

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1  
ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНОГО ЛІНІЙНОГО КОЛА  
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: навчитися визначати ЕРС джерела живлення, його внутрішній опір; експериментально перевірити основні закони електричних кіл і методи їх розрахунків.

1.1 Теоретичні відомості.

Електричне коло – це сукупність пристроїв, що утворюють шлях для проходження електричного струму, електромагнітні процеси в яких можна описати за допомогою понять про електрорушійну силу, струм і напругу. Призначення електричного кола полягає в виробленні, передачі, розподілі і взаємному перетворенні електромагнітної енергії і деяких інших видів енергії. Елементи електричного кола – це окремі пристрої, що входять до складу кола та виконують в ньому певні функції. Основні елементи електричних кіл – джерела і споживачі електричної енергії. У споживачах електрична енергія перетворюється у теплову, механічну, світлову та інші види енергії. В джерелах – теплова, механічна, світлова, хімічна енергія перетворюється в електричну. У процесі перетворення різних видів енергії в електричну у джерелі виникає ЕРС (електрорушійна сила), яка спричинює електричний струм у замкненому колі. В ході цього перетворення частина енергії втрачається в самому джерелі. Тому джерела характеризуються двома параметрами – ЕРС  $E$  та внутрішнім опором  $R_0$ . Споживачі енергії характеризуються тільки опором  $R$ . Для зображення і розрахунку електричних кіл замінюють електричними схемами, використовуючи умовні зображення. Найпростіше електричне коло зображено на рис.1.1.

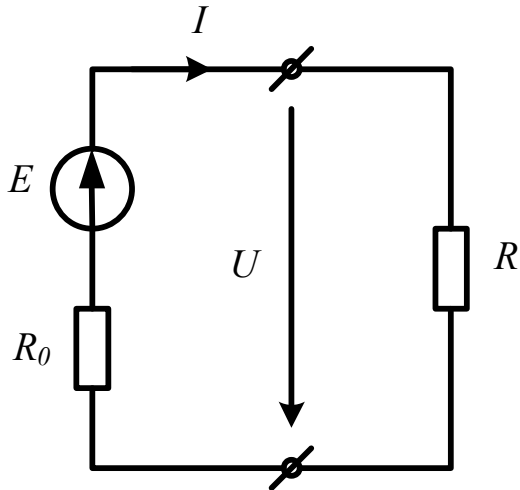


Рис.1.1

Струм у цьому колі та напругу на його ділянках визначають за допомогою закону Ома, який можна використати як для усього кола, так і для окремих його ділянок.

Закон Ома:

$$\text{для всього кола } I = \frac{E}{R_0 + R}; \quad (1.1)$$

$$\text{для ділянки без ЕРС } I = \frac{U}{R};$$

$$\text{- для ділянки з ЕРС } I = \frac{E - U}{R_0}.$$

Тут  $I$  – електричний струм, А;  $U$  – електрична напруга на споживачі, В;  $R_0$ ,  $R$  – опір джерела та споживача відповідно, Ом.

За законом Ома експериментально можна визначити параметри електричного кола, якщо виміряти струм  $I$  та напругу  $U$ .

Із другого рівняння системи (1.1) визначимо опір споживача:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1.2)$$

Третє рівняння із системи (1.1) дає змогу визначити параметри джерела. Якщо записати  $I \cdot R_0 = E - U$  або  $E = U + I \cdot R_0$ , то в режимі холостого ходу, коли  $I = 0$

$$E = U_{x.x}, \quad (1.3)$$

тобто ЕРС джерела дорівнює напрузі на його розімкнених затискачах.

