

Енергія і потужність в
електричних колах.
Застосування законів Ома
для електричних кіл
постійного струму

План лекції

- 1. Опір
- 2. Робота.
- 3. Енергія.
- 4. Потужність
- 5. Провідність.
- 6. Закон збереження енергії
- 7. Застосування законів Ома для електричних кіл постійного струму

Основні формули

Опір зовнішньої ділянки кола (поза джерелами) дорівнює відношенню напруги на цій ділянці до струму у ньому:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Елемент електричного кола, який призначений для обмеження струму в колі, параметром якого є його електричний опір R , називається резистором.

Одиниця вимірювання опору

$$[R] = \frac{|U|}{|I|} = \frac{В}{А} = Ом.$$

Відповідно до закону Ома для всього ланцюга сила струму I в замкненому ланцюзі є відношення ЕРС E до повного опору ланцюга, тобто сумі зовнішнього R й внутрішнього r опорів:

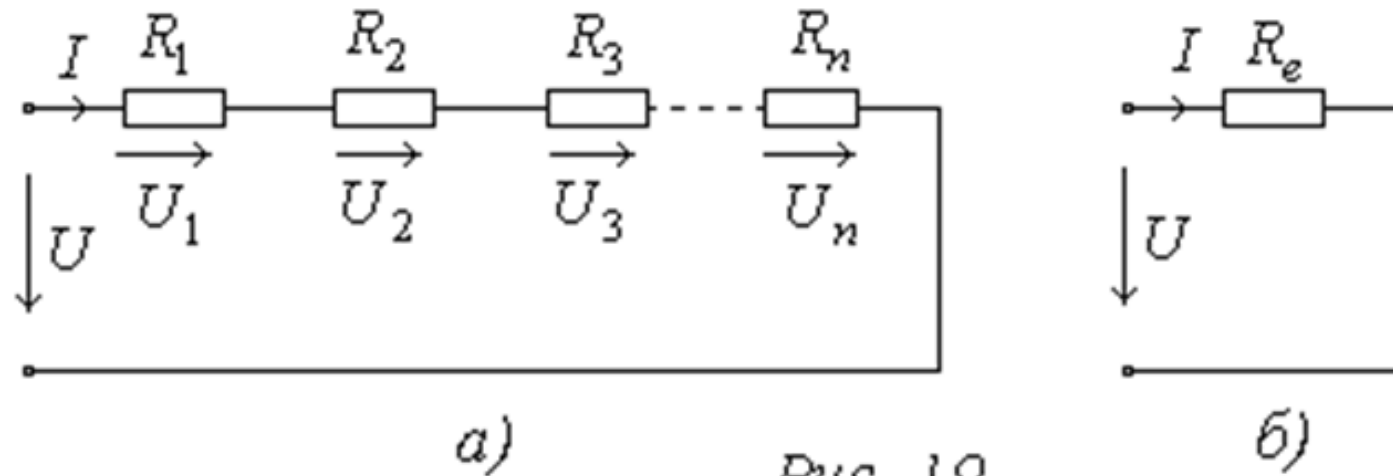
$$I = \frac{E}{R + r}. \quad (2)$$

Загальний опір послідовного ланцюга дорівнює сумі окремих опорів:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (3)$$

Примітка: Електричне коло інколи називають ланцюгом

Послідовне з'єднання резисторів, (Рис. 19 а), при якому у точках з'єднання відсутнє розгалуження, тобто через всі резистори проходить один і той же струм.



Згідно з другим законом Кірхгофа: $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$. Послідовне з'єднання опорів можна замінити одним еквівалентним опором R_e , (Рис. 19 б) з таких міркувань: $IR_e = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots + IR_n$, або: $IR_e = I(R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$, звідки: $R_e = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

Опір проводу може бути знайдений за формулою

$$R = \rho \frac{L}{S},$$

де ρ – питомий опір, Ом/м, який залежить від матеріалу, з якого виготовлено провід (наводиться у довідниках); S – площа перерізу проводу, м²; L – довжина проводу, м.

Опір проводів, резисторів і інших провідників електричного струму залежить від температури T навколишнього середовища:

$$R = R_{20} (1 + \alpha(T - 20^\circ)),$$

де R_{20} – опір при 20 С; α – температурний коефіцієнт опору, який залежить від виду матеріалу, з якого виготовлено провід (наводиться в довідниках).

