

**Національний Технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

**Лабораторна робота №01\_DC\_01**

**Дослідження розгалужених електричних кіл постійного струму з  
одним джерелом енергії**

Виконав ст. групи АА-00

Коваленко К.К.

Перевірив

Іваненко І.І.

**Київ —2018**

# Лабораторна робота №01\_DC\_01 "Дослідження розгалужених електричних кіл постійного струму з одним джерелом енергії"

**Мета роботи:** Оволодіти методами аналізу і отримати навички експериментального дослідження розгалужених електричних кіл постійного струму з одним джерелом енергії

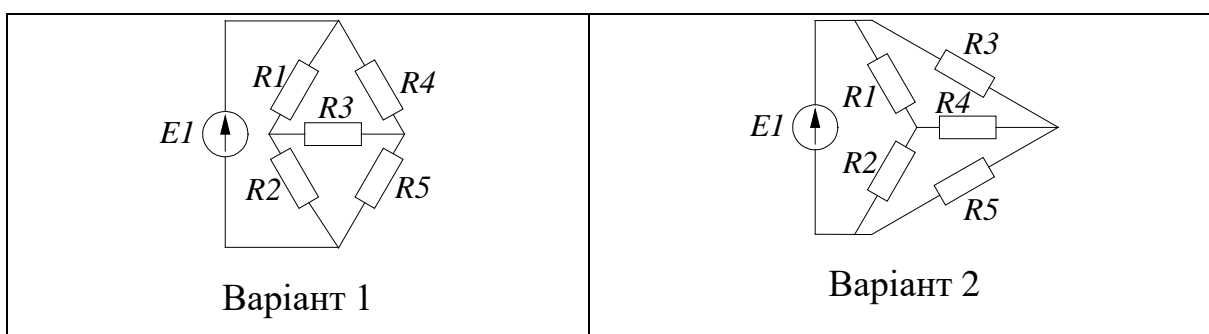
## Завдання

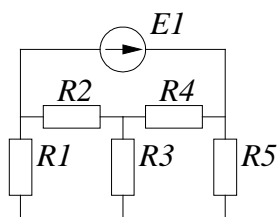
Розрахувати, користуючись законами Ома і Кірхгофа, струми у вітках кола і напруги на елементах кола. Розрахунки перевірити числовим експериментом комп'ютерними стимуляторами ***Electronic Workbench, Multisim.***

## Розрахункова частина

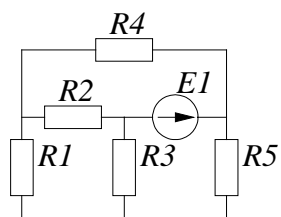
Вибрати електричне коло відповідно до заданого викладачем варіанту  $N$ , який визначається номером студента у журналі групи.