Коли відомі ЕРС джерела та напруга на його затискачах, легко визначити його внутрішній опір:

$$R_0 = \frac{E - U}{I}.$$

Простим називається коло, що складається з одного джерела електричної енергії та будь-якої кількості послідовно або паралельно з'єднаних споживачів енергії, які поступовим перетворенням можна звести до одного еквівалентного опору. Складним називають коло, в якому групи споживачів не можна звести до одного еквівалентного опору. Ділянка кола, вдовж якої струм в будь-який момент часу має одне й те саме значення, називається гілкою; точка, в якій з'єднуються три або більше гілки називається вузлом. Будь-який замкнений шлях, утворений декількома гілками, являє собою контур. Контур, в який входить хоча б одна нова гілка, називається незалежним.

Перший закон Кірхгофа випливає із закону повного струму. Його можна сформулювати двояко.

1. Алгебраїчна сума струмів, що сходяться в будь-якому вузлі електричного кола, дорівнює нулю (струми, які входять до вузла, враховують з одним знаком, які виходять з вузла – з іншим):

$$\sum I = 0. \quad (1.5)$$

2. Сума струмів, які входять в будь-який вузол електричного кола, дорівнює сумі струмів, які виходять з цього вузла:

$$\sum I_{вх} = \sum I_{вих}. \quad (1.6)$$

Другий закон Кірхгофа також можна сформулювати двояко.

1. Алгебраїчна сума ЕРС, які діють в будь-якому контурі електричного кола, дорівнює алгебраїчній сумі спадів напруг на всіх опорах контуру:

$$\sum E = \sum I \cdot R . \quad (1.7)$$

Визначаючи  $\sum E$  та  $\sum I \cdot R$  зі знаком “+” враховують  $E$  та  $I$ , напрям яких збігається з обраним напрямом обходу контура.

2. Алгебраїчна сума напруг, які діють у будь-якому контурі електричного кола, дорівнює нулю:

$$\sum U = 0 . \quad (1.8)$$

Метод розрахунку, який базується на застосуванні законів Кірхгофа, є класичним і основним для розрахунку складних електричних кіл. Інші методи розрахунку ґрунтуються на цих законах, і мета їх використання – зменшити трудомісткість розрахунків.

Струми у колі, яке досліджується в даній лабораторній роботі, розраховують за допомогою законів Кірхгофа. Методику розрахунку покажемо на конкретному прикладі (рис.1.2, а).

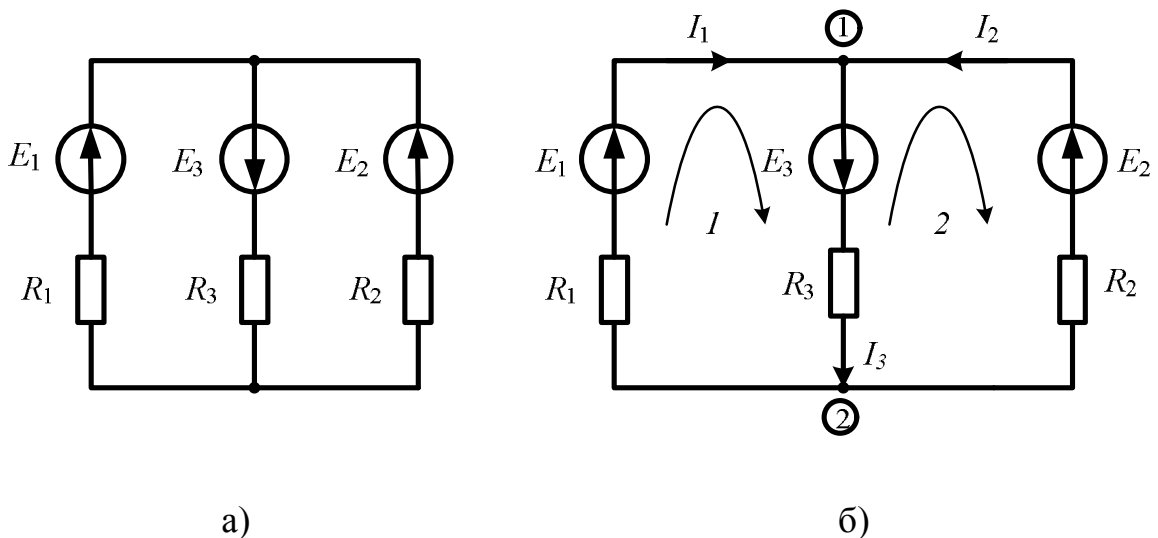


Рис.1.2

1. Для схеми рис.1.2,а визначаємо кількість вузлів  $n$  і гілок  $m$ :  
 $n = 2$ ,  $m = 3$ .