Провідність

Електрична провідність – це величина, зворотна до опору, тобто

$$G = \frac{1}{R}.$$

- Одиниця вимірювання провідності $[G] = \frac{|1|}{|R|} = \frac{1}{\text{Ом}} = \text{См (Сименс)}.$

Загальна провідність паралельного ланцюга дорівнює сумі окремих провідностей:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

Паралельне з'єднання резисторів, (Рис. 17, а), при якому всі резистори ввімкнені між двома вузлами. Та ж схема може зображатись, як показано на Рис. 17, б, чи Рис. 17, в.

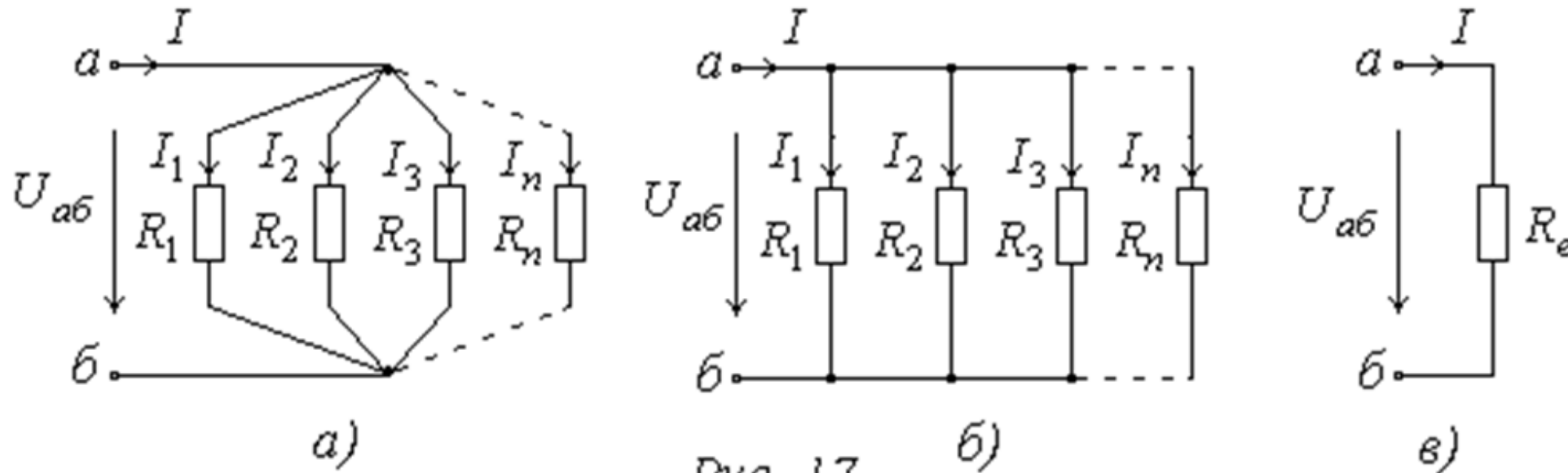


Рис. 17

Згідно з першим законом Кірхгофа $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$. Напруга на всіх резисторах однакова $U = U_{ab}$ тому :

$$\frac{U}{R_e} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_n} \quad \text{або} \quad \frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Робота

З визначення ЕРС (E) випливає, що робота (енергія) сторонніх сил з поділу зарядів у колах постійного струму, яка виконується джерелом електричної енергії за час t , дорівнює

$$A_{\text{дж}} = E Q = E I t .$$

На пасивній ділянці кола, чи, як ще говорять, на навантаженні, у приймачі електричної енергії при напрузі U та струмі I витрачається енергія

$$A_{\text{пр}} = UQ = UIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t .$$

Потужність

Потужність P характеризує інтенсивність перетворення енергії одного виду в іншій за одиницю часу.