## Варіанти індивідуального завдання

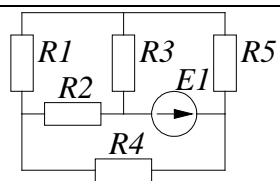




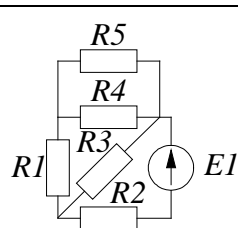
Варіант 3



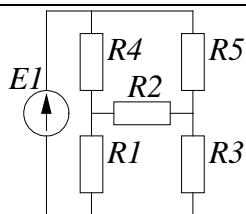
Варіант 4



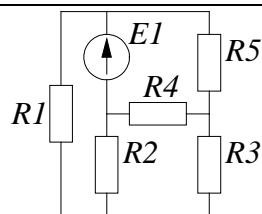
Варіант 5



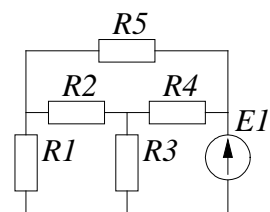
Варіант 6



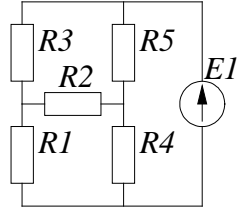
Варіант 7



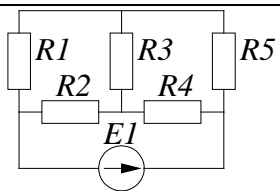
Варіант 8



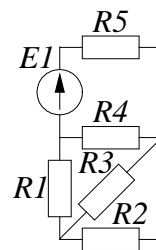
Варіант 9



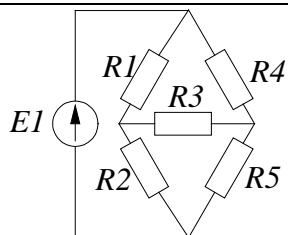
Варіант 10



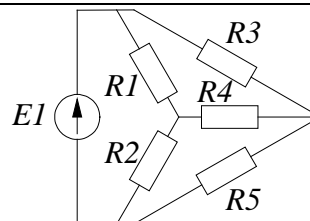
Варіант 11



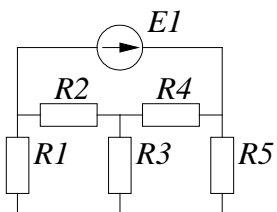
Варіант 12



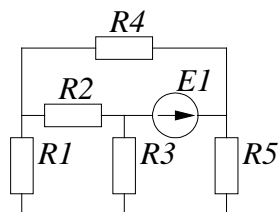
Варіант 13



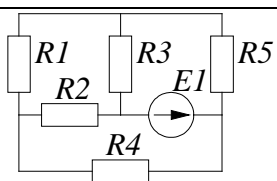
Варіант 14



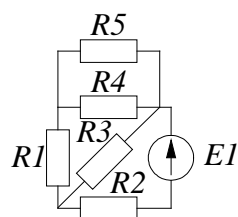
Варіант 15



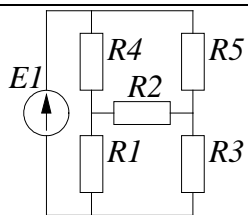
Варіант 16



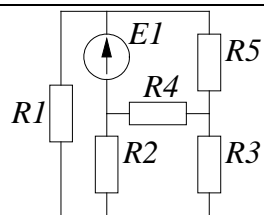
Варіант 17



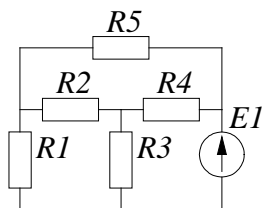
Варіант 18



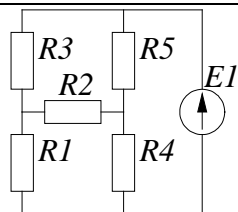
Варіант 19



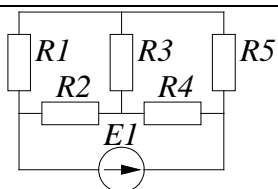
Варіант 20



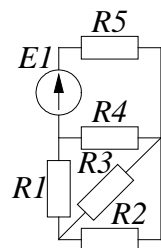
Варіант 21



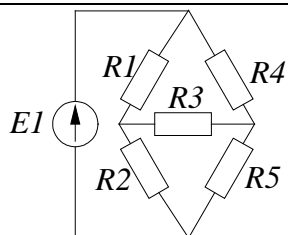
Варіант 22



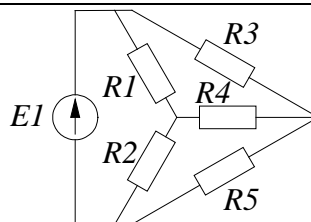
Варіант 23



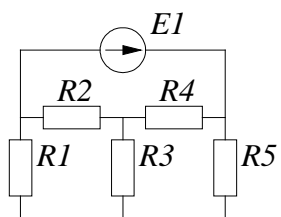
Варіант 24



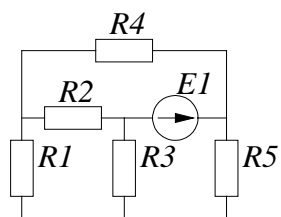
Варіант 25



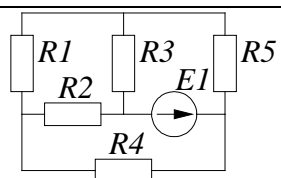
Варіант 26



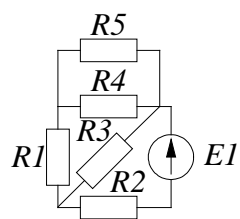
Вариант 27



Вариант 28



Вариант 29



Вариант 30

Задати параметри елементів заданого електричного кола відповідно до свого варіанта:

$R1 = 22\ \Omega$ $R2 = 28\ \Omega$ $R3 = 34\ \Omega$ $R4 = 40\ \Omega$ $R5 = 46\ \Omega$ $R6 = 52\ \Omega$ $E1 = 6\text{ V}$ $E2 = 9\text{ V}$ $J_1 = 3\text{ mA}$ Варіанти 1,11, 21,31	$R1 = 24\ \Omega$ $R2 = 31\ \Omega$ $R3 = 38\ \Omega$ $R4 = 45\ \Omega$ $R5 = 52\ \Omega$ $R6 = 59\ \Omega$ $E1 = 7\text{ V}$ $E2 = 10\text{ V}$ $J_1 = 4\text{ mA}$ Варіант 2, 12, 22,32
---	--

$R1 = 26\ \Omega$ $R2 = 34\ \Omega$ $R3 = 42\ \Omega$ $R4 = 50\ \Omega$ $R5 = 58\ \Omega$ $R6 = 66\ \Omega$ $E1 = 8\text{ V}$ $E2 = 11\text{ V}$ $J_1 = 5\text{ mA}$ Варіант 3,13, 23,33	$R1 = 28\ \Omega$ $R2 = 37\ \Omega$ $R3 = 46\ \Omega$ $R4 = 55\ \Omega$ $R5 = 64\ \Omega$ $R6 = 73\ \Omega$ $E1 = 9\text{ V}$ $E2 = 12\text{ V}$ $J_1 = 6\text{ mA}$ Варіант 4,14, 24,34
---	---

$R1 = 30\ \Omega$ $R2 = 40\ \Omega$ $R3 = 50\ \Omega$ $R4 = 60\ \Omega$ $R5 = 70\ \Omega$ $R6 = 80\ \Omega$ $E1 = 10\text{ V}$ $E2 = 13\text{ V}$ $J_1 = 7\text{ mA}$ Варіант 5,15, 25,35	$R1 = 32\ \Omega$ $R2 = 43\ \Omega$ $R3 = 54\ \Omega$ $R4 = 65\ \Omega$ $R5 = 76\ \Omega$ $R6 = 87\ \Omega$ $E1 = 11\text{ V}$ $E2 = 14\text{ V}$ $J_1 = 8\text{ mA}$ Варіант 6,16, 26,36
--	--

$R1 = 34\ \Omega$ $R2 = 46\ \Omega$ $R3 = 58\ \Omega$ $R4 = 70\ \Omega$ $R5 = 82\ \Omega$ $R6 = 94\ \Omega$ $E1 = 12\text{ V}$ $E2 = 15\text{ V}$ $J_1 = 9\text{ mA}$ Варіант 7,17, 27,37	$R1 = 36\ \Omega$ $R2 = 49\ \Omega$ $R3 = 62\ \Omega$ $R4 = 75\ \Omega$ $R5 = 88\ \Omega$ $R6 = 101\ \Omega$ $E1 = 13\text{ V}$ $E2 = 16\text{ V}$ $J_1 = 10\text{ mA}$ Варіант 8,18, 28,38
--	--

$R1 = 38\ \Omega$ $R2 = 52\ \Omega$ $R3 = 66\ \Omega$ $R4 = 80\ \Omega$ $R5 = 94\ \Omega$ $R6 = 108\ \Omega$ $E1 = 14\text{ V}$ $E2 = 17\text{ V}$ $J_1 = 11\text{ mA}$  Варіант 9,19, 29,39	$R1 = 40\ \Omega$ $R2 = 55\ \Omega$ $R3 = 70\ \Omega$ $R4 = 85\ \Omega$ $R5 = 100\ \Omega$ $R6 = 115\ \Omega$ $E1 = 15\text{ V}$ $E2 = 18\text{ V}$ $J_1 = 12\text{ mA}$  Варіант 0,10, 20,30
--	---



Розрахувати струми у вітках кола. Результати розрахунків занести у табл. 01-DC.01.

Таблиця 01-DC.01

	Вітки кола				
	$R1$	$R2$	$R3$	$R4$	$R5$
Струм у вітці					
Результати обчислень					
Результати вимірювань					

**Рекомендація.** Для розрахунків доцільно використовувати комп'ютерні математичні програми **Mathcad**, **Matlab**, **Mathematica**, **Maple** тощо.

## Експериментальна частина

### Послідовність виконання роботи

Побудувати засобами *Electronic Workbench* електричне коло, вибране у відповідності до варіанту індивідуального завдання.

Задати значення параметрів елементів кола, відповідно до варіанту. Щоб задати параметри елементу кола потрібно подвійним клацанням на елементі викликати вікно параметрів елемента (рис. 01-DC.02) і на вкладці *Value* задати значення і одиницю вимірювання. На вкладці *Label* задати позначення елемента на принципових електричних схемах згідно вітчизняних стандартів.

