

## Лекція № 2

Тема: **Електричні кола постійного струму. Основні поняття. Поняття електричного кола. Елементи кола, його характеристики і параметри.**

### План.

Основні визначення електричного кола (визначення електричного кола та його елементів)

1. Величини електричного кола (поняття і обчислення струму, напруги, ЕРС)
2. Енергетичний баланс в колі
  - потужність приймача,
  - потужність джерела,
  - баланс енергій і потужностей
3. Умовно – додатні напрями
4. Параметри електричного кола (поняття і обчислення електричного опору і провідності, ємності, індуктивності)
5. Елементи електричного кола (елементи реальні та ідеальні, активні і пасивні, поняття двополюсника, режими роботи двополюсника; поняття схеми заміщення)
6. Режими роботи джерела живлення (режими номінальний, неробочий та короткого замикання; коефіцієнт корисної дії джерела; поняття джерела ЕРС та джерела струму)
7. Теплова дія струму (формули визначення кількості виділеного тепла, формула залежності опору від температури)

### Література

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники. 1989.
2. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, и др.
3. Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов.

## Основні визначення електричного кола

**Електричне коло** — це сукупність пристроїв, що генерують, передають, перетворюють та споживають електричну енергію.

Пристрої, призначені для генерування електричної енергії, називаються **джерелами електричної енергії**, або джерелами живлення, або джерелами електрорушійної сили (ЕРС), або джерелами струму.

Пристрої, що споживають електричну енергію, називаються **приймачами електричної енергії** або **навантаженням**. Приймачами електричної енергії можуть бути:

- привідні електродвигуни різних типів;
- лампи розжарювання, нагрівальні та освітлювальні прилади;
- електрохімічні та радіотехнічні прилади тощо.

**Перетворювачі** електричної енергії можуть розглядатися для різних сторін електричного кола як джерела або як споживачі енергії (наприклад, трансформатори).

Кожний пристрій електричного кола має назву **елемента електричного кола**.

### 1. Величини електричного кола

До величин електричного кола належать:

- електричний струм;
- електрична напруга;
- електрорушійна сила.

**Електричний струм** — це, спрямований рух носіїв електричних зарядів у провідному середовищі під дією електричного поля.

Якщо швидкість руху електричних зарядів не змінюється з часом, то струм називається постійним.

Величину електричного струму (силу струму) — кількість електричного заряду, перенесеного через поперечний перетин провідника за одиницю часу — позначають літерою  $I$ :  $I = Q / t$ ,

вимірюють в амперах (А).

Прилад для вимірювання — амперметр.

Струм, який змінюється з часом за величиною і напрямом, називається змінним. Тобто, змінний струм є функцією часу. І сила струму визначається як швидкість зміни кількості заряду, що переноситься:  $i = \frac{dQ}{dt}$

Якщо миттєве значення струму повторюється через рівні проміжки часу, то він називається періодичним змінним. Струм, який змінюється за синусоїдним законом, називається змінним синусоїдним.

Струм з'являється в електричному колі тоді, коли на його затискачах створено різницю потенціалів (існує електричне поле вздовж ділянки кола). Різниця потенціалів між двома точками електричного кола називається **напругою** або **спадом напруги**.

Напругу позначають літерою  $U$ , вимірюють у вольтах (В). Прилад для вимірювання — вольтметр.

Потенціал заданої точки кола позначають літерою  $\phi$  з відповідним індексом, наприклад, для точок 1 і 2 потенціали  $\phi_1$  і  $\phi_2$ , а різниця потенціалів  $U_{12} = \phi_1 - \phi_2$

Такий запис означає, що  $\phi_1 > \phi_2$  і напруга  $U_{12}$  - позитивна.

Електрична напруга чисельно дорівнює роботі  $A$ , яка виконується джерелом електричної енергії при переміщенні заряду в один кулон з однієї точки кола в іншу:

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{Q}$$

Тобто, можна сказати, що **напруга** — це енергія, яку кожний електричний заряд при проходженні даної ділянки кола.

**Електрорушійна сила (ЕРС)** — це енергія, яку одержує кожний електричний заряд у джерелі електричної енергії. ЕРС створюється енергією сторонніх (неелектричних) сил всередині джерела при перетворенні неелектричних видів енергії в електричну. Позначається літерою  $E$ .

Розмірність ЕРС:  $[E]=V$  (вольт)

## 2. Енергетичний баланс в колі

**Потужність** - це кількість електричної енергії  $W$ , утвореної (виробленої) - для виконання роботи  $A$  - або спожитої (при виконанні роботи) за одиницю часу.

Позначається літерою  $P$ :  $P = \frac{W}{t} = \frac{A}{t}$ .

Одиниці вимірювання потужності:  $[P]=Вт$  (ватт)

Для переміщення заряду по замкненому електричному колу джерело енергії має виконувати роботу, що чисельно дорівнює електрорушійній силі ( $E P C$ ):

$$E = A / Q, \quad A = E Q.$$

Отже, потужність, яку розвиває джерело,  $P_{дж} = E \frac{Q}{t} = E \cdot I$

**Енергія джерела (вироблена)**  $W_{дж} = P_{дж} \cdot t = E \cdot I \cdot t$

Для підтримання струму в електричному колі джерело електричної енергії повинно утворювати різницю потенціалів на вхідних затискачах кола.

