

**Курс лекцій
з дисципліни
“ОСНОВИ ТЕОРІЇ КІЛ”**

Д.т.н., професор
Мандзій Богдан Андрійович

ТЕМА 1

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ЗАКОНИ ТЕОРІЇ КІЛ

ОСНОВИ ТЕОРІЇ КІЛ

Цей предмет вивчають студенти вищих навчальних закладів України, які навчаються на базових напрямках, що пов'язані із обробкою та пересиланням інформації, поданої у вигляді електричних сигналів. Сюди, у першу чергу, відноситься спеціальність «Телекомунікації та радіотехніка». Для цієї спеціальності знання і розуміння фізичного змісту та законів функціонування електронних кіл є необхідною передумовою підготовки кваліфікованих фахівців, адже на підставі законів теорії кіл проводять розрахунки схем мікроелектронних пристроїв, вузлів комп'ютерної техніки та систем керування, аналізують процеси перетворення інформаційних сигналів, оцінюють вплив різноманітних завад на якість пересилання інформаційних сигналів між абонентами комп'ютерних інформаційних мереж тощо.

Курс «Основи теорії кіл» (ОТК) базується в основному на знанні фізики та математики в об'ємі програми середньої школи, зокрема, на знанні законів Ома, Кірхгофа, Фарадея і Джоуля-Ленца, закону збереження енергії, на понятті похідної, інтеграла, алгебри комплексних чисел. Із курсу вищої математики потрібне знання розділів "Лінійна алгебра", "Диференціальне та інтегральне числення", "Ряди Фур'є", "Звичайні диференціальні рівняння", "Операційне числення", "Основи теорії функцій комплексного змінного".

Зміст предмету ОТК включає такі основні розділи:

- **Тема 1.** Основні положення та закони теорії кіл.
- **Тема 2.** Аналіз лінійних кіл постійного струму.
- **Тема 3.** Аналіз лінійних електронних кіл в усталеному режимі гармонічних коливань.
- **Тема 4.** Основи теорії прохідного чотириполюсника
- **Тема 5.** Аналіз перехідних процесів в лінійних електронних колах.
- **Тема 6.** Нелінійні електронні кола.

*В результаті вивчення предмету «Основи теорії кіл»
студент повинен знати:*

- термінологію теорії кіл, методи побудови математичних моделей електронних кіл та методи математичного опису сигналів, що діють у колах;
- основні методи математичного аналізу електронних кіл, розрахунок їх функціональних характеристик та параметрів;
- основні властивості типових електронних кіл при характерних зовнішніх діях;

Лекція 1.1.

- **Визначення електричного кола, його модель.**
 - **Задачі теорії кіл.**
 - **Струм, напруга, потужність, енергія - основні електричні величини, які характеризують стан електронного кола.**
- **Одиниці вимірювання електричних величин**