Запустити процес моделювання, натиснувши на кнопку I/O у верхньому правому куті екрану.

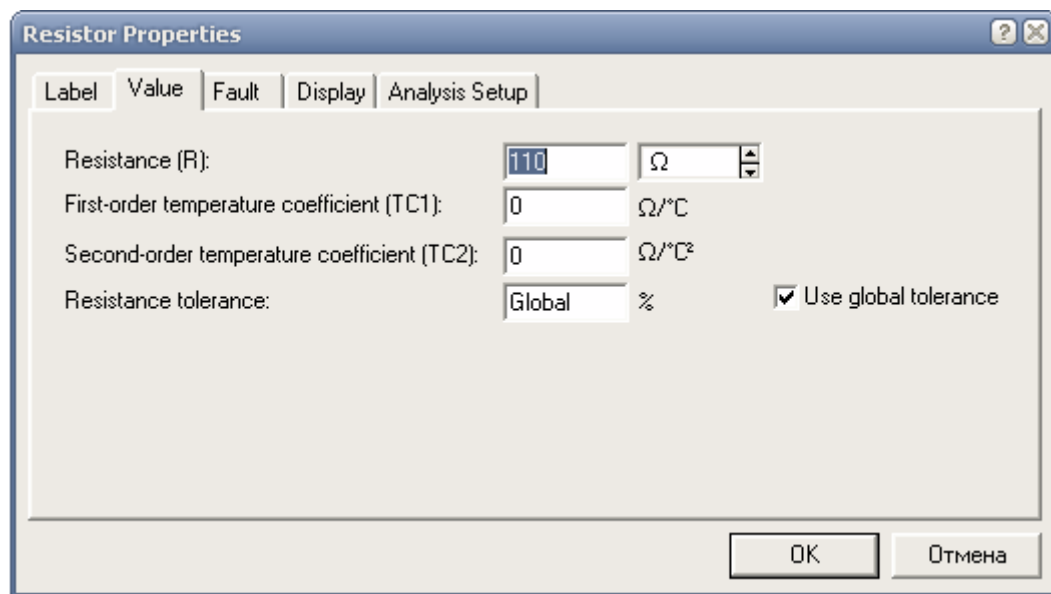
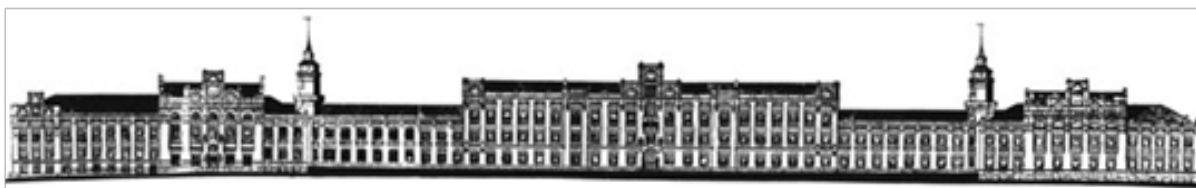


Рис. 01-DC.02

Зняти покази амперметрів і вольтметрів і занести їх у відповідні клітинки табл. 1.1.

Порівняти результати обчислень і вимірювань і зробити висновки.

На захист представити паперовий і електронний варіанти.



**Національний Технічний університет України (КПІ)**

**Кафедра теоретичної електротехніки**

**зразок**

**Лабораторна робота №01\_TR\_04**

**з дисципліни "Основи електротехніки та електроніки"**

**" Дослідження розгалужених електричних кіл постійного струму з  
одним джерелом енергії "**

Виконав:  
Студент групи ЕЕ-00  
Петренко П.П.  
Перевірив:  
доц. Коваленко К.К.

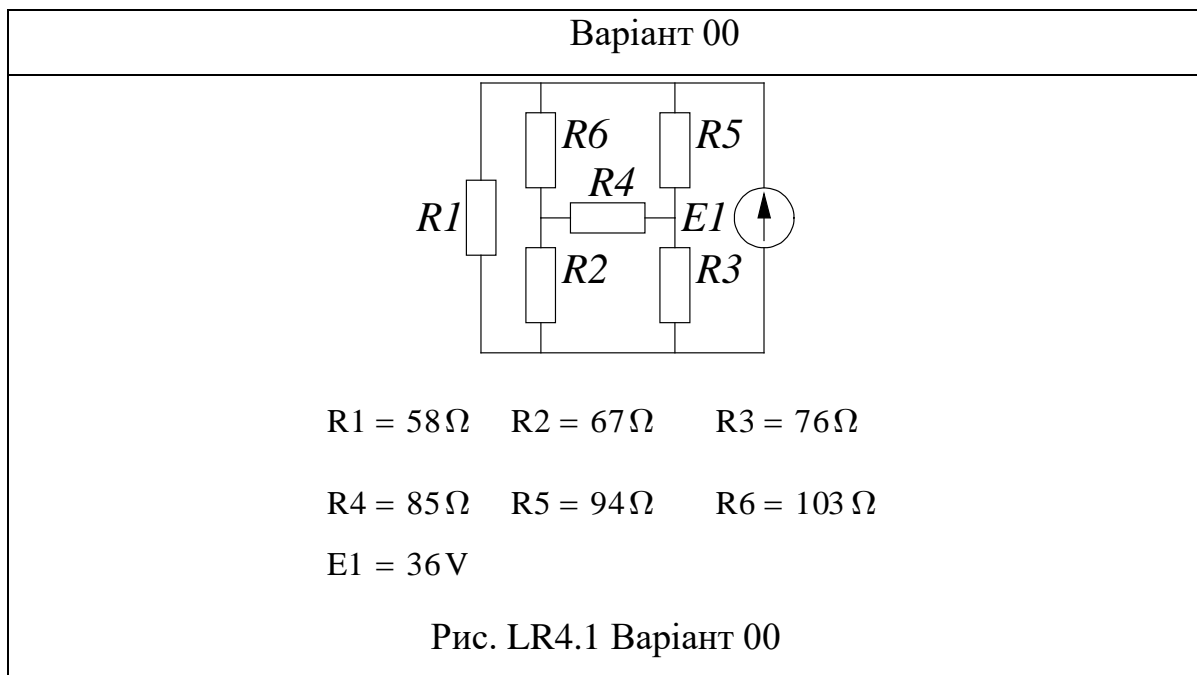
**Київ —20\_ \_**

**Мета роботи:** Оволодіти методами аналізу і отримати навички експериментального дослідження розгалужених електричних кіл постійного струму з одним джерелом енергії

### Завдання

Розрахувати, користуючись законами Ома і Кірхгофа, струми у вітках кола і напруги на елементах кола. Розрахунки перевірити числовим експериментом комп'ютерними стимуляторами ***Electronic Workbench, Multisim.***

### Завдання для варіанту 00



### Розрахункова частина

Розрахунок струмів у вітках кола і напруг на елементах кола виконуємо методом еквівалентних перетворень, використовуючи математичну комп'ютерну програму **Mathcad**.

