

ВСТУП. ЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ В СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Шановні здобувачі освіти! Електротехніка та теорія електричних кіл є фундаментальним базисом для розуміння принципів функціонування будь-якої сучасної електронної, радіотехнічної або мережевої апаратури. Незалежно від того, чи працюєте ви з мікроскопічними транзисторами всередині сучасного багатоядерного процесора, чи проєктуєте магістральні маршрутизатори для глобальних комп'ютерних мереж, фізичні закони, що керують рухом електричних зарядів, залишаються незмінними.

Цей конспект розроблено з дотриманням найвищих академічних стандартів, аналогічно до фундаментальних навчально-методичних матеріалів коледжу (наприклад, файлу `program_merezhi.pdf`), для забезпечення глибокого інженерного розуміння електрофізичних процесів. У епоху Інтернету речей (IoT), бездротових сенсорних мереж та високошвидкісних комунікацій 5G/6G, кожен інженер зобов'язаний вміти розраховувати енергетичні баланси систем, оптимізувати споживання потужності та узгоджувати опір ліній зв'язку.

Історія розвитку вчення про електричний струм бере свій початок з праць Алессандро Вольти, який у 1800 році створив перше хімічне джерело безперервного струму — «вольтів стовп». Наступним революційним кроком стало відкриття Георгом Омом базового закону, що пов'язав струм, напругу та опір матеріалів (1826 рік). Згодом Густав Кірхгоф сформулював правила для розрахунку розгалужених кіл, що стали основою сучасної топологічної теорії ланцюгів.

Метою цієї лекції є системний виклад ключових концепцій постійного та змінного струму. Ми детально розглянемо природу електричного поля, механізми виникнення електрорушійної сили (ЕРС), математичний апарат розрахунку багатоконтурних схем за законами Кірхгофа, а також специфіку протікання гармонійних (синусоїдальних) сигналів, що є основою передачі інформації в радіотехніці та енергетики змінного струму.

Розуміння цих процесів дозволить вам у майбутньому ефективно діагностувати апаратні несправності, проектувати стабільні блоки живлення для мережевого обладнання та мінімізувати впливи електромагнітних завад на корисні інформаційні сигнали.

1. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

1.1. Електричне поле та електричний заряд

В основі всіх електромагнітних явищ лежить фундаментальна властивість матерії — електричний заряд. Заряди бувають двох типів: позитивні (наприклад, протони) та негативні (наприклад, електрони). Згідно з класичною електродинамікою, навколо будь-якого нерухомого або рухомого електричного заряду існує особлива форма матерії, яка називається **електричним полем**.

Електричне поле

— це вид матерії, за допомогою якого здійснюється взаємодія між електрично зарядженими частинками. Основною силовою характеристикою поля є вектор напруженості E , що визначається як відношення сили F , з якою поле діє на точковий пробний заряд, до величини цього заряду q .

$$E = \frac{F}{q}$$

Одиницею вимірювання напруженості електричного поля в системі СІ є Вольт на метр (В/м).

1.2. Потенціал та електрична напруга

Під час переміщення заряду в електричному полі сили поля виконують певну роботу. Оскільки електростатичне поле є потенціальним (робота по замкнутому контуру дорівнює нулю), енергетичний стан кожної точки поля можна охарактеризувати скалярною величиною — потенціалом.

Електричний потенціал (φ)

— це енергетична характеристика електричного поля в даній точці, яка чисельно дорівнює роботі A , що виконується зовнішніми силами (або силами поля) при переміщенні одиничного позитивного заряду з даної точки в нескінченність (де потенціал умовно приймається за нуль).

$$\varphi = \frac{A}{q}$$

На практиці в електротехніці абсолютне значення потенціалу в окремій точці не має вирішального значення; важлива лише *різниця потенціалів* між двома точками ланцюга. Ця різниця потенціалів називається електричною напругою.

Електрична напруга (U)

— це скалярна фізична величина, що чисельно дорівнює роботі електричного поля по переміщенню одиничного електричного заряду з однієї точки кола в іншу.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

Напруга та потенціал вимірюються у Вольтах (В). Один Вольт — це така електрична напруга між двома точками, при якій переміщення заряду в 1 Кулон вимагає виконання роботи в 1 Джоуль ($1 \text{ В} = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ Кл}$).

1.3. Електричний струм

Якщо провідник, у якому є багато вільних носіїв заряду (наприклад, вільних електронів у металі), помістити в електричне поле, ці заряди почнуть упорядковано рухатися під дією сил поля. Цей спрямований рух і утворює електричний струм.

