

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія економіки, соціально-гуманітарних та
фундаментальних дисциплін**

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ
з навчальної дисципліни «Фізика»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**173 Авіоніка
Авіоніка**

за темою - Закони постійного струму

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 22.02.2024 №2

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу Харківського
національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 17.01.2024 №6

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з гуманітарних та соціально-
економічних дисциплін
Протокол від 22.02.2024 №2

Розглянуто на засіданні циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, протокол від 05.01.2024 №14

Розробник:

Викладач циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, Пузир М.С.

Рецензенти:

1. Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук, доцент Черниш А.А.

2. Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань КЛК ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.

План лекції:

1. Електричний струм.
2. Закон Ома для ділянки кола. Електричні кола з послідовним і паралельним з'єднанням провідників.
3. Залежність електричного опору від матеріалу довжини і площі поперечного перерізу провідника.
4. Закон Ома для повного кола.
5. Правила Кіргофа.

Рекомендована література:

Основна

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К.: Техніка, 2008. – 608 с.

Додаткова

- 2 Курс фізики : навчальний посібник / [Зачек І. Р., Кравчук І. М., Романишин Б. М., Габа В. М., Гончар Ф. М.]. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.
4. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.
4. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.
5. Збірник задач з фізики : навчальний посібник / [Лопатинський І. Є., Зачек І. Р., Середа В. М., Крушельницька Т. Д., Українець Н. А.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 124с.

Текст лекції

1.Електричний струм.

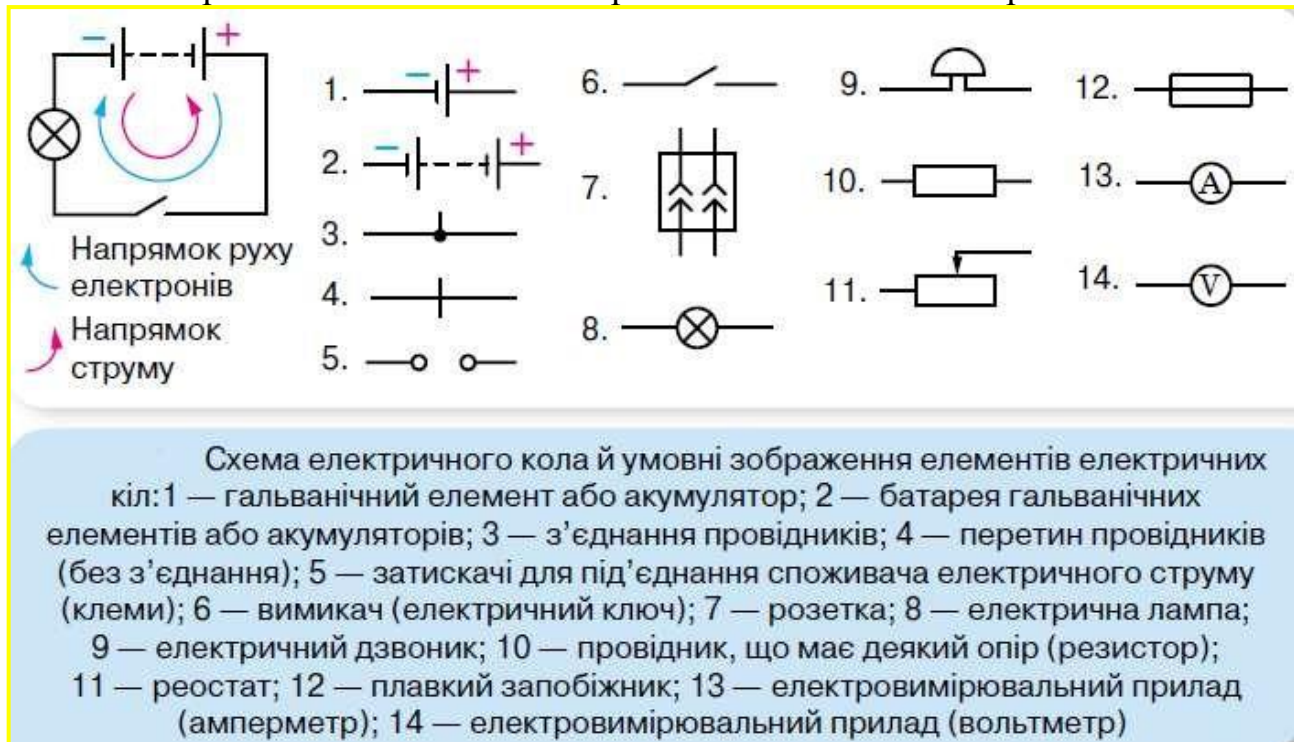
Ми з'ясували, що рухомі носії зарядів у провіднику переміщуються під дією зовнішнього електричного поля доти, доки не вирівняються потенціали всіх точок провідника. Проте якщо у двох точках провідника якимось чином штучно підтримувати різні потенціали, то це поле забезпечуватиме безперервний рух зарядів: позитивних — від точок з більшим потенціалом до точок з меншим потенціалом, а негативних — навпаки. Коли ця різниця потенціалів не змінюється із часом, то в провіднику встановлюється постійний електричний струм.