1. Перетворюємо елементи R2, R4, R6, з'єднані зіркою, в елементи R24, R46, R26, з'єднані трикутником

$$R_{26} := R_2 + R_6 + R_2 \cdot \frac{R_6}{R_4} = 251.188 \, \Omega$$

$$R_{46} := R_4 + R_6 + \frac{R_4 \cdot R_6}{R_2} = 318.672 \, \Omega$$

$$R_{24} := R_2 + R_4 + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_6} = 207.291 \, \Omega$$

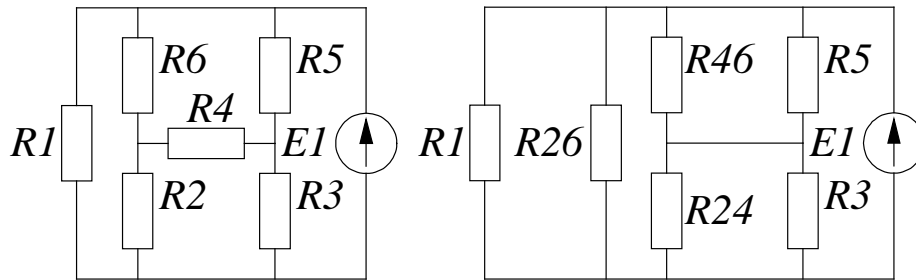


Рис. 01-DC.01

Еквівалентні перетворення показані на рис.

2. Розраховуємо еквівалентний опір паралельно з'єднаних елементів  $R_{24}$ ,  $R_3$  та  $R_{46}$ ,  $R_5$

$$R_a := \frac{R_3 \cdot R_{24}}{R_3 + R_{24}} = 55.611 \, \Omega$$

$$R_b := \frac{R_5 \cdot R_{46}}{R_5 + R_{46}} = 72.588 \, \Omega$$

3. Розраховуємо еквівалентний опір послідовно з'єднаних елементів  $R_a$ ,  $R_b$

$$R_c := R_a + R_b = 128.199 \, \Omega$$

4. Визначаємо струми в елементах  $R_c$ ,  $R_1$ ,  $R_{26}$

$$I_c := \frac{E1}{R_c} = 0.281 \, \text{A} \quad I_1 := \frac{E1}{R_1} = 0.621 \, \text{A} \quad I_{26} := \frac{E1}{R_{26}} = 143.319 \, \text{mA}$$

5. Визначаємо за законом Ома напругу на резисторах  $R_a$ ,  $R_b$

$$U_a := R_a \cdot I_c = 15.616 \text{ V} \quad U_b := R_b \cdot I_c = 20.384 \text{ V}$$

6. Визначаємо за законом Ома струми у резисторах  $R_3$ ,  $R_5$ ,  $R_{24}$ ,  $R_{46}$

$$I_3 := \frac{U_a}{R_3} = 0.205 \text{ A} \quad I_5 := \frac{U_b}{R_5} = 0.217 \text{ A}$$

$$I_{24} := \frac{U_a}{R_{24}} = 0.075 \text{ A} \quad I_{46} := \frac{U_b}{R_{46}} = 0.064 \text{ A}$$

7. Визначаємо за законом Кірхгофа (*KCL*) струми в резисторах  $R_2$ ,  $R_6$ ,  $R_4$

$$I_2 := I_{26} + I_{24} = 0.219 \text{ A}$$

$$I_6 := I_{26} + I_{46} = 0.207 \text{ A}$$

$$I_4 := I_6 - I_2 = -0.011 \text{ A}$$

8. Правильність розрахунків струмів перевіряємо, склавши баланс потужностей.

Сумарна потужність споживачів (consumers) електричної енергії

$$P_C := I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6 = 37.614 \text{ W}$$

Сумарна потужність джерела (source) електричної енергії

$$P_S := E_1 \cdot (I_1 + I_5 + I_6) = 37.614 \text{ W}$$

Баланс потужностей виконується, що свідчить про правильність розрахунку струмів.

## Експериментальна частина

1. Будуємо засобами *Electronic Workbench* електричне коло, вибране у відповідності до варіанту індивідуального завдання.