2. Визначаємо кількість незалежних рівнянь, які необхідно скласти за законами Кірхгофа. Схема містить три гілки, в кожній з яких протікає свій струм, отже загальне число рівнянь для цього кола дорівнює трьом.

3. З першим законом складають  $(n - 1)$  незалежне рівняння, в даному випадку 1. За другим законом складають  $(m - n + 1)$  незалежне рівняння. Для даного кола  $3 - 2 + 1 = 2$  рівняння (слід відзначити, що кількість рівнянь, які складаються за другим законом Кірхгофа, дорівнює числу незалежних контурів).

Довільно вибираємо позитивний напрям струмів  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  (рис.1.2,б) і складаємо рівняння за першим законом Кірхгофа для будь-якого з вузлів, наприклад, для вузла 1 (струми, що входять в вузол, враховуємо зі знаком “+”, струми, які виходять з вузла, із знаком “-“):

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0.$$

Довільно задаємо напрям обходу незалежних контурів 1 і 2 і складаємо рівняння за другим законом Кірхгофа:

- 1 контур	$E_1 + E_3 = I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_3,$
- 2 контур	$-E_2 - E_3 = -I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3$
або	$E_2 + E_3 = I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3.$

Розв’язуючи систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} I_1 + I_2 - I_3 &= 0 \\ I_1 R_1 + I_3 R_3 &= E_1 + E_3 \\ I_2 R_2 + I_3 R_3 &= E_2 + E_3 \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

отримуємо невідомі струми  $I_1, I_2, I_3$ .

Необхідно відзначити, що в результаті розв'язання рівнянь можна отримати від'ємне значення будь-якого струму. Це означає, що дійсний напрям струму є оберненим раніше довільно обраному. Слід пам'ятати, що порядок розрахунку кола за методом законів Кірхгофа не залежить від того, які величини задані, а які потрібно визначити. Так, за відомими значеннями струмів і опорів можна розрахувати ЕРС; за відомими ЕРС і струмами – опори тощо.

Із лінійності рівнянь, які одержані на основі законів Кірхгофа для лінійних кіл, випливає важливе положення про незалежність дії джерел енергії, яке одержало назву принципу накладання.

Принцип накладання полягає у наступному: якщо в колі діє декілька джерел енергії, то дійсний струм в кожній гілці дорівнює алгебраїчній сумі струмів, які протікають в даній гілці від дії кожного джерела окремо. Метод розрахунку, який заснований на застосуванні принципу накладання, називається методом накладання. За цим методом складна схема розбивається на декілька простих схем, в кожній з яких діє тільки одне джерело енергії. Розрахунок кола методом накладання покажемо на прикладі кола, яке розраховувалось раніше за законами Кірхгофа.

1. Залишаємо в схемі ЕРС  $E_1$ , замінюючи джерела  $E_2, E_3$  їх внутрішніми опорами  $R_{02} = R_{03} = 0$  (рис.1.3). Користуючись законом Ома, роз-