Напрямлений рух вільних зарядів у провіднику називається електричним струмом провідності, або електричним струмом.

Основними умовами існування електричного струму є:

1. наявність вільних заряджених частинок;
 2. наявність джерела струму, що створює електричне поле, дія якого зумовлює напрямлений рух вільних заряджених частинок;
 3. замкненість електричного кола, що забезпечує циркуляцію вільних заряджених частинок.
- Залежно від величини питомого опору, який речовини чинять постійному струму, вони поділяються на: провідники, напівпровідники, діелектрики.
 - Залежно від середовища розрізняють особливості проходження електричного струму, зокрема в металах, рідинах і газах, де носіями струму можуть бути вільні електрони, позитивні й негативні іони.

Схема електричного кола. Умовні зображення елементів електричного кола.



Повне електричне коло (мал.) містить джерело і споживач електричного струму, пристрій для замикання (розмикання) електричного кола. За напрямком струму в колі умовно обирають напрямок від позитивного полюса джерела струму до негативного (реальний рух носіїв струму — електронів — відбувається у зворотному напрямку).

Основні фізичні величини, що характеризують електричний струм.

Сила струму I — фізична величина, яка характеризує швидкість перерозподілу електричного заряду в провіднику й визначається відношенням заряду q , що проходить через будь-який переріз провідника за

час t , до величини цього інтервалу часу $I = \frac{q}{t}$ **Одиниця сили струму — ампер, $1 \text{ A} = 1 \text{ Кл/с}$.**

(Термін «сила струму» запропонували задовго до встановлення наукових положень електродинаміки. Він дещо невдалий, оскільки жодного стосунку до «сили» він не має.)

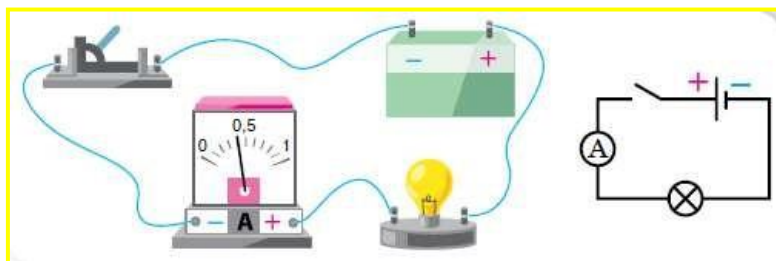
1 А дорівнює силі струму, який, проходячи у двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини та малої площі поперечного перерізу, розташованих у вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликав би на кожній ділянці провідників довжиною 1 м силу взаємодії, що дорівнює $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$.

Для організму людини вважається безпечною сила струму, значення якої не перевищує 1 мА; сила струму 100 мА може призвести до серйозних уражень.

Силу струму в колі вимірюють за допомогою спеціального приладу — амперметра, котрий вмикають послідовно з провідником, у якому вимірюють силу струму (мал.).

Амперметр підключається так: (мал.)

Не можна приєднувати амперметр до кола, у якому відсутній споживач струму.



Електричний опір R — це фізична величина, яка характеризує властивість провідника протидіяти проходженню електричного струму.

Одиниця електричного опору — ом, 1 Ом.

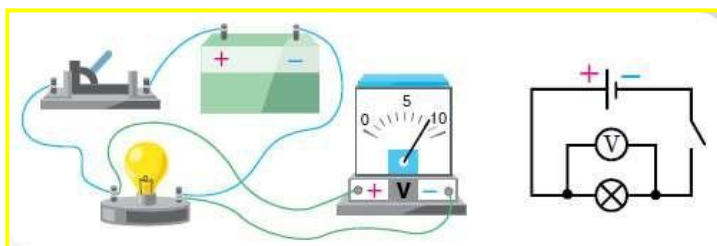
Опір провідника залежить від його фізичних параметрів — довжини l , площі поперечного перерізу S та питомого опору речовини ρ , з якої його виготовлено:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Напруга (U) на ділянці електричного кола — це різниця потенціалів між двома точками електричного поля яка чисельно дорівнює відношенню роботи, котру треба виконати для переміщення заряду з однієї точки поля в іншу точку, до величини цього заряду.