Для кола постійного струму потужність джерела

$$P_{\text{дж}} = \frac{A_{\text{дж}}}{t} = EI;$$

потужність приймача

$$P_{\text{пр}} = \frac{A_{\text{пр}}}{t} = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

Одиниця вимірювання потужності в колах постійного струму

$$[P] = \frac{[A]}{[t]} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$$

Закон збереження енергії

На підставі закону збереження енергії потужність, що розвивається джерелами електричної енергії, повинна дорівнювати потужності, яка в зовнішній частині електричного кола перетворюється в інші види енергії:

$$\sum P_{\text{дж}} = \sum P_{\text{пр}} \quad (1.1)$$

або

$$\sum EI = \sum UI \equiv \sum I^2 R \equiv \sum \frac{U^2}{R},$$

де $\sum P_{\text{дж}}$ – сумарна потужностей, що розвиваються джерелами;
 $\sum P_{\text{пр}}$ – сумарна потужностей усіх приймачів і необоротних перетворень енергії всередині джерел, які мають місце через наявність у них внутрішніх опорів.

Рівняння $\sum P_{\text{дж}} = \sum P_{\text{пр}}$ називають балансом потужності електричного кола.

Відповідно до закону збереження енергія не виникає нізвідки й нікуди не зникає, а переходить із однієї форми в іншу. Тому в будь-якому ланцюзі потужність, що розвивається джерелами електричної енергії, дорівнює потужності необоротних перетворень енергії в приймачах:






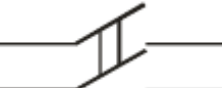





Якщо дійсний напрямок струму в електричному колі збігається з напрямком ЕРС, то джерело виробляє (генерує) електричну енергію і його потужність входить у суму $\sum EI$ зі знаком «плюс».

Якщо дійсний напрямок струму є протилежним напрямку ЕРС, то в цьому разі джерело працює в режимі споживача і є приймачем електричної енергії (наприклад, акумулятор у режимі заряджання). І його потужність або входить у суму $\sum EI$ зі знаком «мінус», або додається зі знаком «плюс» до правої частини рівняння (1.1).

$$\sum P_{дж} = \sum P_{пр} \quad (1.1)$$

$$\sum EI = \sum UI \equiv \sum I^2 R \equiv \sum \frac{U^2}{R},$$

Умовні графічні зображення деяких елементів кола

Назва елемента	Умовне зображення	Назва елемента	Умовне зображення
Джерело електричної енергії		Одиночний провідник	
Гальванічний елемент (аккумулятор)		Провідники, що перетинаються без з'єднання	
Активний опір		Гальванічне з'єднання провідників	
Змінний активний опір		Однополюсний вимикач	
Ротор (якір) електричного двигуна		Двополюсний вимикач	
Лампа розжарювання		Триполюсний вимикач	
Плавкий запобіжник		Амперметр	
Ватметр		Вольтметр	