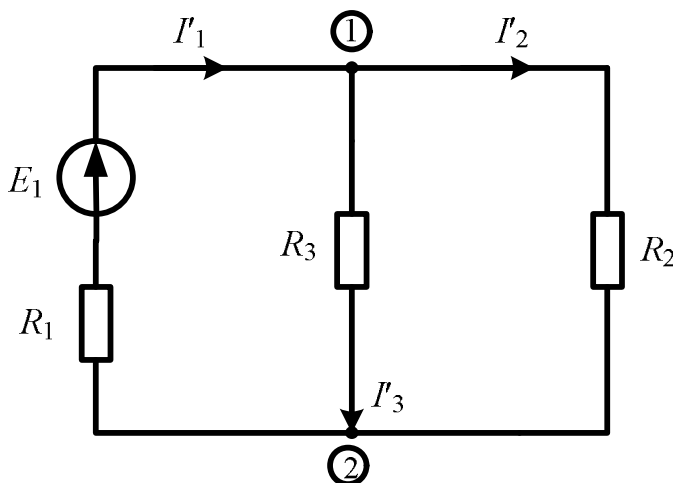


Рис.1.3

раховуємо часткові струми  $I'_1, I'_2, I'_3$  від дії  $E_1$ :

$$R_e = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3},$$

$$I'_1 = \frac{E_1}{R_e},$$

$$U_{12} = E_1 - I'_1 \cdot R_1,$$

$$I'_2 = \frac{U_{12}}{R_2}, \quad I'_3 = \frac{U_{12}}{R_3}.$$

2. Залишаємо в схемі ЕРС  $E_2$ , замінюючи джерела  $E_1$ ,  $E_3$  їх внутрішніми опорами  $R_{01} = R_{03} = 0$  (рис.1.4). Користуючись законом Ома, розрахуємо часткові струму  $I''_1$ ,  $I''_2$ ,  $I''_3$  від дії  $E_2$ :

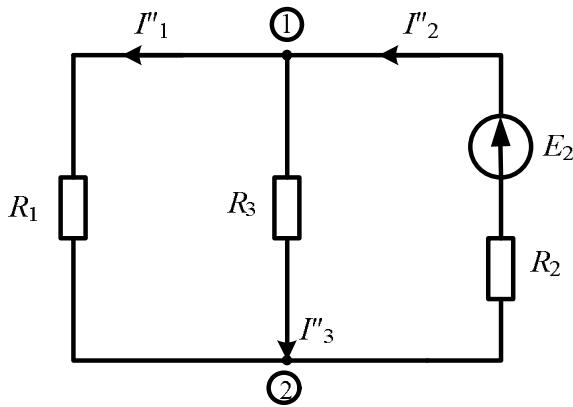


Рис.1.4

$$R_e = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3},$$

$$I''_2 = \frac{E_2}{R_e},$$

$$U_{12} = E_2 - I''_2 \cdot R_2,$$

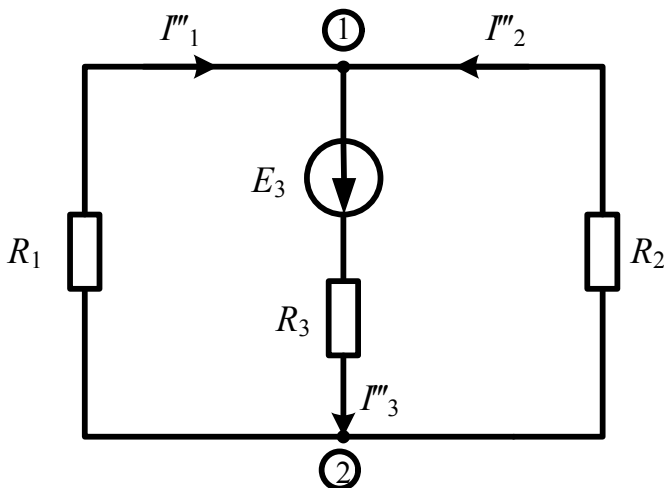


Рис.1.5

$$I''_1 = \frac{U_{12}}{R_1}, \quad I''_3 = \frac{U_{12}}{R_3}.$$

3. Залишаємо в схемі ЕРС  $E_3$ , замінюючи

джерела  $E_1$ ,  $E_2$  їх внутрішніми опорами  $R_{01} = R_{02} = 0$  (рис.1.5). Користуючись законом Ома, розраховуємо часткові струми  $I_1''$ ,  $I_2''$ ,  $I_3''$  від дії  $E_3$ :

