

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІ-  
ШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

## **ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Основи електрики та електроніки, електричні  
вимірювання та їх стандартизація»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт  
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

**за темою № 3 - Постійний електричний струм. Закони Ома та Джоуля-  
Ленца. Електрорушійна сила**

**Кременчук 2023**

### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

### **СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного уні-  
верситету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

### **ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1

**Розробник:** викладач циклової комісії Авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, спеціаліст вищої категорії, Юрко О.О.

### **Рецензенти:**

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

### **План лекції:**

1. Сила струму, щільність струму
2. Закон Ома для однорідної ділянки кола
3. Електрорушійна сила (ЕРС)
4. Робота електричного струму. Закон Джоуля-Ленца
5. Закон Ома для неоднорідного кола
6. Розгалужені кола. Закони Кірхгофа

### **Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті**

#### **Основна:**

1. Болюх В. Ф., Данько В. Г., Гончаров Є. В. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки. Харків: Планета-Прінт, 2019. 248 с.
2. Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якименко Ю. І. Напівпровідникові прилади: Підручник. Київ: ІВЦ Видавництво "Політехніка", 2003. 338 с.
3. Кармазін В.В., Семенець В.В Курс загальної фізики. Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ: Кондор, 2016. 786 с.
4. Коваль Ю. О., Гринченко Л. В., Милютченко І. О., Рибін О. І. Основи теорії кіл. Ч. 1. Харків: Компанія СМІТ, 2008. 432 с.
5. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Теорія і практикум: навч. посіб. Київ: Каравела, 2004. 432 с.
6. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 133 с.

#### **Допоміжна:**

1. Андріяшик М. В., Вербицький Б. І., Король А.М. Курс фізики. Київ: Фламенко, 2008. 530 с.
2. Готра З. Ю., Лопатинський І. Є., Лукіянець Б. А., Микитюк З. М., Петрович І. В. Фізичні основи електронної техніки: Підручник. Львів: Видавництво "Бескид Бит", 2004. 880 с.
3. Гумен Б. М., Гуржій А. М., Співак В. М. Основи теорії електричних кіл: у 3 кн. Київ: Вища шк., 2003.
4. Дмитрієва В. Ф. Фізика: Навч. посіб, Київ: Техніка, 2008. 648 с.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

1. <https://www.youtube.com/channel/UCWfhBu4fAt126ZbxREz3IBw>

## Текст лекції

## 1. Сила струму, щільність струму

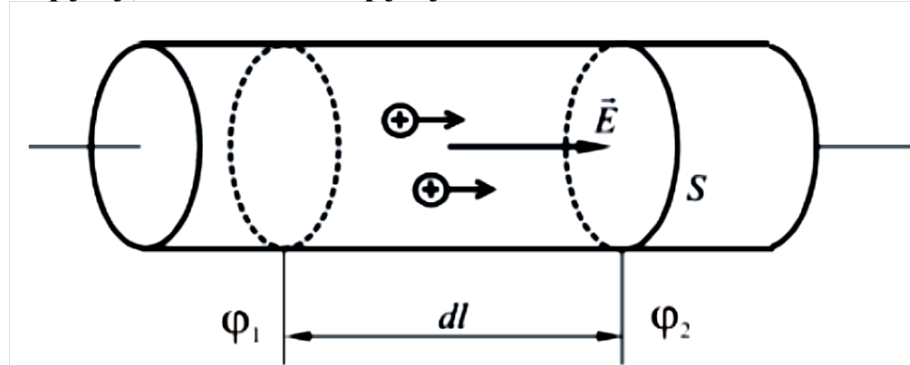


Рисунок 1 – До пояснення утворення електричного струму у провіднику

*Електричним струмом* називають будь-який впорядкований (спрямований) рух електричних зарядів.

Якщо спрямований рух відбувається під дією електричного поля, струм називають *струмом провідності*, якщо ж під дією механічного переміщення макроскопічного тіла, то струм називають *конвекційним*.

*Сила струму* – це скалярна величина, що визначається електричним зарядом  $dq$ , який проходить перерізом провідника в одиницю часу  $dt$ .

$$I = \frac{dq}{dt}. \quad (1)$$

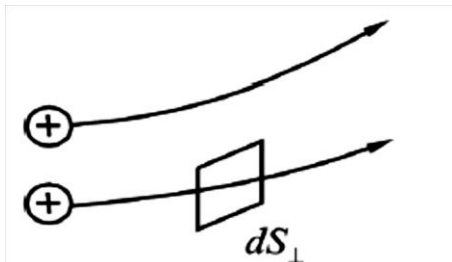


Рисунок 2 – До визначення щільності струму

За додатний напрям струму умовно приймають напрям руху позитивних зарядів. Одиниця сили струму – ампер (А).