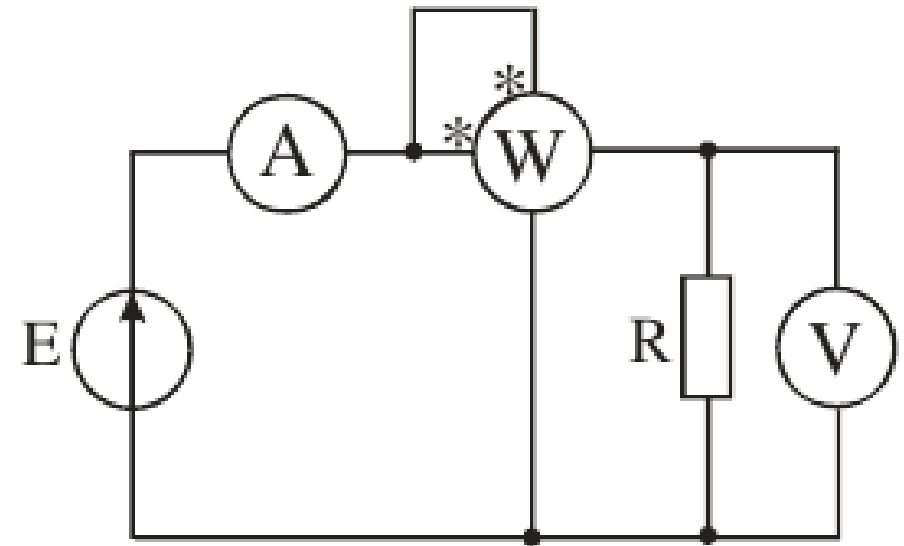
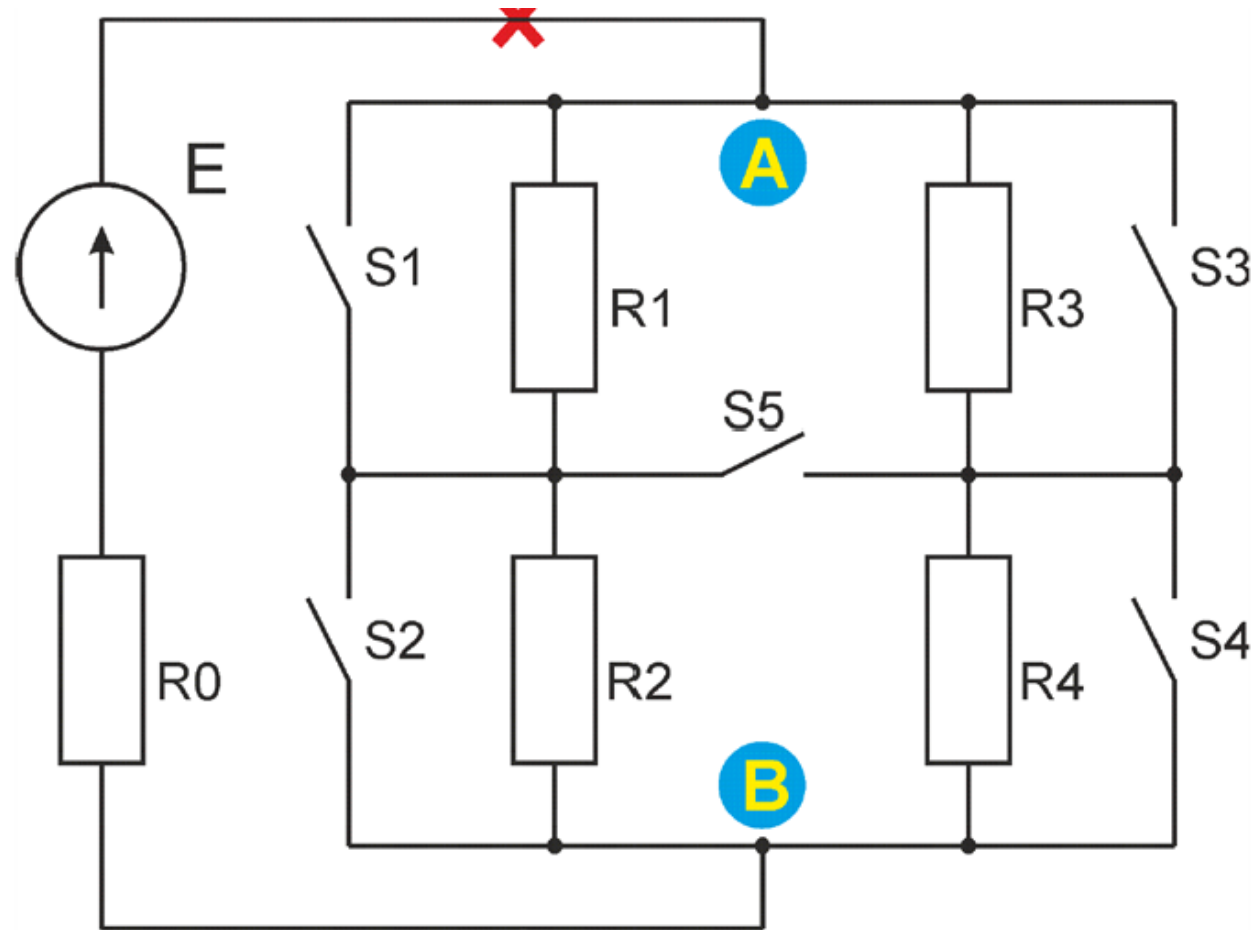


Схема для вимірювання параметрів кола постійного струму

Задача

Для електричного кола постійного струму визначити еквівалентний опір споживача R_{Σ} (R_{AB}), струм навантаження, напругу на затискачах споживача U_{AB} , потужність споживача P_{AB} і потужність джерела живлення $P_{дж}$, скласти баланс потужностей, побудувати зовнішню характеристику джерела живлення. Вихідні дані - положення вимикачів $S1 - S4$, ЕРС джерела E , внутрішній опір джерела R_0 , опори резисторів $R_1 - R_4$ для відповідних варіантів наведені в таблиці.