Приклад побудови наведений на рис. 01-DC.01

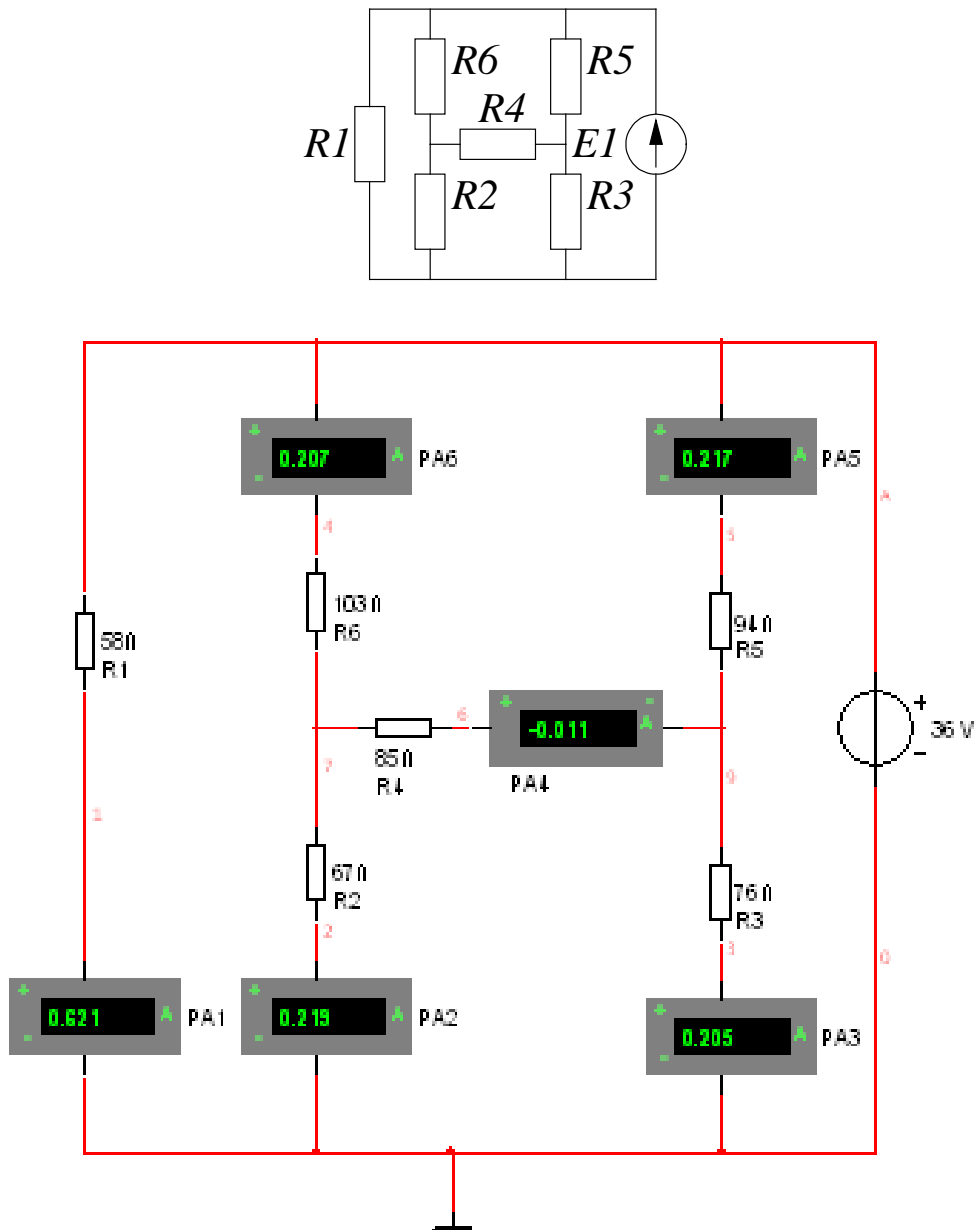


Рис. 01-DC.01

На рис. 01-DC.01 показані:

E1 — джерело постійної напруги. Джерела напруги і струму знаходяться на вкладці *Sources*;

R1, R2, R3, R4, R5, R6 — резистори. Резистори знаходяться на вкладці *Basic*;

PV1, PV2, PV3, PV4 — вольтметри у режимі вимірювання постійної напруги (режим DC). Вольтметри знаходяться на вкладці *Indicators*;

PA1, PA2, PA3, PA4, PA5 — амперметри у режимі вимірювання постійного струму (режим DC). Амперметри знаходяться на вкладці *Indicators*.

2. Задаємо значення параметрів елементів кола, відповідно до варіанту.
3. Запускаємо процес моделювання, натиснувши на кнопку I/O у верхньому правому куті екрану.

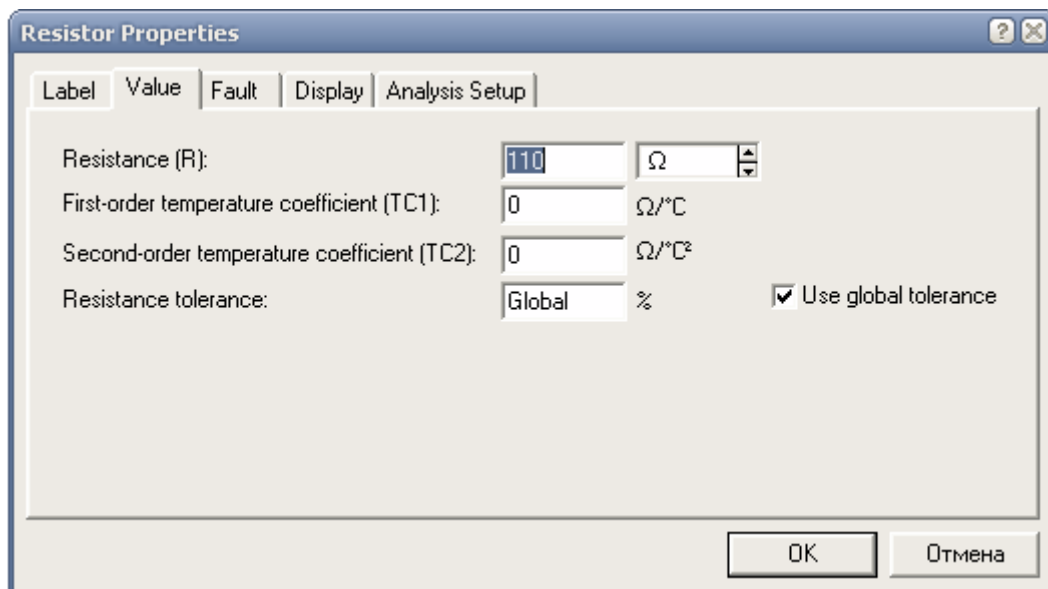


Рис. 01-DC.02



Таблица 01-ДС.01

	Вітки кола					
	$R1$	$R2$	$R3$	$R4$	$R5$	$R6$
Струм у вітці, mA						
Результати обчислень	621.0	219.0	205.0	-11.0	217.0	207.0
Результати вимірювань	621.0	219.0	205.0	-11.0	217.0	207.0

## Теоретичні відомості

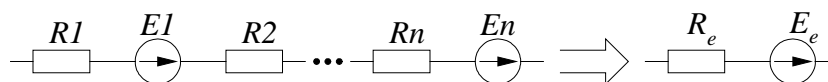
### Еквівалентні перетворення ділянок кола

Еквівалентним перетворенням називають таке перетворення частини електричного кола, за якою в тій частині кола, що не перетворюються струми у вітках і потенціали вузлів не змінюються. Застосування еквівалентних перетворень дає змогу значно спростити електричне коло і тим самим полегшити його розрахунок.

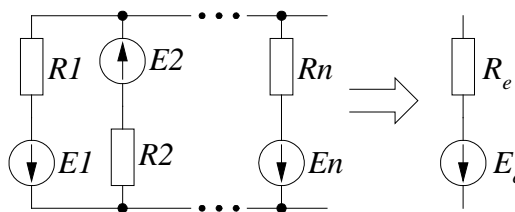
Розглянемо кілька елементарних еквівалентних перетворень.

1. Послідовне з'єднання елементів (рис. Т.1 а). Послідовне з'єднання довільної кількості резистивних елементів і джерел напруги еквівалентним перетворенням зводиться до двох елементів: еквівалентного резистивного елемента з опором  $R_e$  і еквівалентного джерела напруги з електрорушійною силою  $E_e$ . Значення цих параметрів обчислюється за формулами

$$\begin{aligned} E_e &= \pm E_1 \pm E_2 \pm \dots \pm E_n \pm \dots \pm E_N \\ R_e &= R_1 + R_2 + \dots + R_m + \dots + R_M \end{aligned} \quad (Т.1)$$



а



б

Рис. Т.1

Знак „+” перед електрорушійними силами у правій частині рівняння (Т.1) ставиться у тому разі, якщо напрям цієї електрорушійної сили збігається з напрямом еквівалентної електрорушійної сили  $E_e$  і знак „-”, — якщо ці напрями протилежні.