Напруга в системі SI вимірюється у вольтах (В).

$U = W_{\text{ст}}/q$, де $W_{\text{ст}}$ — робота сторонніх сил по переміщенню заряду, q - одиниця заряду $U = \phi_1 - \phi_2$, де $\phi_1 - \phi_2$ - різниця потенціалів.



Із закону Ома для неповного кола: $U = I \cdot R$, де I -струм, R -опір провідника.

Одиниця напруги — вольт, 1 В. Прилад для вимірювання напруги називають **вольтметром**.

Вольтметр приєднують до електричного кола паралельно ділянці кола, на якій необхідно виміряти напругу (мал.).

2. Закон Ома для ділянки кола. Електричні кола з послідовним і паралельним з'єднанням провідників.

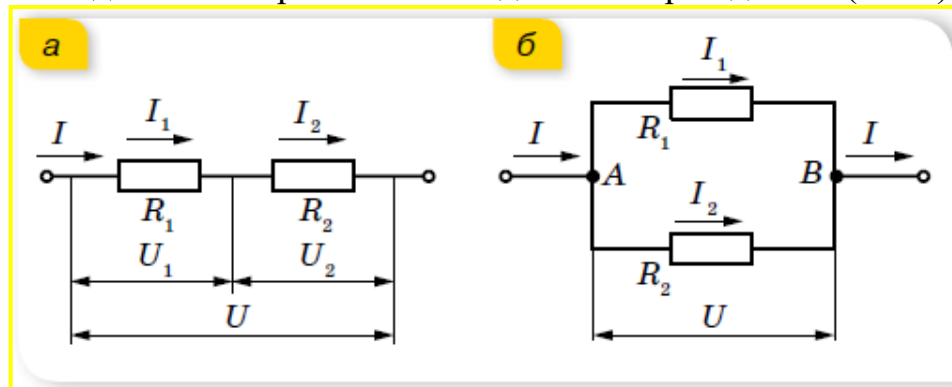
Закон Ома встановлює залежність сили струму від різниці потенціалів (електричної напруги) між двома фіксованими точками електричного кола. Відкритий у 1826 р. Георгом Омом. Відповідно до особливостей електричних кіл, закон Ома має кілька формулювань.

Коло постійного струму можна розбити на окремі ділянки. Ті ділянки, що не містять джерел струму, називають однорідними. Ділянки, що включають джерела струму, називають відповідно неоднорідними.

Для однорідної ділянки кола сила струму I прямо пропорційна напрузі U на даній ділянці кола й обернено пропорційна її опору R : $I = \frac{U}{R}$

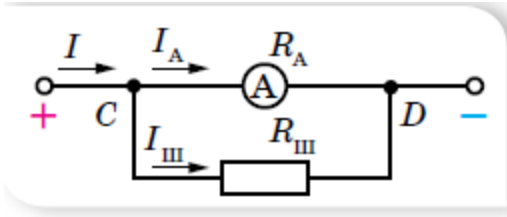
Послідовне і паралельне з'єднання провідників.

Пригадаймо співвідношення між струмами й напругами на ділянках кола з послідовним і паралельним з'єднанням провідників (табл.).



У разі послідовного з'єднання провідників (мал. а) виконуються такі співвідношення:	У разі паралельного з'єднання провідників (мал. б) виконуються такі співвідношення:
1) сила струму в усіх провідниках однакова, $I = I_1 = I_2$;	1) спад напруг на окремих провідниках і на всьому з'єднанні — однаковий: $U = U_1 = U_2$;
2) напруга на всьому з'єднанні дорівнює сумі спадів напруг на кожному провіднику, $U = U_1 + U_2$;	2) сила струму до розгалуження дорівнює сумі сили струму в кожному провіднику, $I = I_1 + I_2$;
3) напруга на кожному провіднику прямо пропорційна опорам провідників, $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$;	3) сила струму в окремих провідниках обернено пропорційна опорам цих провідників, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$;
4) загальний опір з'єднання дорівнює сумі опорів кожного провідника, $R = R_1 + R_2$. У випадку з'єднання N провідників їх загальний опір $R = \sum_{i=1}^N R_i$.	4) величина, обернена до загального опору, дорівнює сумі обернених величин опорів кожного провідника, $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$. У випадку з'єднання N провідників $\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$.

Розширення меж вимірювальних приладів.