А робота по перенесенню зарядів через споживач —  $A = UQ$

Отже, потужність споживання  $P_{сп} = E \frac{Q}{t} = E \cdot I$ , де  $U$  - спад напруги на ділянці кола (на споживачі),  $I$  — струм на тій ділянці (через споживач).

**Енергія споживача (витрачена, спожита)**  $W_{сп} = P_{сп} \cdot t = E \cdot I \cdot t$

За загальним законом збереження енергії :

уся вироблена джерелом енергія має бути витрачена, а виробляє джерело стільки енергії, скільки її споживається.

Це твердження записується у вигляді **балансу енергій** або **балансу потужностей** в електричному колі:

$$W_{дж} = \Sigma W_{сп} + W_{втр} ,$$

де  $\Sigma W_{сп}$  — сума енергій усіх споживачів зовнішнього кола,

$W_{втр}$  — енергія внутрішніх втрат джерела;

$$\text{або } P_{дж} = \Sigma P_{сп} + P_{втр} ,$$

де  $\Sigma P_{сп}$  — сума енергій усіх споживачів зовнішнього кола,

$P_{втр}$  - потужність внутрішніх втрат джерела.

### 3. Умовно-додатні напрями:

—**умовно-додатний напрям струму** (далі — додатний напрям струму, або напрям струму)— це напрям руху позитивних зарядів;

—**умовно-додатний напрям напруги** (далі— додатний напрям напруги, або напрям напруги)— це напрям зменшення потенціалу, тобто – від більшого потенціалу до меншого;

—**умовно-додатний напрям ЕРС** (далі — додатний напрям ЕРС, або напрям ЕРС)— це напрям дії сторонніх сил у джерелі живлення, тобто – від низького потенціалу до високого.

Умовно-додатні напрями струму та ЕРС джерела збігаються. Умовно-додатні напрями струму та напруги на елементах споживача збігаються. Умовно-додатні напрями струмів, напруг та ЕРС на схемах позначаються стрілками.

#### 4. Параметри електричного кола

До параметрів електричного кола належать:

- електричний опір (провідність);
- ємність;
- індуктивність;
- взаємна індуктивність.

**Електричний опір (R)** характеризує спроможність елемента перетворювати електричну енергію на тепло (через зштовхування носіїв заряду з атомами та молекулами провідника).

Величина електричного опору визначається розмірами (довжиною  $l$ , площею поперечного перерізу  $S$ ) та питомим опором проводу ( $\rho$ ):  $R = \rho \frac{l}{S}$ ,

вимірюється в омах (Ом).

Іноколи замість поняття опору вживається поняття **провідності**  $G=1/R$ , яка вимірюється в сименсах (См)

**Електрична ємність (C)** характеризує спроможність елемента (системи електродів) накопичувати електричні заряди (тобто створювати електричне поле). Ємність є коефіцієнтом пропорційності між величиною заряду, накопиченого на електродах, і напругою між цими електродами:  $Q = C U$

Одиниця вимірювання - фарада (в реальності - мікрофарада, нанофарада)

Якщо електроди - плоскопаралельні пластини, то ємність визначається розмірами електродів (площею поверхні  $S$  одного з них), відстанню між ними ( $d$ ) та електричними властивостями діелектрика ( $\epsilon$ ):  $C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}$

**Індуктивність (L)** характеризує спроможність елемента збуджувати магнітне поле (перетворювати електричну енергію на магнітне поле) і є коефіцієнтом пропорційності між величиною магнітного потоку і силою струму, що створює цей потік:  $\Phi \cdot w = \Psi = LI$

Одиниця індуктивності - генрі (Гн); на практиці - мілігенрі, мікрогенрі.

Індуктивність також залежить від конструкції пристрою - розмірів ( $S, l$ ) і кількості витків ( $w$ ), а також від магнітних властивостей середовища ( $\mu$ ):

$$L = \mu\mu_0 \frac{Sw^2}{l} \quad (\text{наближена формула для циліндричної котушки})$$

1.3.5. **Взаємна індуктивність (M)** характеризується впливом двох індуктивних параметрів ( $L_1, L_2$ ) один на одного:

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}$$

## 5. Елементи електричного кола

У загальному випадку кожний реальний елемент має R, L та C.

Іноколи є можливість обмежитися лише одним параметром. Такі елементи, що мають тільки один параметр, називаються **ідеальними**.

Наприклад, ідеальне джерело живлення має тільки E, ідеальний опір — тільки R тощо.

Елементи електричного кола бувають активними та пасивними. Якщо роботу елемента описують за допомогою поняття параметрів (R, L, C та M), цей елемент — **пасивний**. Якщо для опису роботи елемента потрібно вживати поняття величини електричного кола (I, U, E), то цей елемент — **активний**.