2. Паралельне з’єднання віток (рис. Т.1 б). Якщо кілька віток увімкнено між двома і тими ж вузлами, то їх можна замінити однією еквівалентною віткою з двома елементами: джерелом напруги з електрорушійною силою  $E_e$  і резистивним елементом з опором  $R_e$ , значення яких обчислюються за формулами

$$E_e = \frac{\frac{\pm E_1}{R_1} + \frac{\pm E_2}{R_2} + \dots + \frac{\pm E_n}{R_n} + \dots + \frac{\pm E_N}{R_N}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + \dots + \frac{1}{R_N}} \quad (Т.2)$$

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + \dots + \frac{1}{R_N}}$$

Електрорушійна сила у правій частині рівняння (1.40) входить зі знаком „+” у тому разі, якщо напрям цієї електрорушійної сили збігається з напрямом еквівалентної електрорушійної сили  $E_e$  і знак „-”, — якщо ці напрями протилежні.

3. Еквівалентні перетворення з’єднання резистивних елементів зіркою у з’єднання трикутник і навпаки (рис. Т.2 а). Значення опорів резистивних елементів  $R_{12}$ ,  $R_{23}$ ,  $R_{31}$ , з’єднаних трикутником, обчислюються за відомими значеннями опорів  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , з’єднаних зіркою за формулами

$$\begin{aligned}
R_{12} &= R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \\
R_{23} &= R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} \\
R_{31} &= R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}
\end{aligned}
\tag{T.3}$$

Обернене перетворення здійснюється за формулами

$$\begin{aligned}
R_1 &= \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \\
R_2 &= \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \\
R_3 &= \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}
\end{aligned}
\tag{T.4}$$

4. Еквівалентне перетворення послідовної і паралельно схем заміщення реальних джерел енергії (рис. Т.2 б). Послідовна і паралельна схеми заміщення реальних джерел електричної енергії рівноцінні, тому джерела можна представляти як однією, так і іншою схемою заміщення. Взаємозв'язок між параметрами елементів послідовної і паралельної схем заміщення такий:

$$\begin{aligned}
E &= \frac{J}{g} & r &= \frac{1}{g} \\
J &= \frac{E}{r} & g &= \frac{1}{r}
\end{aligned}
\tag{T.5}$$

5. Винесення джерела напруги за вузол (рис. Т.2 в). Джерело напруги доцільно ви-носити за вузол. Таке еквівалентне перетворення, у певних випадках, на-приклад при складанні рівнянь за методом вузлових

потенціалів, значно спрощує розрахунки. Винесення джерела напруги за вузол ілюструє рис. 1.27.

6. Еквівалентна заміна джерел струму (рис. Т.2 г). У певних випадках еквівалентна заміна одних джерел струму іншими може спростити аналіз електричних кіл. На рис. 1.28 наводиться приклад такої еквівалентної заміни джерел струму.

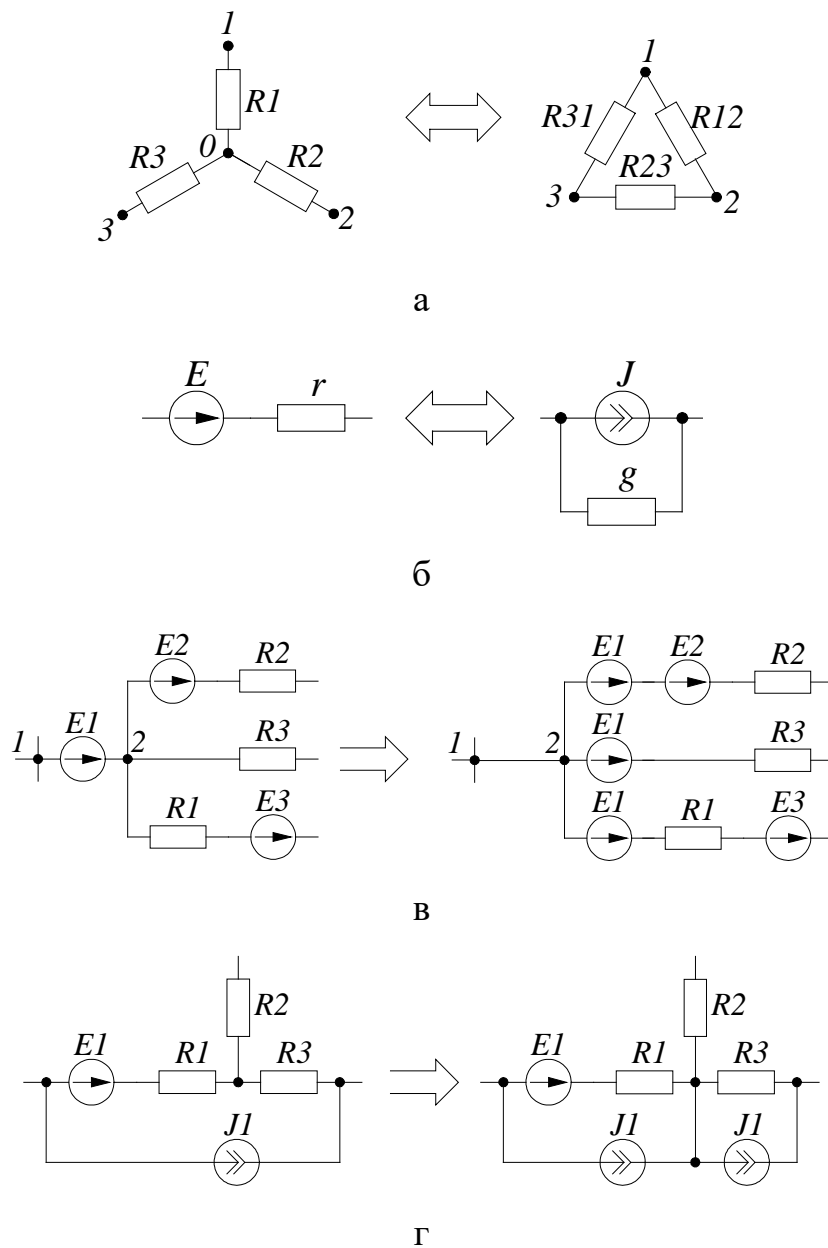


Рис. Т.2

## Метод еквівалентних перетворень

Розрахунок електричних кіл методом еквівалентних перетворень полягає в тому, що послідовно, крок за кроком, застосовуючи елементарні еквівалентні перетворення до окремих ділянок кола, спрощуємо задане електричне коло до такого ступеня, щоб доцільно було застосувати відомий метод розрахунку.