Якщо сила струму та його спрямування не змінюються у часі, то такий струм називають *постійним*. Якщо ж змінюються – *змінним*.

*Щільність струму* – це векторна фізична величина, модуль якої дорівнює силі струму  $dI$  через одиничну площадку  $dS_{\perp}$ , перпендикулярну напрямку руху зарядів у даній точці провідника, а напрям збігається з напрямом руху зарядів та напрямком напруженості поля  $\vec{E}$  у даній точці:

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}}.$$

Одиниця виміру щільності струму: А/м<sup>2</sup>.

### Зв'язок між щільністю струму і швидкістю руху вільних зарядів

Вважатимемо, що провідник являє собою циліндр перерізом  $dS$ , а напруженість електричного поля спрямована вздовж осі циліндру (рис. 3.1).

Визначимо величину заряду, що проходитиме перерізом 2 за проміжок часу  $dt$ . Вочевидь, що всі заряди, які знаходяться у відрізку циліндру висотою

$$dl = vdt,$$

пройдуть перерізом 2. Тут  $v$  – швидкість впорядкованого руху зарядів. Величина заряду, який знаходиться у даному об'ємі, дорівнює

$$dq = q_0 n \times dV = (q_0 n S v) dt,$$

де  $q_0$  – величина заряду одного носія;

$n$  – концентрація носіїв зарядів;

$dV = S dl = S v dt$  – об'єм частини циліндру.

За визначенням (3.1) сила струм, що тече перерізом провідника:

$$I = \frac{dq}{dt} = q_0 n S v.$$

Модуль щільності струму (1.60)

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}} = q_0 n v.$$

Напрямок вектору  $\vec{j}$  збігається із напрямком швидкості впорядкованого руху зарядів, тому

$$\vec{j} = q_0 n \vec{v}. \quad (2)$$

## 2. Закон Ома для однорідної ділянки кола

*струм, який тече провідником є пропорційним різниці потенціалів (напруги), прикладеній до провідника:*

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}. \quad (3)$$

$R$  – електричний опір, Ом:

*Опір циліндричного провідника, у якого довжина ( $l$ ) є набагато більшою за площу перерізу ( $S$ ) (дріт):*

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (4)$$

де  $\rho$  – питомий опір провідника – коефіцієнт, що характеризує електричні властивості матеріалу, з якого виготовлений провідник.

Одиницею виміру питомого опору в системі СІ є Ом·м. Це опір кубу з довжиною ребра 1 м.

Встановимо зв'язок між щільністю струму і напруженістю електричного поля для однорідного циліндричного провідника.

$$I = jS; R = \rho \frac{l}{S}; U = El.$$

Підставляючи у формулу закону Ома (3.3), одержимо

$$j = \frac{1}{\rho} E.$$

Щільність струму і напруженість електричного поля – це вектори.

*Законом Ома у диференціальній формі:*

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}. \quad (5)$$

$\sigma = 1/\rho$  – питома електропровідність.

### 3. Електрорушійна сила (ЕРС)

Закон збереження електричного заряду стверджує, що у замкненій системі заряд зберігається.

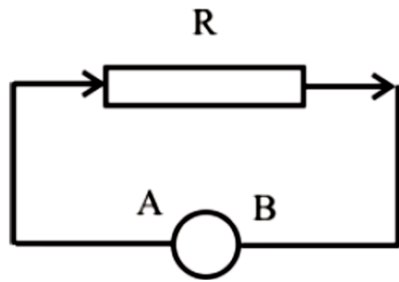


Рисунок 3 – Електричне коло постійного струму

Електричні кола постійного струму являють собою замкнені контури, а вільні заряди переміщуватимуться за замкненими траєкторіями (рис. 3).

Заряди під дією електричного поля переміщуватимуться від точок з більшим потенціалом до точок з меншим потенціалом. Це призводить до вирівнювання потенціалів у всіх точках кола та до зникнення електричного поля.

Для того, щоб рух зарядів був неперервним у електричному колі має бути присутнім пристрій, який зможе підтримувати різницю потенціалів за рахунок сторонніх, не електростатичних сил.