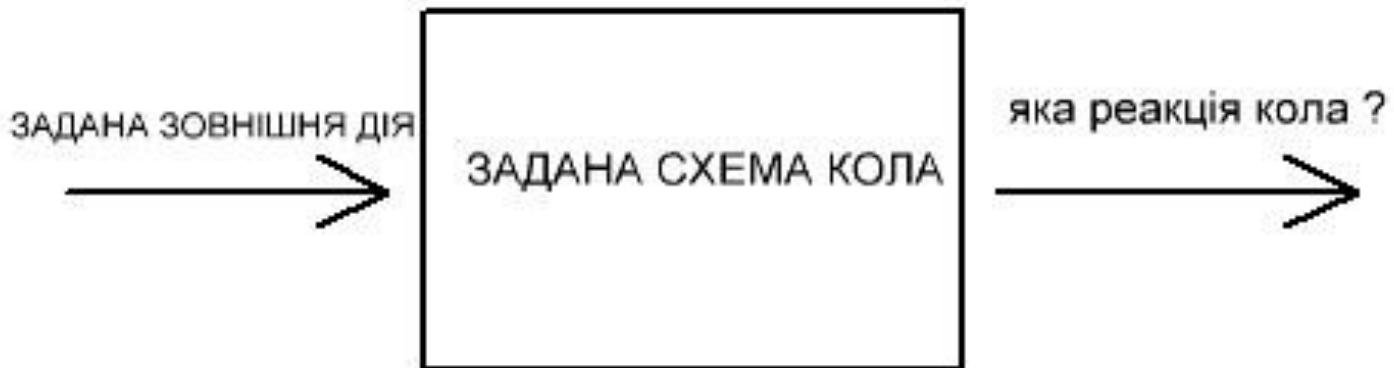
- **Електричним колом** називають сукупність з'єднаних між собою компонентів (елементів), що створюють замкнутий шлях для протікання струму, а електромагнітні процеси в них можна описати з допомогою понять **напруги** та **струму**.
- Компонентами електричних кіл, які широко застосовують в радіоелектроніці, телекомунікаціях, комп'ютерній техніці та ін., крім резисторів, конденсаторів та котушок індуктивності, є різноманітні електронні прилади – діоди, транзистори, інтегральні мікросхеми тощо. Такі кола називають **електронними колами**. Далі вважатимемо, що в загальному випадку будемо вивчати електронні кола.
- У теорії кіл вважають, що кожен компонент кола повністю характеризується залежностями між струмами та напругами на його зовнішніх виводах, а процеси, що відбуваються всередині компонента, не розглядають.

- Основним об'єктом дослідження в теорії електронних кіл є математичні моделі кіл, які мають вигляд певних математичних співвідношень, котрі описують електромагнітні процеси в колах з допомогою понять напруг та струмів.
- Предметом вивчення теорії кіл є закономірності фізичних процесів в колах, властивості, методи побудови та аналізу електронних кіл різних типів.
- Оскільки електронні кола призначені для реалізації певних функціональних перетворень сигналів, то при дослідженні цих перетворень використовують такі поняття як “зовнішня дія” на коло та “реакція” чи “відгук” кола. Під зовнішньою дією на коло розуміють сигнали (напруги або струми), які зовні прикладені до кола, закон зміни яких у часі є, переважно, відомим. Реакцією чи відгуком кола називають сигнал (струми або напруги в колі), спричинені зовнішньою дією.

- Досліджуючи кола, використовують графічне зображення реального кола, на якому з допомогою стандартизованих графічних зображень показують усі компоненти кола та усі з'єднання між ними. Це зображення називають **принциповою електричною схемою**.
- Теорія кіл має справу з ідеалізованими моделями реальних кіл, тому в ній використовують умовні графічні зображення ідеалізованих кіл, які моделюють (з певним наближенням) реальні кола і побудовані з ідеалізованих моделей компонентів. Такі графічні зображення ідеалізованих кіл називають **схемами заміщення або еквівалентними електричними схемами**.
- Для побудови схеми заміщення (еквівалентної схеми) використовують умовні графічні позначення ідеалізованих компонентів схеми, але ці позначення не є стандартизовані. Надалі при використанні терміну “схема” будемо мати на увазі схему заміщення кола.

У теорії кіл розрізняють дві основні задачі досліджень: **задачі аналізу та задачі синтезу**

- **Задача аналізу** полягає у визначенні реакції кола на задану зовнішню дію. Початковими даними для аналізу є схема кола, моделі компонентів схеми та значення їх параметрів, а також задана зовнішня дія.
- Зауважимо, що конкретне коло цілком визначено реагує на задану зовнішню дію при заданих початкових умовах. Отже, задача аналізу має однозначний розв'язок.

