

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1.

### РОЗРАХУНОК СКЛАДНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: експериментально перевірити розрахунки кіл постійного струму методами рівнянь Кірхгофа, контурних струмів і суперпозиції, виконання балансу потужностей.

#### КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. Метод рівняння Кірхгофа. Нехай коло утримує  $n$  віток і  $\alpha$  вузлів. Потрібно визначити струм у вітках. Для розв'язання задачі потрібно скласти  $n$  рівнянь по відношенню до  $n$  невідомих струмів, використовуючи перший і другий закони Кірхгофа.

Перший закон Кірхгофа говорить, що алгебраїчна сума струмів у вузлі або в будь-якому довільному перерізі схеми дорівнює нулю

$$\sum_{i=1}^{\alpha} I_i = 0 \quad (1)$$

Струми, що входять у вузол або переріз, мають знак "+", а ті, що виходять – знак "-".

Згідно з другим законом Кірхгофа алгебраїчна сума напруг у контурі дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС у цьому контурі

$$\sum_{i=1}^m U_i = \sum_{i=1}^k E_i \quad (2)$$

Напруги і ЕРС позитивні при співпаданні їх напрямків з напрямком обходу контуру.

При знаходженні струмів за першим законом Кірхгофа можна скласти тільки  $\alpha - I$  взаємно незалежних рівнянь.  $\alpha - e$  рівняння буде залежним, оскільки кожний струм входить у рівняння два рази з протилежним знаком. Інші  $K = n - \alpha + I$  рівнянь складаються за другим законом Кірхгофа. А тому схема повинна бути розбита на число  $K$  взаємно незалежних контурів. Контури будуть взаємно незалежними тільки в тому випадку, якщо в кожний новий контур входить хоча б одна нова вітка.

Схема, що подана на рис.1, утримує  $n = 5$  віток і  $\alpha = 3$  вузла. Система рівнянь, складена за методом рівнянь Кірхгофа, буде мати такий вигляд:

$$\begin{aligned} I_1 - I_3 - I_4 &= 0 - \text{для вузла 1;} \\ I_2 + I_4 - I_5 &= 0 - \text{для вузла 2;} \\ R_1 I_1 + R_0 I_1 + R_3 I_3 &= E_1 - \text{для контуру 1;} \\ -R_3 I_3 + R_4 I_4 + R_5 I_5 &= 0 - \text{для контуру 2;} \\ R_2 I_2 + R_5 I_5 &= E_2 - \text{для контуру 3.} \end{aligned}$$

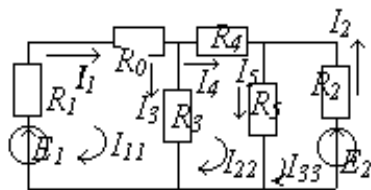


Рис.1

2. Метод контурних струмів. Схема розбивається на число  $K = n - \alpha + I$  взаємно незалежних контурів. Приймають, що в кожному контурі встановлюється власний контурний струм, незмінний уздовж усього контуру. Перший закон Кірхгофа виконується автоматично, а тому записують для контурів тільки рівняння, складені за другим законом Кірхгофа. Отримують  $K$  рівнянь по відношенню до  $K$  невідомих контурних струмів. Дійсні струми у вітках знаходять як алгебраїчну суму контурних струмів, що проходять через відповідні вітки.

Знайдемо струми у вітках схеми (рис.1), використовуючи метод контурних струмів. Оскільки  $n = 5$  і  $\alpha = 3$ , схему розбиваємо на три взаємно незалежні контури. Позначимо контурні струми  $I_{11}$ ,  $I_{22}$ ,  $I_{33}$  і виберемо довільні позитивні їх напрямки, наприклад, за годинниковою стрілкою. За другим законом Кірхгофа одержимо:

$$\begin{aligned}(R_1 + R_0 + R_3) I_{11} - R_3 I_{22} &= E_1, \\ -R_3 I_{11} + (R_3 + R_4 + R_5) I_{22} - R_5 I_{33} &= 0, \\ -R_5 I_{22} + (R_2 + R_5) I_{33} &= -E_2.\end{aligned}$$

Знак “-“ відповідає випадку неспівпадання за напрямком контурних струмів у даній вітці.