В електричному колі пристрій, в якому над зарядами здійснюють роботу сторонні, не електростатичні сили, називають **джерелом струму**.

**Електрорушійною силою  $\mathcal{E}$  джерела (ЕРС)** називають відношення роботи сторонніх сил по переміщенню заряду  $q$  до величини переміщеного заряду:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{стор. сил}}}{q}. \quad (6)$$

Величина ЕРС вимірюється у вольтах (В).

### 4. Робота електричного струму. Закон Джоуля-Ленца

Якщо провідником тече струм силою  $I$ , то за відрізок часу  $dt$  перерізом провідника пройде заряд

$$dq = Idt.$$

Заряд, що дорівнює  $dq$ , у перерізі 1 ввійде у провідник і такий самий заряд вийде з провідника через переріз 2 (рис. 1). Можна вважати, що за час  $dt$  заряд змістився з перерізу 1 до перерізу 2, при цьому електростатичними силами над цим зарядом була виконана робота

$$dA_{12} = dq(\varphi_1 - \varphi_2) = UI dt$$

Потужність, що була розвинута на ділянці кола між точками 1 та 2, за визначенням, дорівнюватиме:

$$P = \frac{dA_{12}}{dt} = IU.$$

Робота, виконана струмом, призведе до виділення енергії. Це може бути механічна енергія, коли струм тече обмотками електродвигуна, хімічна – під час зарядки акумулятору. Якщо ж перехід у інші види енергії відсутній, то робота переходитиме у теплову енергію  $dA = dQ$ .

Одержимо формули для кількості теплоти  $dQ$  (Дж) та потужності  $P$ :

$$dQ = I^2 R dt. \quad (7)$$

$$P = I^2 R. \quad (8)$$

Залежність (3.7) називають законом Джоуля-Ленца.

Розглянемо однорідний циліндричний провідник:

$$P = I^2 R = (jS)^2 \rho \frac{l}{S} = j^2 \rho S l = \rho j^2 V.$$

Отже потужність, що виділена у одиниці об'єму провідника (*питома теплова потужність* струму), дорівнює

$$w = \rho j^2.$$

Застосовуючи закон Ома у диференційній формі можна записати наступні еквівалентні вирази *закону Джоуля-Ленца у диференційній формі*:

$$w = jE = \sigma E^2 = \rho j^2. \quad (9)$$

## 5. Закон Ома для неоднорідного кола

Розглянемо неоднорідне коло, яке містить опір та джерело струму (рис. 4).

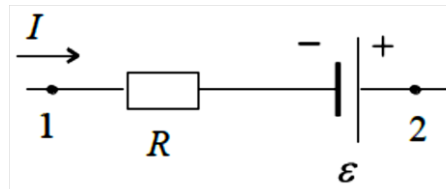


Рисунок 4 – Неоднорідне електричне коло

Робота, яка здійснюється над зарядом на ділянці між точками 1 та 2 є сумарною роботою електростатичних та сторонніх сил і дорівнює:

$$dA_{12} = dq(\varphi_1 - \varphi_2) + dq\varepsilon.$$

Якщо не відбувається переходів роботи у будь-які інші види енергії окрім теплової, то

$$dA_{12} = dQ = I^2 R dt.$$

Оскільки заряд  $dq = Idt$ , після підстановки у (1.74), одержимо:

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon,$$

звідки матимемо:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon}{R}, \quad (10)$$

де  $R = R_n + r$  – повний опір кола;

$R_n$  – опір навантаження;

$r$  – внутрішній опір джерела.

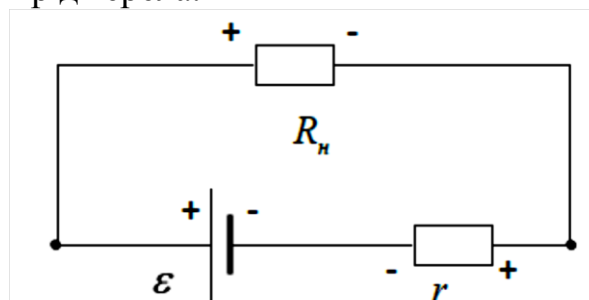


Рисунок 5 – Замкнене електричне коло

При замиканні кола точки 1 та 2 на рис. 4 збігатимуться, тому  $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ . Тоді для замкненого кола (рис. 5) з (10) одержимо:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{\mathcal{E}}{R_H + r}. \quad (11)$$

Співвідношення (11) являє собою закон Ома для замкненого кола.