Розраховуємо таке максимально спрощене коло відомим методом і знаходимо струми і напруги кола. Знаючи значення цих струмів і напруг, повертаємося до електричного кола на попередньому етапі перетворень і розраховуємо струми і напруги, які ще залишилися невідомими.

Таким чином, етап за етапом, використовуючи значення, отримані під час розрахунку на попередньому етапі, розраховуємо струми і напруги в електричних колах на всіх етапах еквівалентних перетворень. На останньому етапі розраховуємо струми і напруги заданого електричного кола.

Наприклад, якщо задане електричне коло має всього одне джерело енергії, то застосувавши низку еквівалентних перетворень його ділянок, зводять електричне коло до нерозгалуженого (одноконтурного), розраховують отримане одноконтурне коло, використовуючи закон Ома. За відомим значенням струму розраховуємо напруги на елементах одноконтурного кола.

**Приклад 1.4.** Визначити струми і обчислити їх значення у вітках електричного кола, електрична схема якого наведена на рис. 1.29 а. Параметри елементів кола мають такі значення:  $E_1=9.0\text{ V}$ ,  $R_1=2.2\text{ k}\Omega$ ;  $R_2=2.4\text{ k}\Omega$ ;  $R_3=2.7\text{ k}\Omega$ ;  $R_4=2.0\text{ k}\Omega$ ;  $R_5=1.8\text{ k}\Omega$ ;  $R_6=1.6\text{ k}\Omega$ ,  $R_7=1.5\text{ k}\Omega$ ,  $R_8=1.3\text{ k}\Omega$ ,  $R_9=1.2\text{ k}\Omega$ ,  $R_{10}=3.0\text{ k}\Omega$ ,  $R_{11}=3.3\text{ k}\Omega$ ,  $R_{12}=3.6\text{ k}\Omega$ ,  $R_{13}=3.9\text{ k}\Omega$ .

### Розв'язок

Застосовуючи послідовно низку еквівалентних перетворень, зводимо задане електричне коло до одноконтурного.

Елементи  $R_9$ ,  $R_{11}$ ,  $R_{12}$ , з'єднаних трикутником (рис. 1.29 а), перетворимо в еквівалентну зірку

$$\begin{aligned} R_{14} &= \frac{R_9 \cdot R_{12}}{R_9 + R_{11} + R_{12}} = \frac{1.2 \cdot 3.6}{1.2 + 3.3 + 3.6} = 0.533 \text{ k}\Omega \\ R_{15} &= \frac{R_{11} \cdot R_{12}}{R_9 + R_{11} + R_{12}} = \frac{3.3 \cdot 3.6}{1.2 + 3.3 + 3.6} = 1.467 \text{ k}\Omega \\ R_{16} &= \frac{R_9 \cdot R_{11}}{R_9 + R_{11} + R_{12}} = \frac{1.2 \cdot 3.3}{1.2 + 3.3 + 3.6} = 0.489 \text{ k}\Omega \end{aligned} \quad (\text{T.6})$$

Послідовно з'єднані елементи  $R_{10}$ ,  $R_{16}$  і  $R_{15}$ ,  $R_{13}$  (рис. 1.29 в) замінюємо еквівалентними  $R_{17}$ ,  $R_{18}$

$$\begin{aligned} R_{17} &= R_{10} + R_{16} = 3.0 + 0.489 = 3.489 \text{ k}\Omega \\ R_{18} &= R_{15} + R_{13} = 1.467 + 3.9 = 5.367 \text{ k}\Omega \end{aligned} \quad (\text{T.7})$$

Елементи  $R_{17}$ ,  $R_{18}$  з'єднані паралельно, тому їх еквівалентний опір  $R_{19}$  дорівнюватиме (рис. 1.29 г)

$$R_{19} = \frac{1}{\frac{1}{R_{17}} + \frac{1}{R_{18}}} = \frac{1}{\frac{1}{3.489} + \frac{1}{5.367}} = 2.114 \text{ k}\Omega \quad (\text{T.8})$$

Послідовно з'єднані елементи  $R_1 - R_3$ ,  $R_2 - R_4$ ,  $R_5 - R_6$ ,  $R_7 - R_8 - R_{14} - R_{19}$  замінюємо еквівалентними (рис. 1.29 г)

$$\begin{aligned} R_{20} &= R_1 + R_3 = 2.2 + 2.7 = 4.9 \text{ k}\Omega \\ R_{21} &= R_2 + R_4 = 2.4 + 2.0 = 4.4 \text{ k}\Omega \\ R_{22} &= R_5 + R_6 = 1.8 + 1.6 = 3.4 \text{ k}\Omega \\ R_{23} &= R_7 + R_8 + R_{14} + R_{19} = 1.5 + 1.3 + 0.533 + 2.114 = 5.448 \text{ k}\Omega \end{aligned} \quad (\text{T.9})$$

Замінюємо паралельно з'єднані елементи  $R_{22}$ ,  $R_{23}$  еквівалентним елементом (рис. 1.29 д)

$$R_{24} = \frac{1}{\frac{1}{R_{22}} + \frac{1}{R_{23}}} = \frac{1}{\frac{1}{3.4} + \frac{1}{5.448}} = 2.093 \text{ k}\Omega \quad (\text{T.10})$$

Електричне коло у результаті еквівалентних перетворень звелось до одноконтурного (рис. 1.29 д). Струм у такому колі визначаємо за законом Ома

$$I_1 = \frac{E_1}{R_{20} + R_{21} + R_{24}} = \frac{9.0}{4.9 + 4.4 + 2.093} = 0.79 \text{ mA} \quad (\text{T.11})$$

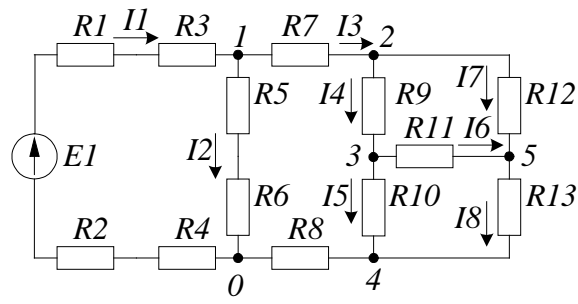
За відомим значенням струму визначаємо напругу між вузлами 1 і 0

$$U_{10} = I_1 R_{24} = 0.79 \cdot 10^{-3} \cdot 2.093 \cdot 10^3 = 1.654 \text{ V} \quad (\text{T.5})$$