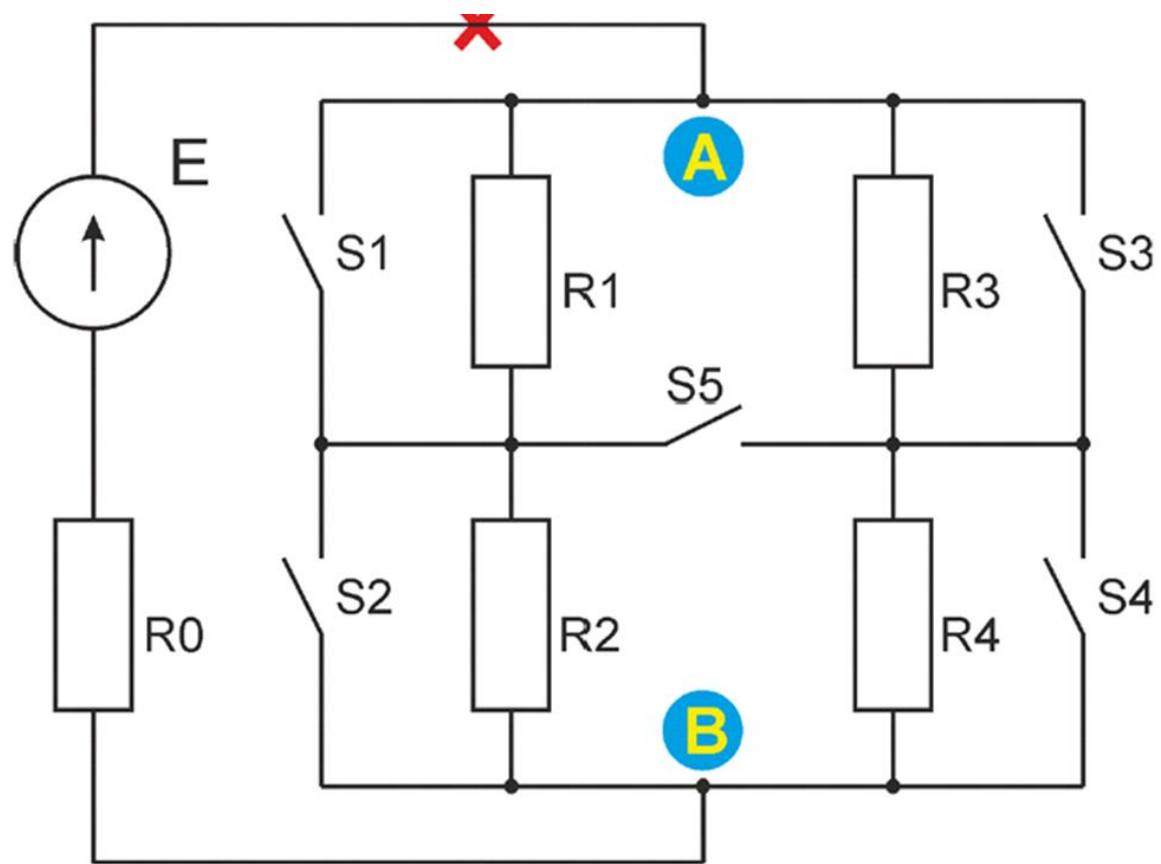


Мал. 1

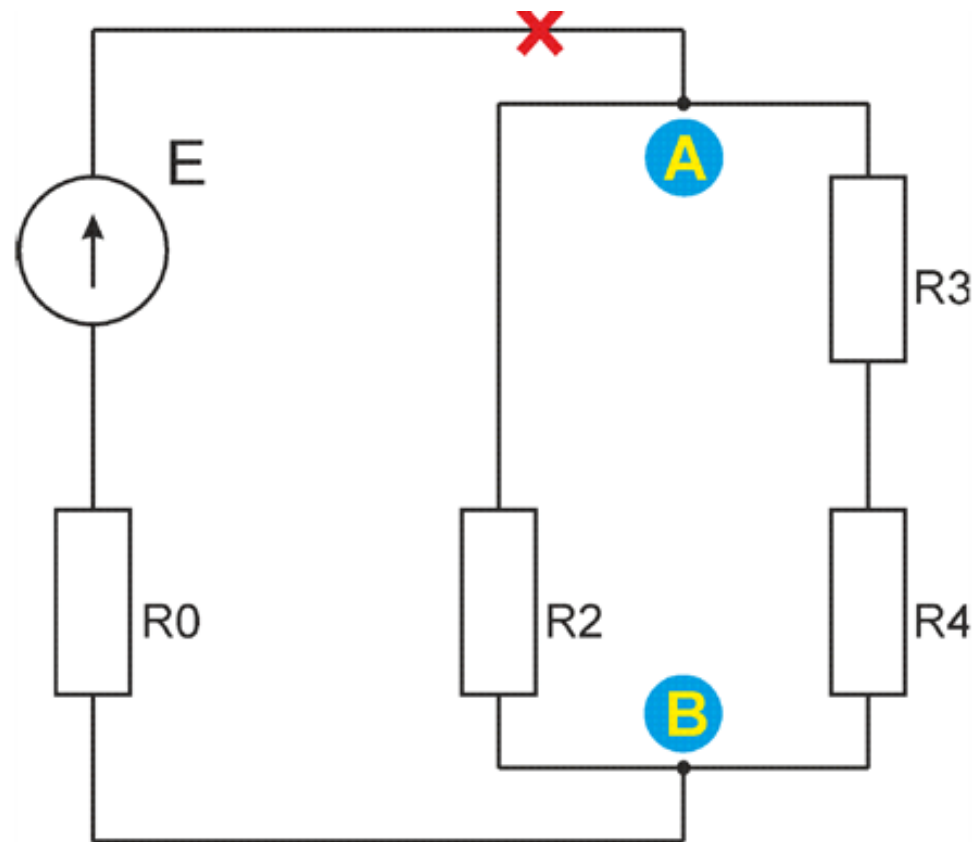
Таблиця 1

№ варіант у	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	E , В	R_0 , Ом	Замкнутий вимикач
0	25	15	6	4	12,6	0,3	S1

З урахуванням того, що в нашому випадку вимикач $S1$ замкнений, схема кола має вигляд, представлений на мал. 2.



Мал. 1



Мал. 2.

Загальний опір послідовного ланцюга дорівнює сумі окремих опорів:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Загальна провідність паралельного ланцюга дорівнює сумі окремих провідностей:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

Еквівалентний опір споживача $\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4}$

$$R_{AB} = \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + (R_3 + R_4)} = \frac{15 \cdot (6 + 4)}{15 + (6 + 4)} = 6 \text{ Ом.}$$

Струм навантаження, у відповідності з законом Ома для повного (замкненого) кола,

$$I = \frac{E}{R_{AB} + R_0} = \frac{12,6}{6 + 0,3} = 2 \text{ А.}$$

Напруга на затискачах споживача у відповідності з законом Ома для ділянки кола,

$$U_{AB} = I \cdot R_{AB} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ В.}$$

Потужність споживача

$$P_{AB} = I \cdot U_{AB} = 2 \cdot 12 = 24 \text{ Вт.}$$

Потужність джерела живлення

$$P_{ДЖ} = I \cdot E = 2 \cdot 12,6 = 25,2 \text{ Вт.}$$

Втрати у джерелі (потужність, яка втрачається у джерелі живлення на його внутрішньому опорі, переходить у тепло)

$$\Delta P_{дж} = I^2 R_0 = 2^2 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ Вт.}$$

Перевіряємо баланс потужностей (потужність, яка виробляється у джерелі електричної енергії, має дорівнювати потужності, яка витрачається в колі):