## 6. Розгалужені кола. Закони Кірхгофа

Розгалуженими будемо називати кола, які неможна за допомогою методу еквівалентних перетворень звести до одного джерела і одного опору навантаження.

*Закон струмів Кірхгофа (ЗСК)* і відноситься до вузлів схеми. Вузлом схеми називають точку, в якій з'єднуються більше, ніж два провідники (рис. 3.6). Струм, що тече в напрямку вузла вважають з одним знаком (додатним або від'ємним), а той, що тече від вузла – із протилежним знаком (від'ємним або додатним).

ЗСК стверджує, що алгебраїчна сума струмів, що сходяться у вузлі, дорівнює нулю:

$$\sum I_k = 0.$$

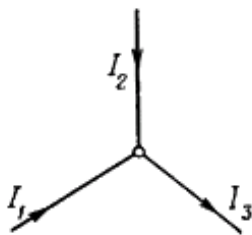


Рисунок 6 – До визначення ЗСК

ЗСК витікає з рівняння неперервності, тобто, в кінцевому рахунку, із закону про збереження заряду.

Рівняння ЗСК можна записати для кожного з  $N$  вузлів кола, але незалежними будуть лише  $N - 1$  рівнянь,  $N$ -е буде слідством з них.

*Закон напруг Кірхгофа (ЗНК)* відноситься до будь-якого замкненого контуру, виділеного у розгалуженому колі.

ЗНК: відповідно до обраного напрямку обходу контура алгебраїчна сума ЕРС у контурі дорівнює алгебраїчній сумі напруг у контурі.

$$\sum I_k R_k = \sum \mathcal{E}_k.$$

ЕРС беруть зі знаком «+», якщо напрям обходу співпадає з напрямом ЕРС.

Рівняння за ЗНК можна скласти для всіх замкнених контурів, які тільки можливо виділити у даному розгалуженому колі. Але незалежними будуть лише рівняння для тих контурів, які неможливо одержати накладанням інших контурів один на одного. Так, наприклад, для кола, зображеного на рис. 1.31, можна скласти три рівняння:

- 1) для контуру 1 – 2 – 3 – 6 – 1;
- 2) для контуру 3 – 4 – 5 – 6 – 3;
- 3) для контуру 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 1.



Останній контур одержується накладанням перших двох. Тому рівняння не будуть незалежними. В якості незалежних можна обрати будь-які два рівняння з трьох.

При складанні рівнянь ЗНК струмам та ЕРС необхідно приписувати зна-

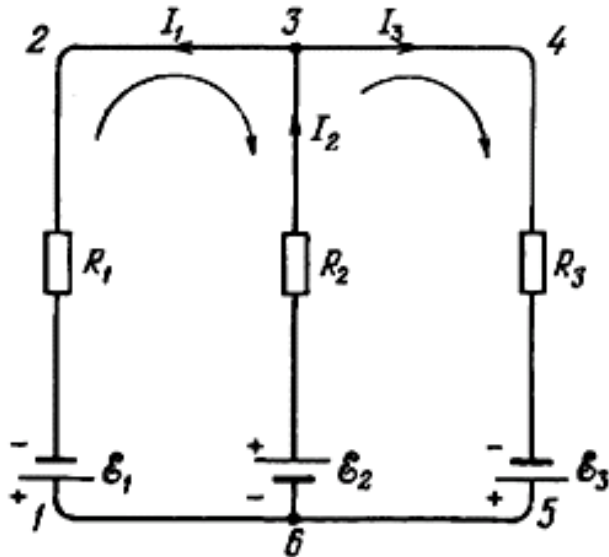


Рисунок 7 – Приклад схеми розгалуженого кола

ки відповідно до обраного напрямку обходу. Наприклад, струм  $I_1$  на рис. 7 необхідно вважати від'ємним оскільки він тече назустріч обраному напрямку обходу. ЕРС  $\mathcal{E}_1$  також слід приписати знак мінус, оскільки вона спрямована назустріч напрямку обходу та ін.

Напрямок обходу кожного контуру обирають довільно і незалежно від напрямку обходу решти контурів.

Кількість незалежних рівнянь складених за ЗСК та ЗНК дорівнює кількості різних струмів, що течуть у розгалуженому колі. Тому, якщо відомі всі ЕРС та опори для всіх нерозгалужених ділянок, то можуть бути визначеними всі струми.