До активних елементів належать усі джерела живлення та деякі приймачі (акумулятори, двигуни тощо).

Джерела живлення утворюють внутрішню ділянку, а приймачі — зовнішню ділянку кола. Ці ділянки відокремлюються полюсами.

Ділянка кола, відокремлена двома полюсами, має назву **двополюсника**. Якщо двополюсник містить хоча б один активний елемент, цей двополюсник активний. Пасивний двополюсник містить тільки пасивні елементи.

Як і двополюсники, ділянки кола також бувають активні та пасивні. Якщо напрямки струму та напруги ділянки кола протилежні, ця ділянка працює у режимі джерела живлення. Якщо напрямки струму та напруги збігаються, ця ділянка працює у режимі приймача електричної енергії.

## Схеми заміщення

Для вивчення процесів в електричних колах складають математичну модель, що містить окремі ідеальні елементи (параметри). Графічне зображення реального кола за допомогою ідеальних елементів, параметрами яких є параметри реальних заміщених елементів, має назву **схеми заміщення**.

Іноколи один і той же елемент у схемі заміщення може бути представлений різними параметрами. Таким чином, котушка індуктивності у колі постійного струму характеризується резистивним параметром (якщо величиною її електричного опору не можна знехтувати), у колі змінного струму — параметрами R та L, а у колі високочастотного струму електричні властивості котушки описуватимуться трьома параметрами - R, L та C.

## 6. Режими роботи джерела живлення

Розрізняють характерні режими роботи джерела живлення:

- номінальний;
- неробочий (або режим холостого ходу);
- короткого замикання;
- узгоджений.

Режим роботи визначається співвідношенням між опором навантаження ( $R_n$ ) та внутрішнім опором джерела живлення ( $R_{внтр}$ ).

Важливим показником раціональної роботи джерела електричної енергії є **коефіцієнт корисної дії** (ККД), який визначається відношенням потужності у навантаженні ( $P_n = R_n I^2$ ) до повної потужності, що виробляється джерелом електричної енергії ( $P_{дж} = E I$ ):

$$\eta = \frac{P_n}{P_{дж}} = \frac{P_{дж} - \Delta P}{P_{дж}},$$

де  $\Delta P = R_{вн} I^2$  — втрати потужності джерелом енергії (через внутрішній опір джерела).

**Номінальний режим**, гарантує оптимальні параметри джерела живлення, його надійність та довговічність. Номінальний режим забезпечується, коли  $R_n > R_{внтр}$ . У цьому режимі значна частина потужності передається у навантаження при досить великому ККД ( $>0,5$ ).

**Неробочий режим** (цей режим також називають **холостим ходом**)— це режим, за якого зовнішнє коло розімкнене. Напруга на клеммах джерела є максимальною і дорівнює його ЕРС, струм у колі відсутній ( $U=E$ ,  $I=0$ ).

**Режим короткого замикання** здійснюється тоді, коли опір навантаження дорівнює нулеві ( $R_n = 0$ ). Напруга на приймачі енергії відсутня ( $U=0$ ), струм короткого замикання дуже великий.

**Узгоджений режим** — це такий режим, за якого у навантаження передається максимальна потужність (вона дорівнює чверті максимальної потужності). При цьому ККД нижчий за ККД у номінальному режимі. У такому режимі  $R_n = R_{внтр}$ .

**ККД джерела ( $\eta$ )** залежить від співвідношення опорів зовнішнього та внутрішнього кіл. У межових режимах:

- а) неробочому ( $R_n = \infty$ )  $\eta \rightarrow 1$ ;
- б) короткого замикання ( $R_n=0$ )  $\eta=0$ ;
- в) узгодженому ( $R_n = R_{внтр}$ )  $\eta = 0,5$ .

За співвідношенням  $R_n / R_{внтр}$  джерела електроенергії визначаються як джерела ЕРС або джерела струму. Якщо джерело живлення має дуже малий внутрішній опір ( $R \rightarrow 0$ ), таке джерело підтримує порівняно сталу напругу на навантаженні і називається **джерелом ЕРС**.

Є джерела живлення, що мають дуже великий внутрішній опір. Струм у колі з таким джерелом майже не залежить від опору навантаження і підтримується порівняно сталим. Таке джерело називається **джерелам струму**.

### 7. Теплова дія струму.

При проходженні електричного струму по провіднику (через  $R$ ), електрична енергія перетворюється на теплову. Кількість теплоти, що виділяється математично визначається формулою:

$$Q = I^2 R t \quad (\text{за законом Джоуля-Ленца})$$

і вимірюється в джоулях. Щоб визначити кількість виділеної теплоти в калоріях, треба врахувати співвідношення цих одиниць: 1 Дж=0,24 кал ,

тобто в калоріях теплота обчислюється за формулою  $Q=0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t$

Електричний опір провідника залежить від його **температури**:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(\Theta_2 - \Theta_1)],$$

де  $R_1$ - опір при температурі  $\Theta_1$ ,

$R_2$  - опір при температурі  $\Theta_2$ ,

$\alpha$ - температурний коефіцієнт опору даного матеріалу (довідкові дані).