Електричний струм (I)

— це впорядкований (спрямований) рух електрично заряджених частинок або макроскопічних тіл у просторі. За напрямку струму історично прийнято вважати напрямку руху позитивних зарядів (від плюса до мінуса), хоча в металевих провідниках реально рухаються негативні електрони у зворотному напрямку.

Кількісною характеристикою струму є сила струму (часто її називають просто струмом). Вона визначається кількістю електричного заряду dq , що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу dt .

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Одиницею вимірювання сили струму є Ампер (А). 1 Ампер означає, що за 1 секунду через поперечний переріз провідника проходить заряд в 1 Кулон.

Для детального аналізу розподілу струму по перерізу масивних провідників (наприклад, струмоведучих шин на електростанціях) використовують векторну характеристику — густину струму $\mathbf{J}$. Вона дорівнює відношенню сили струму до площі поперечного перерізу: $\mathbf{J} = \mathbf{I} / S$.

Для існування постійного електричного струму необхідно виконання двох фундаментальних умов:

1. Наявність замкненого провідного контуру з вільними носіями заряду.
2. Наявність у цьому контурі джерела енергії, що підтримує різницю потенціалів на кінцях провідників. Сили електричного поля здатні лише переміщувати заряди в напрямку зменшення потенціалу. Щоб коло було замкненим, необхідно якимось чином "піднімати" заряди від нижчого потенціалу до вищого, виконуючи роботу проти сил електричного поля. Цю функцію виконують джерела ЕРС.

1.4. Електрорушійна сила (ЕРС)

Як було зазначено вище, для підтримки безперервного струму в колі потрібні сили **неелектричного (стороннього)** походження. Ці сили діють всередині джерел живлення (гальванічних елементів, акумуляторів, генераторів, сонячних батарей). У хімічних джерелах це сили хімічної взаємодії молекул, у генераторах — сили електромагнітної індукції та сили Лоренца, у сонячних батареях — фотоелектричний ефект.

Електрорушійна сила, ЕРС (E або $\mathcal{E}$)

— це скалярна фізична величина, що характеризує енергетичні властивості сторонніх сил. Вона чисельно дорівнює роботі сторонніх сил по переміщенню одиничного позитивного заряду всередині джерела від негативного полюса до позитивного.

$$E = \frac{A_{\text{стор}}}{q}$$

ЕРС, як і напруга, вимірюється у Вольтах (В). Вкрай важливо розуміти різницю між напругою та ЕРС. ЕРС існує всередині джерела і характеризує

його потенційну здатність виконувати роботу. Напруга — це реальна різниця потенціалів на клемх джерела або на ділянці кола. При протіканні струму напруга на клемх реального джерела завжди менша за його ЕРС через падіння напруги на внутрішньому опорі самого джерела.

2. ЗАКОНИ ОМА: ФУНДАМЕНТ АНАЛІЗУ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Німецький фізик Георг Симон Ом у 1826 році експериментально встановив базовий закон електротехніки, який пов'язує силу струму в провіднику з напругою на його кінцях та властивостями самого провідника. Цей закон має кілька форм запису, що застосовуються для різних топологічних задач.

2.1. Електричний опір та провідність

Властивість провідника перешкоджати проходженню через нього електричного струму називається електричним опором (***R***). Опір виникає через зіткнення вільних електронів під час їхнього спрямованого руху з іонами кристалічної решітки металу. У результаті цих зіткнень кінетична енергія електронів передається решітці, викликаючи її нагрівання (теплова дія струму, закон Джоуля-Ленца).

Опір однорідного провідника з постійним поперечним перерізом обчислюється за формулою:

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

де:

ρ — питомий опір матеріалу (Ом·мм²/м або Ом·м);

l — довжина провідника (м);

S — площа поперечного перерізу (мм² або м²).

Одиницею вимірювання опору є Ом. 1 Ом — це опір такого провідника, в якому при напрузі на кінцях в 1 Вольт протікає струм силою 1 Ампер.

Величину, обернену до опору, називають **електричною провідністю** (G). Вона вимірюється в Сименсах (См): $G = 1/R$.

2.2. Закон Ома для ділянки кола (без джерела ЕРС)

Це найвідоміша та найбільш застосовувана на практиці форма закону Ома. Ділянка кола, що не містить джерел сторонніх сил (ЕРС), називається пасивною або однорідною.

Закон Ома для ділянки кола:

Сила струму на однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на цій ділянці та обернено пропорційна її електричному опору.

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

З цієї формули можна легко знайти напругу, знаючи струм і опір: $U = I \cdot R$. Цей добуток часто називають "падінням напруги" на резисторі.

2.3. Закон Ома для повного (замкненого) кола

У реальних інженерних задачах коло складається не лише зі споживачів (зовнішнього навантаження з опором R), але й з самого джерела живлення, яке також має певний опір протіканню струму. Цей опір називається **внутрішнім опором джерела** (r).