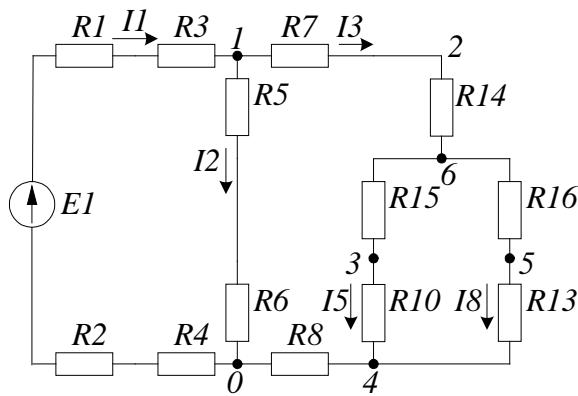
Струми у вітках, розміщених між вузлами 1 і 0, за знайденим значенням напруги  $U_{10}$  визначаються за законом Ома

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{U_{10}}{R_{22}} = \frac{1.654}{3.4} = 0.486 \text{ mA} \\ I_3 &= \frac{U_{10}}{R_{23}} = \frac{1.654}{5.448} = 0.304 \text{ mA} \end{aligned} \quad (\text{T.12})$$

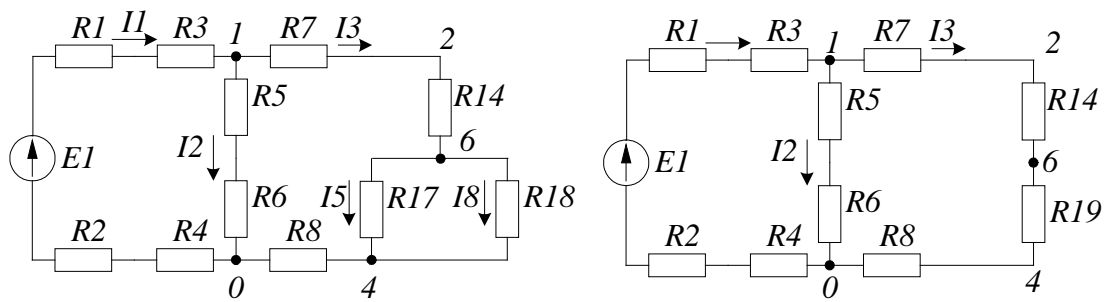




a



б



B

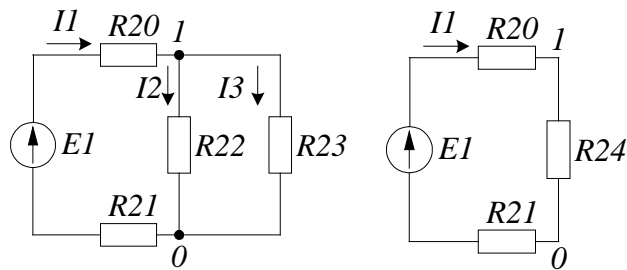


Рис. Т.3

Визначаємо напругу між вузлами 2 і 4 та 6 і 4

$$U_{24} = I_3(R_{14} + R_{19}) = 0.304 \cdot 10^{-3} \cdot (0.533 \cdot 10^{+3} + 2.114 \cdot 10^{+3}) = 0.804 \text{ V}$$
$$U_{64} = I_3 R_{19} = 0.304 \cdot 10^{-3} \cdot 2.114 \cdot 10^{+3} = 0.642 \text{ V} \quad (\text{T.13})$$

Знаходимо струми в елементах R17, R18

$$I_5 = \frac{U_{64}}{R_{17}} = \frac{0.642}{3.489} = 0.184 \text{ mA}$$
$$I_8 = \frac{U_{64}}{R_{18}} = \frac{0.642}{5.367} = 0.12 \text{ mA} \quad (\text{T.14})$$

Знайшовши значення струмів I5, I8, визначаємо напруги між вузлами 3 і 4 та 5 і 4

$$U_{34} = I_5 R_{10} = 0.184 \cdot 10^{-3} \cdot 3.0 \cdot 10^{+3} = 0.552 \text{ V}$$
$$U_{54} = I_8 R_{13} = 0.12 \cdot 10^{-3} \cdot 3.9 \cdot 10^{+3} = 0.466 \text{ V} \quad (\text{T.15})$$

Тоді напруги між вузлами 2 і 3, 2 і 5 та 3 і 5 матимуть такі значення

$$U_{23} = U_{24} - U_{34} = 0.804 - 0.552 = 0.252 \text{ V}$$
$$U_{25} = U_{24} - U_{54} = 0.804 - 0.466 = 0.337 \text{ V}$$
$$U_{35} = U_{34} - U_{54} = 0.552 - 0.466 = 0.085 \text{ V} \quad (\text{T.16})$$

За знайденими значеннями напруг U23, U25, U35 знаходимо струми в елементах R9, R11, R12

$$I_4 = \frac{U_{23}}{R_9} = \frac{0.252}{1.2 \cdot 10^{+3}} = 0.21 \text{ mA}$$
$$I_6 = \frac{U_{25}}{R_{12}} = \frac{0.337}{3.6 \cdot 10^{+3}} = 0.094 \text{ mA}$$
$$I_7 = \frac{U_{35}}{R_{11}} = \frac{0.085}{3.3 \cdot 10^{+3}} = 0.026 \text{ mA} \quad (\text{T.17})$$

Таким чином, застосовуючи еквівалентні перетворення, знайдено струми у всіх вітках заданого електричного кола.

Перевіримо правильність розрахунків, складаючи баланс потужностей у колі.

Потужність джерела електричної енергії становить

$$P_1 = E_1 \cdot I_1 = 9.0 \cdot 0.79 \cdot 10^{-3} = 7.109 \cdot 10^{-3} \text{ W} \quad (\text{T.18})$$

Сумарна потужність всіх споживачів електричної енергії дорівнюватиме

$$P_2 = I_1^2 \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) + I_2^2 \cdot (R_5 + R_6) + I_3^2 \cdot (R_7 + R_8) + I_4^2 \cdot R_9 + \\ + I_5^2 \cdot R_{10} + I_6^2 \cdot R_{11} + I_7^2 \cdot R_{12} + I_8^2 \cdot R_{13} = 7.107 \cdot 10^{-3} \text{ W} \quad (\text{T.19})$$

Отже, у заданому електричному колі виконується баланс потужностей, що свідчить про правильність проведених розрахунків.