$$P_{дж} = P_{ав} + \Delta P_{дж};$$

$$25,2 = 24 + 1,2;$$

$$25,2 = 25,2.$$

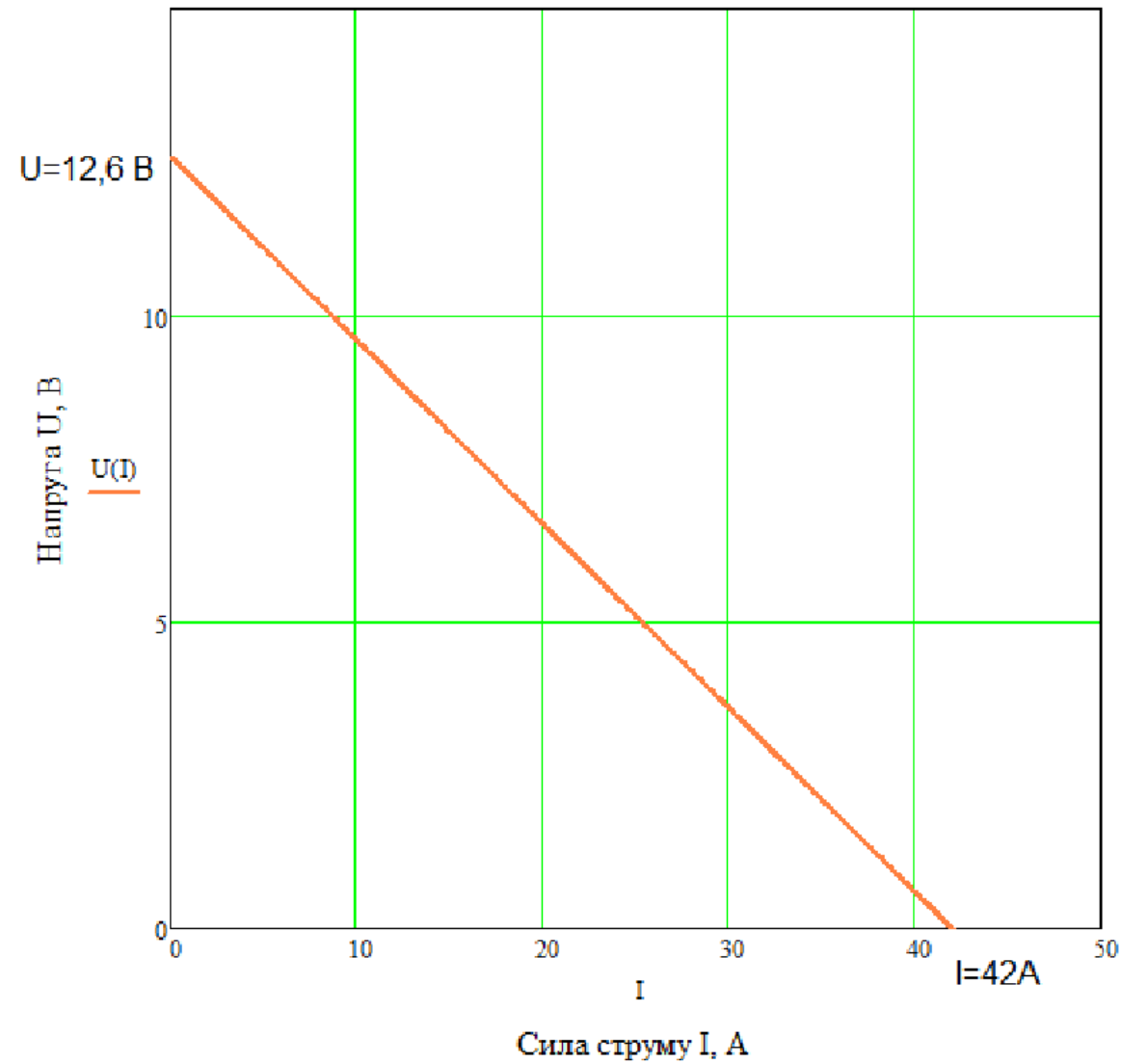
Баланс зійшовся, отже коло розраховане вірно.

Зовнішня воль-амперна характеристика джерела живлення

Зовнішня характеристика джерела живлення являє собою залежність напруги на затискачах джерела від струму навантаження $U = f(I)$. При $I = 0$ напруга досягає найбільшого значення напруги холостого ходу $U_{ХХ} = E = 12,6$ В, тобто ЕРС. Максимального значення струм досягає при короткому замиканні

$$I_{кз} = \frac{E}{R_0} = \frac{12,6}{0,3} = 42 \text{ А.}$$

Зовнішня характеристика джерела живлення



Мал. 3.

Відповідь. $R_{AB} = 6$ Ом, $I = 2$ А, $U_{AB} = 12$ В, $P_{AB} = 24$ Вт, $P_{ДЖ} = 25,2$ Вт.