Розглянемо найпростіше нерозгалужене електричне коло, що складається з джерела ЕРС E із внутрішнім опором r , яке замкнене на зовнішній резистор R .

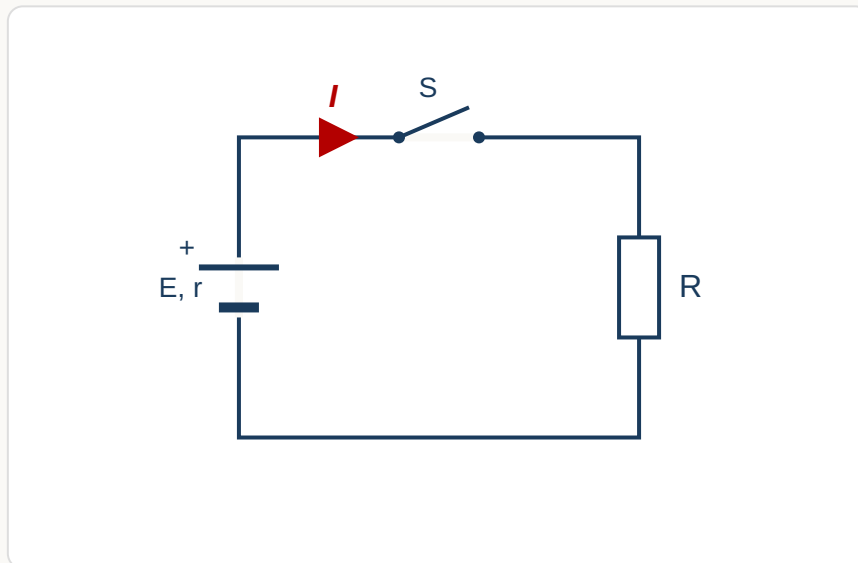


Рис. 1. Найпростіше замкнене електричне коло з джерелом живлення та навантаженням.

Закон збереження енергії вимагає, щоб потужність, яка генерується джерелом, дорівнювала сумарній потужності, що виділяється на зовнішньому та внутрішньому опорах. Наслідком цього є закон Ома для повного кола.

Закон Ома для повного кола:

Сила струму в замкненому колі прямо пропорційна електрорушійній силі (ЕРС) джерела живлення і обернено пропорційна повному опору цього кола (сумі зовнішнього і внутрішнього опорів).

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

Проаналізуємо це рівняння, записавши його у вигляді балансу напруг: $E = I \cdot R + I \cdot r$, де $I \cdot R = U$ (напруга на зовнішньому навантаженні, або напруга на клемі джерела), а $I \cdot r$ — падіння напруги всередині самого джерела.

Таким чином, напруга на клемі джерела під навантаженням дорівнює:
 $U = E - I \cdot r$.

Граничні режими роботи джерела живлення:

- **Режим холостого ходу (ХХ):** Коло розірване (вимикач S розімкнений), зовнішній опір прагне до нескінченності ($R \rightarrow \infty$). Струм у колі відсутній ($I = 0$). Напруга на клемі джерела дорівнює його ЕРС: $U_{\text{хх}} = E$. Саме тому для вимірювання справжнього значення ЕРС батареї потрібен вольтметр з дуже високим (ідеальним) внутрішнім опором.
- **Режим короткого замикання (КЗ):** Опір зовнішнього кола дорівнює нулю ($R = 0$), клемі джерела з'єднані провідником без опору. У цьому випадку струм досягає свого максимально можливого для даного джерела значення — струму короткого замикання: $I_{\text{кз}} = E / r$. Вся енергія виділяється всередині джерела, що часто призводить до його перегріву, руйнування або пожежі (саме тому в схемі інтегрують запобіжники).
- **Режим узгодженого навантаження:** Це спеціальний режим, при якому зовнішній опір дорівнює внутрішньому опору джерела ($R = r$). Згідно з теоремою про максимальну передачу потужності, саме за такої умови в зовнішнє навантаження віддається максимальна активна потужність. Цей принцип критично важливий у радіотехніці та мережах передачі даних (узгодження імпедансів кабелів і антен) для уникнення відбиття сигналів. Однак коефіцієнт корисної дії (ККД) джерела при цьому становить лише 50%.



**ДНІПРОВСЬКИЙ
ПРОФЕСІЙНИЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
КОЛЕДЖ**

ЗАКЛАД ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ

Документ містить ознайомчий фрагмент.

**Повна версія доступна в електронній
бібліотеці закладу після входу в особистий
кабінет студента.**