Для вимірювання сили струму, що перевищує значення, на яке розрахований прилад, тобто для розширення меж його вимірювання, до амперметра підключають шунт, який на малюнку позначено $R_{\text{ш}}$. Шунт — це звичайний резистор, який під'єднують до приладу паралельно.

Визначимо опір шунта, який необхідно підключити до амперметра у випадку, якщо потрібно виміряти силу струму, що в n разів перевищує силу струму, на яку розрахований прилад, тобто $n = I/I_A$. Опір амперметра позначимо R_A .

У цьому разі сила струму I , яку вимірюють, дорівнює сумі струмів, що проходять через шунт і амперметр: $I = I_A + I_{\text{ш}}$. Оскільки I_A менша від вимірюваної I в n разів, то ціна поділки амперметра (якщо шкала приладу рівномірна) зросте також в n разів. Тобто відхиленню стрілки амперметра на одну поділку відповідатиме в n разів більша сила струму.

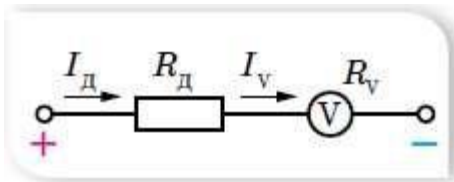
За законом Ома для ділянки кола: $R_{\text{ш}} = \frac{U}{I_{\text{ш}}}$. Ураховуючи, що $I_{\text{ш}} = I - I_A$

та $U = U_A = I_A R_A$, отримаємо: $R_{\text{ш}} = \frac{I_A}{I - I_A} R_A$. Оскільки $I = n I_A$, остання

формула набуде вигляду $R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{n - 1}$.

А струм, який тече через шунт, дорівнюватиме:

$$I_{\text{ш}} = n I_A - I_A = (n - 1) I_A.$$



Розширення меж вимірювання вольтметром здійснюють за допомогою підключення до приладу резистора (який називають додатковим опором). Додатковий опір $R_{\text{д}}$ під'єднують до вольтметра послідовно (мал.), тому сила струму в ньому та на приладі — однакові: $I = I_{\text{д}} = I_{\text{в}}$.

3. Залежність електричного опору від матеріалу довжини і площі поперечного перерізу провідника

Електричний опір зумовлений тим, що вільні електрони в процесі дрейфу взаємодіють з позитивними іонами кристалічних ґрат металу. При підвищенні температури частішають співдари електронів з іонами, тому опір провідників залежить від температури, а також від матеріалу провідника, тобто будови його кристалічних ґрат. Для однорідного циліндричного провідника завдовжки l і площею поперечного перерізу S опір визначають за формулою

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

Питомий опір найбільш поширених провідників

Матеріал	$\rho \cdot 10^{-8}, \text{ Ом} \cdot \text{м}$	Характеристика матеріалу
Срібло	1,6	Найкращий провідник
Мідь	1,7	Застосовують найчастіше
Алюміній	2,9	" часто
Залізо	9,8	рідко

де $\rho = RS/l$ – питомий опір провідника (опір однорідного циліндричного провідника), який має одиничну довжину і одиничну площу поперечного перерізу).

Одиниця опору - ом (Ом).

Ом – опір провідника, по якому при напрузі 1 В проходить струм 1 А, $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В} / \text{А}$.

Величину $\sigma = 1/\rho$, обернену до питомого опору, називають питомою електричною провідністю провідника.

Одиниця електричної провідності – сименс (См).

Сименс – електрична провідність провідника опором 1 Ом, тобто $1 \text{ См} = 1 \text{ Ом}^{-1}$.

З формули $R = \rho \frac{l}{S}$ випливає, що одиницею питомого опору є ом-метр (Ом·м).

4. Закон Ома для повного кола

Розглянемо замкнене коло, яке складається із зовнішньої частини, що має опір R , і з внутрішньої – джерела струму, опір якого r . За законом збереження енергії, ЕРС джерела струму дорівнює сумі спадів напруг на зовнішній і внутрішній ділянках кола, оскільки при переміщенні по замкнутому колу заряд повертається у вихідне положення в точку з тим самим потенціалом (тобто $\varphi_A - \varphi_B$):

$$\varepsilon = IR + Ir,$$

де IR і Ir -спади напруги відповідно на зовнішній і внутрішній ділянках кола. Звідси

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Формула $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ виражає закон Ома для повного кола:

сила струму в колі пропорційна ЕРС, яка діє в колі, і обернено пропорційна сумі опорів кола і внутрішнього опору джерела.