$$R_e = R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

$$I_3'' = \frac{E_3}{R_e},$$

$$U_{12} = E_3 - I_3'' \cdot R_3,$$

$$I_1'' = \frac{U_{12}}{R_1}, \quad I_2'' = \frac{U_{12}}{R_2}.$$

4. Визначаємо дійсні струми  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ , як алгебраїчну суму струмів, спричинених дією кожної ЕРС окремо. Вибираємо позитивним напрям струму  $I_1$  в заданій схемі (рис.1.2,б) . Розраховуючи  $I_1$  часткові струми  $I_1'$  і  $I_1''$  враховуємо зі знаком “+”, оскільки їх напрям збігається з обраним позитивним напрямом струму  $I_1$ , а частковий струм  $I_1''$  - із знаком “-”, оскільки його напрям протилежний обраному:

$$I_1 = I_1' - I_1'' + I_1''',$$

$$I_2 = -I_2' + I_2'' + I_2''',$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' + I_3'''.$$

Слід пам'ятати, що принцип накладання не може бути використаний для розрахунку потужностей, оскільки потужність є квадратичною функцією від струму або напруги.



## 1.2 Обладнання, яке використовується при виконанні роботи.

1. Джерела постійної напруги, одне – регульоване, інше – нерегульоване, з напругою на виході 20-24В.
2. Споживачі енергії  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .
3. Вимірювальні прилади: амперметр, вольтметр.

## 1.3 Порядок виконання роботи.

### 1. Визначення параметрів основних елементів електричного кола.

1.1. Визначення величини ЕРС  $E$  та величини внутрішнього опору  $R_0$  кожного джерела.

1.1.1. Підключивши вольтметр до кожного джерела, виміряти їх ЕРС  $E_1$  та  $E_2$  і записати їх значення у таблицю 1.1.

1.1.2. Скласти коло, показане на рис.1.6. Ввікнути нерегульоване джерело живлення і виміряти струм у колі і напругу на затискачах джерела. Обчислити внутрішній опір джерела

за формулою  $R_0 = \frac{E - U}{I}$  і записати

його значення у табл.1.1.

1.1.3. У колі, показаному на рис.1.6. замінити нерегульоване джерело живлення регульованим і виміряти струм у колі і напругу на затискачах

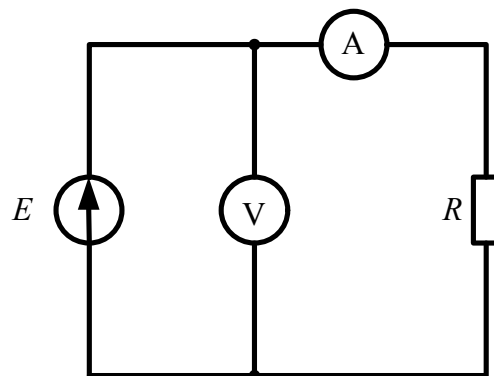


Рис.1.6

джерела. Обчислити внутрішній опір джерела за формулою  $R_0 = \frac{E - U}{I}$  і записати його значення у табл.1.1.

Таблиця 1.1.

$E_1$ [В]	$R_{01}$ [Ом]	$E_2$ [В]	$R_{02}$ [Ом]	$R_1$ [Ом]	$R_2$ [Ом]	$R_3$ [Ом]

1.2. Визначити величину опору навантаження, позначеного як  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . Для цього потрібно виконати наступне:

1.2.1. Резистор, величина опору якого буде визначатися, підключити до будь-якого джерела по схемі на рис.1.6.

1.2.2. Виміряти напругу і струм у колі.