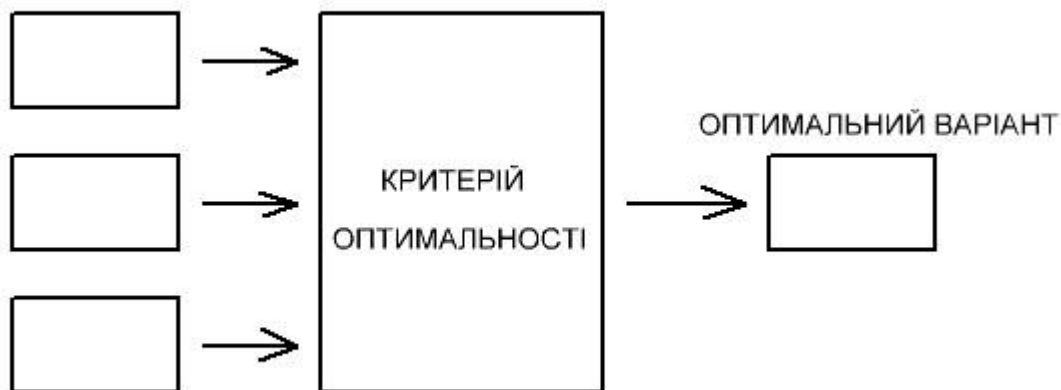


- **Задача синтезу** полягає у побудові схеми електронного кола, яке має задану потрібну (бажану) реакцію на задану зовнішню дію. Початковими даними для синтезу є задана зовнішня дія та задана потрібна реакція кола.



- Досвід показує, що різні за схемою і типом компонентів електронні кола можуть виявляти однакову реакцію на однакову зовнішню дію. Отже, розв'язок задачі синтезу, якщо він існує, не є однозначним (єдиним).

- Важливою складовою частиною задачі синтезу схеми електронного кола є **задача параметричної оптимізації**, яка полягає у такому виборі значень параметрів компонентів схеми, які найкращим чином забезпечують розв'язання поставленої задачі синтезу.
- Очевидно, що при тому потрібно встановити **критерій оптимальності**, тобто вказати ті умови, які визначають поняття “найкращим чином”, а також вказати відповідні **обмеження** на значення параметрів, вартість компонентів, енергоспоживання, масу тощо, які треба враховувати при розв'яз



Оскільки задачі аналізу є простішими від задач синтезу, то вивчення теорії кіл почнемо із задач аналізу.

Спочатку розглянемо основні електричні величини, які характеризують стан електронного кола, а відтак – методи формування математичних моделей електронних кіл.

- Основними електричними величинами, які використовують у теорії кіл для характеристики стану електронного кола, є поняття **струму, напруги, потужності та енергії**.

Струм і напруга

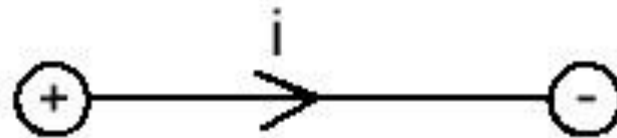
- Під **електричним струмом** у теорії кіл розуміють електричний струм провідності, тобто упорядкований рух електричних зарядів у провідному середовищі.
- Інтенсивність або силу струму i визначає кількість електричного заряду q , який проходить через поверхню провідного середовища за одиницю часу. В загальному випадку струм може змінюватись в часі за довільним законом, тому часову залежність струму описує формула:

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1.1)$$

- Струм є скалярною величиною і визначається швидкістю зміни заряду в часі. У Міжнародній системі СІ одиницею вимірювання заряду є кулон (Кл), часу – секунда (с), а струму – ампер (А):

$$\text{ампер} = \frac{\text{кулон}}{\text{секунда}}$$

- За умовний додатний напрям струму приймають напрям, у якому переміщаються (чи могли би переміщатися) носії додатного заряду. Умовний додатний напрям струму в колі вказують стрілкою, спрямованою від ”+” до ”-”:



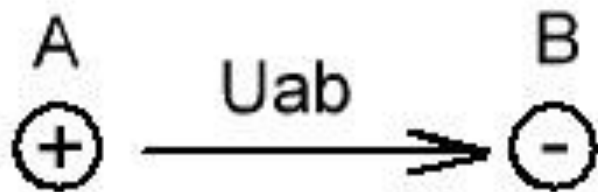
- Під **електричною напругою U** між двома точками електричного кола розуміють різницю потенціалів цих точок.
- Нагадаємо, що потенціал довільної точки А електричного поля визначають як роботу, що її виконують сили електричного поля при переміщенні одиничного додатного заряду із даної точки до нескінченності. Отже, напругу між точками А і Б електричного кола визначають як роботу (енергію), яку витрачають сили електричного поля на переміщення одиничного заряду від точки з більшим потенціалом до точки з меншим потенціалом:

$$u = \frac{dw}{dq}$$

- У Міжнародній системі СІ одиницею вимірювання роботи є джоуль (Дж), заряду – кулон (Кл), а напруги – вольт (В).