ЕРС, як і сила струму, - величина алгебрична. Якщо ЕРС сприяє руху позитивних зарядів у певному напрямі, то її вважають додатною ($\varepsilon > 0$).

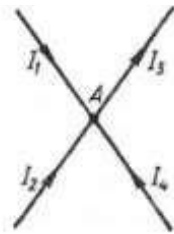
Якщо ЕРС перешкоджає руху позитивних зарядів у певному напрямі, то її вважають від'ємною.

Треба мати на увазі, що формулою $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ можна користуватися тільки тоді, коли струм проходить усередині джерела від негативного полюса до позитивного, а в зовнішньому колі – від позитивного полюса до негативного.

5. Правила Кіргофа.

Правила Кірхгофа

У загальному випадку на практиці часто доводиться розраховувати складні розгалужені електричні кола, які містять вузли. Вузлом А у розгалуженому колі називають точку, в якій збігаються не менш як три провідники.



Звичайно, значні труднощі становлять задачі, пов'язані з визначенням сили струмів у всіх ділянках розгалуженого кола, якщо задано значення опорів і ЕРС. Безпосередньо застосувати закон Ома дуже важко, і найчастіше це призводить до помилок під час розрахунку. Труднощі під час розв'язування таких задач спрощуються, якщо застосовувати правила Кірхгофа.

Наслідком закону збереження заряду, за яким у жодній точці провідника не повинні нагромаджуватись або зникати заряди (це стосується вузлів), є перше правило Кірхгофа:

алгебрична сума струмів, які збігаються у вузлі, дорівнює нулю:

$$\sum_{i=1}^k I_i = 0$$

Це правило можна сформулювати й так:

кількість зарядів, які входять у дану точку провідника за деякий час, дорівнює кількості зарядів, які виходять з даної точки за той самий час.

Струми, які підходять до вузла, вважають додатними, а струми, які відходять від нього, – від'ємними. Наприклад, для вузла А перше правило запишемо так:

$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0$$

Узагальненням закону Ома є друге правило Кірхгофа, воно стосується будь-якого замкненого контуру розгалуженого електричного кола:

у будь-якому замкненому контурі розгалуженого кола алгебрична сума ЕРС дорівнює алгебричній сумі добутків струмів на опори відповідних ділянок цього контуру:

$$\sum_{i=1}^m I_i R_i = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$$

де m - кількість ділянок у замкненому контурі; n - кількість джерел струму.

Використовуючи правила Кірхгофа, розгалужене коло постійного струму треба розраховувати в такій послідовності:

1. Довільно вибрати напрям обходу контуру (за рухом стрілки годинника або проти).
2. Довільно вибрати і позначити на схемі стрілками напрям струмів на всіх ділянках кола, причому в межах однієї ділянки (ділянка - це частина кола між сусідніми вузлами) струм повинен мати тільки одне значення і один напрям.
3. Довільні замкнені контури виділяють так, щоб кожний новий контур мав хоча б одну ділянку кола, яка не входить до раніше розглянутих контурів.
4. Якщо вибраний напрям обходу контуру збігається з напрямом струму I_i , то добуток $I_i R_i$, беруть із знаком плюс, і навпаки.
5. Перед ε_i ставлять знак плюс, якщо при обході контуру доводиться йти всередині джерела від негативного полюса до позитивного (тобто, якщо на шляху обходу контуру потенціал зростає), інакше ЕРС записують із знаком мінус.

Правила Кірхгофа дають можливість визначити силу і напрям струму будь-якій частині розгалуженого кола, якщо відомі опори його ділянок і ввімкнені в них ЕРС.

Для системи з n провідників, що утворюють r вузлів, складають n рівнянь: $k - 1$ рівнянь для вузлів і $n - (k - 1)$ рівнянь для незалежних замкнутих контурів.

Якщо, розв'язавши рівняння, виявимо, що значення якого-небудь струму буде від'ємне, то треба змінити умовно взятий напрям цього струму на протилежний, зберігаючи його знайдене абсолютне значення незмінним.

Для прикладу розрахуємо електричне поле. Візьмемо напрям обходу контуру за рухом стрілки годинника, а напрям струмів - так, як показано. Складемо рівняння:

$$\begin{aligned} I_1 r_1 + IR &= \varepsilon_1 \text{ (для контуру } A\varepsilon_1 B R A), \\ I_2 r_2 + IR &= -\varepsilon_2 \text{ (для контуру } A\varepsilon_2 B R A), \\ I - I_1 - I_2 &= 0 \text{ (для вузла } A). \end{aligned}$$

Підставивши числові значення з умови задачі, можна визначити невідомі струми, опори або Е