦЬ

Кількість балів: \_\_\_\_\_

Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Члени комісії \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(підпис)

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(підпис)

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. ВІННИЦЯ – 202\_ рік

**Додаток Г**  
**Приклад оформлення змісту**

**ЗМІСТ**

ВСТУП .....	5
1 ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ У КОЛАХ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ .....	6
1.1 Формування математичної моделі електричного кола .....	6
1.2 Розробка програми мовою програмування Python для визначення шуканих параметрів .....	8
2 ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ПАРАМЕТРІВ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ.....	11
2.1 Визначення параметрів кола постійного струму при зміні одного з параметрів у заданих межах.....	11
2.2 Побудова графіків з допомогою редактора Google Таблиці .....	13
3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КІЛ ЗМІННОГО СТРУМУ.....	15
3.1 Використання графічних інструментів для відображення принципів електричних схем .....	15
3.2 Визначення параметрів кіл змінного струму з використанням комплексних чисел.....	16
3.3 Побудова 3D графіків з використанням бібліотеки Matplotlib.....	17
3.4 Моделювання електричних кіл з допомогою спеціалізованих інструментів .....	18
ВИСНОВКИ .....	22
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	23
ДОДАТКИ .....	26
Додаток А – Технічне завдання.....	27

**Додаток Д**  
**Приклад оформлення індивідуального завдання**

Міністерство освіти та науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. каф. ЕСЕЕМ проф. д.т.н.  
Бурбело М. Й.

\_\_\_\_\_  
(підпис)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ**

на курсову роботу

з дисципліни «Засоби моделювання в електротехнічних системах»  
студенту \_\_\_\_\_ факультету ЕЕЕМ групи \_\_\_\_\_

1. *Тема курсової роботи: Застосування сучасних засобів моделювання для розв'язання задач електроенергетики*

Вихідні дані:

- принципова схема кола постійного струму;
- дані про параметри схеми та їх зміну;
- дані щодо сучасних засобів моделювання.

**Зміст пояснювальної записки до курсової роботи**

Анотація

Індивідуальне завдання

Вступ

1. Побудова математичної моделі для визначення струмів у колах постійного струму
2. Визначення взаємної залежності параметрів кіл постійного струму. Побудова графіків
3. Визначення параметрів кіл змінного струму

Висновки

Етапи виконання роботи

Зміст етапу	Термін виконання
1. Збір інформації, яка необхідна для проєктування	
2. Проведення проєктних розрахунків	
3. Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист курсового проєкту	

Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник

(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Завдання отримав

(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

*Електронне навчальне видання*

**Олександр Миколайович Кравець  
Денис Юрійович Лебедь**

**Методичні вказівки до виконання курсових робіт з  
дисципліни «Засоби моделювання в електротехнічних  
системах» зі спеціальності «Електрична інженерія»**

Рукопис оформив Д. Лебедь

Редактор Н. Кравчук

Оригінал-макет підготовлено О. Кравець

Підписано до видання 31.10.2025 р.  
Гарнітура Times New Roman.  
Зам. № P2025-154

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет,  
Редакційно-видавничий відділ.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
**press.vntu.edu.ua;**  
Email: rvv.vntu@gmail.com  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.