1.2.3. Розрахувати величину опору резистора, користуючись законом

Ома:  $R = \frac{U}{I}$

Повторити п.1.2.1.-1.2.3 для кожного резистора. Отримані результати записати у табл.1.1.

2. Перевірка у ході експерименту справедливості законів Кірхгофа.

2.1. Скласти коло на рис.1.7.

2.2. Перевірити справедливість першого закону Кірхгофа. Для цього потрібно:

2.2.1. Виміряти струми з урахуванням їх знаків та занести у

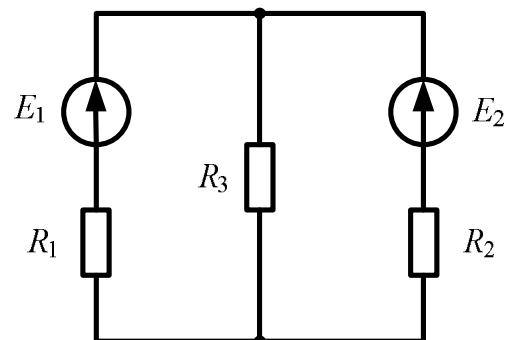


Рис.1.7

табл.1.2. Для правильного ура-хування знаку струму необхідно дотримуватись однакового під-ключення амперметра у кожну гілку ( наприклад, затискач амперметра позначений “\*” включати у верхнє гніздо, а затискач, позначений “mA” – у нижнє).

2.2.2. Вказати на схемі напрям струмів. За позитивний обирається напрям струму від затискача амперметра “mA” до затискача “\*”. Напряму струму від “\*” до “mA” вважати негативним.

2.2.3. За результатами вимірювань переконатися у виконанні першого закону Кірхгофа.

Таблиця 1.2.

$I_1, [A]$	$I_2, [A]$	$I_3, [A]$	$U_{E1} [B]$	$U_{E2} [B]$	$U_{R1} [B]$	$U_{R2} [B]$	$U_{R3} [B]$

2.3. Перевірити справедливість другого закону Кірхгофа. Для цього необхідно:

2.3.1. Позначити полярність напруг на всіх ділянках кола. Струм через резистор тече в напрямку зменшення потенціалу, тобто від точки з більшим потенціалом “+” до точки з меншим потенціалом “-“. Напряга завжди має напрям від “+” до “-“. Тому на резисторі напрями напруги і струму збігаються. Для джерел ЕРС спрямована від “-“ до “+”, тому напруга на затискачах джерела ЕРС спрямована назустріч ЕРС.

2.3.2. Виміряти напруги, які вказані в табл.1.2, підключаючи вольтметр у відповідності з позначеною на схемі полярністю напруг (затискач вольтметра “V” підключати до точки “+”).

2.3.3. За результатами вимірювань напруг на різних ділянках кола розрахувати алгебраїчну суму напруг  $\sum U$  в усіх можливих контурах і переконалися у справедливості другого закону Кірхгофа.

3. Перевірка справедливості принципу накладання.

3.1. Дослідити коло при дії тільки джерела  $E_1$ :

3.1.1. Замість джерела  $E_2$  ввімкнути резистор  $R_4$ , величина опору

якого дорівнює величині внутрішнього опору  $R_{02}$  джерела  $E_2$  (рис.1.8).

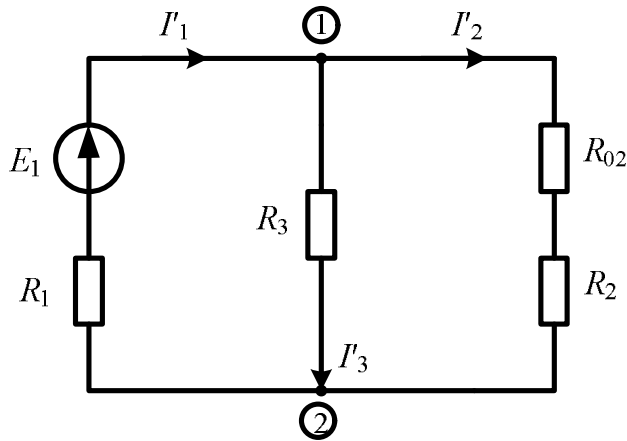


Рис.1.8

3.1.2. Виміряти струми у кожній гілці, дотримуючись однакового підключення амперметра. Перевірити правильність вимірювань за першим законом Кірхгофа. Дані вимірювань занести у табл.1.3.