Введемо позначення:  $R_1 + R_0 + R_3 = R_{11}$ ,  $R_3 + R_4 + R_5 = R_{22}$ ,  $R_2 + R_5 = R_{33}$ ,  $R_{12} = R_{21} = -R_3$ ,  $R_{23} = R_{32} = -R_5$ ,  $E_1 = E_{11}$ ,  $-E_2 = E_{33}$ .

Система рівнянь приймає вигляд

$$R_{32} I_{22} + R_{33} I_{33} = E_{22},$$

$$R_4 I_{11} + R_{12} I_{22} = E_{11},$$

$$R_{21} I_{11} + R_{22} I_{22} + R_{23} I_{33} = 0,$$

розв'язання якої

$$I_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad I_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad I_{33} = \frac{\Delta_3}{\Delta}, \quad (3)$$

$$\text{де } \Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & 0 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ 0 & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} \text{ - визначник системи,}$$

а  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  і  $\Delta_3$  – отримують із визначника  $\Delta$  шляхом заміни відповідного стовпця правою частиною рівнянь. Наприклад:

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} E_{11} & R_{12} & 0 \\ 0 & R_{22} & R_{23} \\ E_{33} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix}$$

Дійсні струми у вітках знаходяться через контурні:  $I_1 = I_{11}$ ,  $I_2 = -I_{22}$ ,  $I_3 = I_{11} - I_{22}$ ,  $I_4 = I_{22}$ ,  $I_5 = I_{22} - I_{33}$ .

1. Метод суперпозиції. В основі методу суперпозиції лежить принцип суперпозиції, згідно з яким струм у будь-якій вітці складної схеми може бути поданий у вигляді алгебраїчної суми частинних струмів, що викликаються дією кожної ЕРС зокрема. При розрахунку кіл методом суперпозиції по черзі розглядають дію кожного джерела окремо. Інші джерела при цьому виключаються із схеми, проте їхні внутрішні опори зберігаються. Метод суперпозиції застосовується тільки до лінійних кіл. Застосовуючи до схеми рис.1 метод суперпозиції, потрібно розглянути дві схеми (рис. 2, 3).

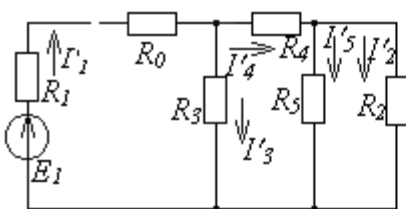


Рис. 2

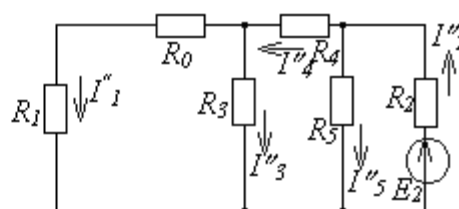


Рис. 3

Часткові струми в схемах рис. 2, 3, визначаються на підставі законів електричних кіл. Дійсні струми у вітках:

$$I_1 = I_1' - I_1''; \quad I_2 = I_2' - I_2'', \quad I_3 = I_3' - I_3'', \quad I_4 = I_4' - I_4'', \quad I_5 = I_5' - I_5''. \quad (4)$$

4. Баланс потужностей. Стосовно до кіл постійного струму баланс потужностей означає, що алгебраїчна сума активних потужностей усіх джерел енергії дорівнює арифметичній сумі потужностей усіх резистивних елементів:

$$\sum EI = \sum RI^2. \quad (5)$$

Для схеми (рис.1) баланс потужностей виглядає таким чином:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = (R_1 + R_0) I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2.$$

## Контрольні запитання

1. Чому за першим законом Кірхгофа можна скласти число взаємно незалежних рівнянь на одиницю менше числа вузлів схеми?
2. В якому випадку контури схеми будуть взаємо незалежними?
3. Як визначається знак опору двох суміжних контурів при користуванні методом контурних струмів?
4. Як визначаються дійсні значення струмів у вітках через контурні струми?
5. У чому полягає принцип суперпозиції?
6. Чому метод суперпозиції застосовується тільки в лінійних колах?

## Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості за методами розрахунку складних кіл.
2. Дати відповіді на контрольні запитання у письмовій формі.
3. Для схеми рис.4 скласти необхідну кількість рівнянь за методом рівнянь Кірхгофа.

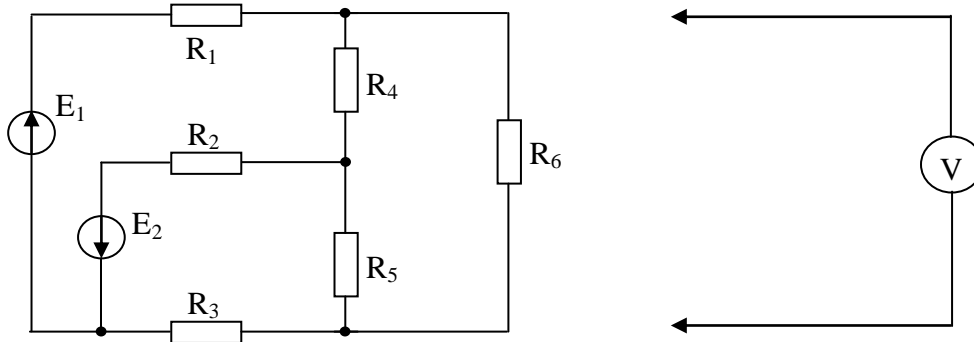


Рис.4

4. Використовуючи метод контурних струмів, розрахувати струми у вітках (рис.4), якщо  $E_1 = 10 \text{ В}$ ;  $R_1 = R_2 = R_3 = 100 \text{ Ом}$ ;  $R_4 = R_5 = 110 \text{ Ом}$ ; значення  $E_2$  і  $R_6$  взяти з таблиці для свого варіанту:

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$E_2, \text{ В}$	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12
$R_6, \text{ Ом}$	56	100	160	220	270	330	390	430	470	510	560

## Лабораторне завдання

1. Ознайомитись з принципом роботи вимірювальних приладів, що використовуються в роботі: джерело живлення, мілівольтметр.
2. Зібрати схему вимірювань, підключивши вимірювальні прилади до макету. Увімкнути прилади для прогріву. Виставити значення  $E_1 = 10 \text{ В}$ , а  $E_2$  і  $R_6$  згідно з варіантом вашого завдання.
3. Експериментально перевірити справедливості першого закону Кірхгофа для всіх вузлів схеми. Струми обчислюються за величинами виміряних напруг на відомих опорах кола. Напрямки струмів такі ж, як і напруг.
4. Експериментально перевірити справедливості 2-го закону Кірхгофа для взаємно незалежних контурів.
5. Перевірити справедливості принципу суперпозиції. По виміряним напругам визначити струми у вітках окремо для ЕРС  $E_1$  і окремо для ЕРС  $E_2$ . Величини дійсних струмів визначити як алгебраїчні суми частинних струмів. Одержані значення струмів порівняти з визначеннями в пункті 3 і розрахованими за методом контурних струмів. Результати подати у вигляді таблиці. Накреслити схеми з частковими струмами.  
Примітка. При вимиканні одного з джерел ЕРС передбачити, щоб у даній вітці не було розриву кола. Наприклад, при вимиканні ЕРС  $E_1$  мінусовий провід перекидається на загальну клему джерел  $E_1$  і  $E_2$ .
6. За відомими значеннями струмів у вітках перевірити виконання балансу потужностей для досліджуваної схеми.

## Список літератури

1. Попов В.П. Основы теории цепей. – М., высш. шк., 1985г. 496с.
2. Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей. – Л., Энергия, 1972, - 816с.