$$\text{вольт} = \frac{\text{джоуль}}{\text{кулон}}$$

- Напруга є скалярною величиною, якій приписують певний напрям. За умовний додатний напрям напруги приймають напрям, у якому переміщаються (чи могли б переміщатися) під дією електричного поля вільні носії додатного заряду, тобто напрям від точки кола з вищим потенціалом до точки з нижчим по-



- Струми та напруги в електронному колі є функціями часу . Їх значення у довільний момент часу t називають **МИГТЄВИМИ** значеннями і позначають відповідно малими літерами $i(t)$ та $u(t)$.

Енергія та потужність

- Прийmemo, що різниця потенціалів точок А і Б електронного кола становить U . Тоді при переміщенні елементарного електричного заряду через ділянку кола, що знаходиться між цими точками, сили електричного поля виконують елементарну роботу, яка згідно із (1.2) дорівнює:

$$dw = u \cdot dq = u \cdot i \cdot dt$$

- Ця елементарна робота характеризує зміну енергії електричного поля і кількісно дорівнює **енергії**, яка надійшла у згадану ділянку кола за проміжок часу dt . Повна енергія, яка надійшла у ділянку за час від $t = -\infty$ до деякого конкретного моменту t_x , може бути визначена інтегруванням виразу для елементарної роботи:

$$w(t_x) = \int_{-\infty}^{t_x} u \cdot i \cdot dt.$$

- **Потужністю** називають швидкість зміни енергії в часі, тобто похідну енергії за часом:

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t) \cdot i(t)$$

- Формула описує **миттєву потужність** ділянки кола, яка дорівнює добуткові миттєвих значень напруги і струму. Оскільки миттєві значення напруги і струму можуть бути як додатними, так і від'ємними (збігатися або не збігатися з прийнятими за умовний додатний напрям напруги та струму), то миттєве значення потужності може бути додатним або від'ємним.
- **Якщо миттєва потужність додатна, то це означає, що в даний момент часу ділянка кола споживає електричну енергію, якщо ж миттєва потужність від'ємна, то ділянка кола віддає електричну енергію.**

Із закону збереження енергії випливає, що сума миттєвих потужностей усіх компонентів електричного кола в кожний момент часу дорівнює нулеві. Це твердження називають **умовою балансу миттєвих потужностей**. Фізичний сенс даного твердження полягає у тому, що сума миттєвих потужностей, що їх віддають усі джерела енергії, дорівнює сумі миттєвих потужностей усіх споживачів енергії. При тому слід мати на увазі, що віддається і споживається не потужність, а енергія.

- Енергію, яка надійшла у ділянку кола за деякий проміжок часу $\Delta t = (t_2 - t_1)$, можна визначити за формулою:

$$W = w(t_2) - w(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot i(t) \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot dt$$

- У системі СІ одиницею вимірювання потужності є **ват** (Вт), а **роботи та енергії** - джоуль (Дж):

$$\text{ват} = \text{ампер} \times \text{вольт}$$

$$\text{джоуль} = \text{ват} \times \text{сек} = \text{ампер} \times \text{вольт} \times \text{сек}$$

Дольові та кратні одиниці вимірювання електричних величин

Множник	Назва	Позначення
10^{-12}	піко	п
10^{-9}	нано	н
10^{-6}	мікро	мк
10^{-3}	мілі	м
10^{-2}	санти	с
10^{-1}	деци	д
10	дека	да
10^2	гекто	г
10^3	кіло	к
10^6	мега	М
10^9	гіга	Г
10^{12}	тера	Т