3.2. Дослідити коло при дії тільки джерела  $E_2$ :

3.2.1. Замість джерела  $E_1$  ввімкнути резистор  $R_4$ , величина опору якого дорівнює величині внутрішнього опору  $R_{01}$  джерела  $E_1$  (рис.1.9).

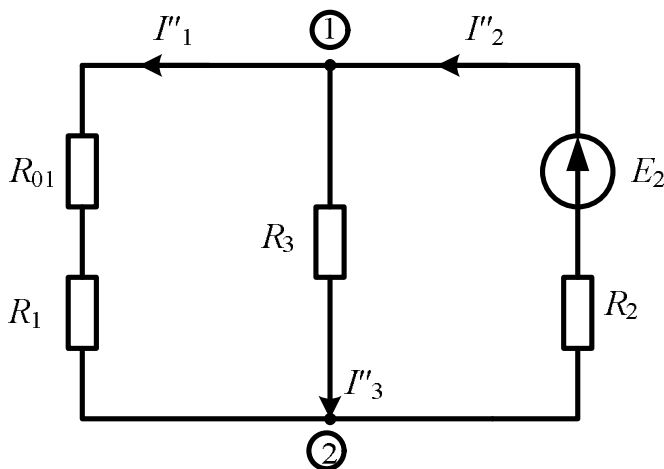


Рис.1.9

3.2.2. Виміряти струми у кожній гілці, дотримуючись однакового підключення амперметра. Перевірити правильність вимірювань за першим законом Кірхгофа. Дані вимірювань занести у табл.1.3.

Таблиця 1.3.

	Результати вимірювань		
Режим роботи ел. кола	$I_1, [A]$	$I_2, [A]$	$I_3, [A]$
$E_1 \neq 0, E_2 = 0$			
$E_2 \neq 0, E_1 = 0$			
Результат обчислення			

3.3 . Розрахувати дійсні струми  $I_1, I_2, I_3$  у кожній гілці, як алгебраїчну суму струмів, спричинених дією  $E_1$  і  $E_2$  окремо.

3.4 . Порівняти розраховані струми  $I_1, I_2, I_3$  із значеннями, виміряними в досліді з одночасною дією  $E_1$  і  $E_2$  (табл.1.2.); переконалися у справедливості принципу накладання.

#### 1.4. Обробка результатів дослідів.

1. Використавши закон Ома, розрахувати за відомими значеннями ЕРС і опорів (табл.1.1) струми у гілках кола, яке показано на рис.1.7 і порівняти їх з результатами експерименту, записаними у табл.1.2.

2. Розрахувати за законами Кірхгофа струми у колі, показаному на рис.1.7 (значення ЕРС і опорів взяти з табл.1.1). Результати обчислень порівняти з результатами експерименту, записаними у табл.1.2.

3. Розрахувати методом накладання струми у колі, показаному на рис.1.7, результати розрахунків порівняти з даними табл.1.3.

4. Зробити висновки по роботі.

### 1.5. Контрольні запитання.

1. Чим відрізняється складне електричне коло від простого?
2. Як визначити з досліду параметри лінійного електричного кола постійного струму (ЕРС і внутрішній опір джерела електричної енергії, опір приймачів)?
3. Знати закони Ома і Кірхгофа і вміти їх використовувати.
4. Вміти користуватися методом накладання.