

## ОСНОВНІ ФОРМУЛИ ТА РІВНЯННЯ

### Закон Ома. Опір

Електричний струм – це спрямований рух носіїв зарядів. Струм визначається кількістю електрики (зарядом), яка проходить через поперечний переріз провідника в одиницю часу:

$$I = q / t. \quad (1.1)$$

Одиницею струму є ампер [А]:

$$1\text{А} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{с}}.$$

Щільність струму [А/мм<sup>2</sup>]

$$J = \frac{I}{S}, \quad (1.2)$$

де  $I$  – струм у провіднику; А;  $S$  – площа поперечного перерізу, мм<sup>2</sup>.

*Закон Ома для ділянки кола:* струм, що проходить по ділянці кола, прямо пропорційний напрузі  $U$ , прикладеній до цієї ділянки, і зворотно пропорційний його опоріві  $R$ , тобто

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1.3)$$

де  $U$  – у вольтах [В];  $R$  – в омах [Ом].

*Закон Ома для всього кола*

$$I = \frac{E}{R + r}, \quad (1.4)$$

де  $E$  – електрорушійна сила джерела електричної енергії, В;  $R$  – опір зовнішнього кола, Ом;  $r$  – внутрішній опір джерела, Ом.

*Електричний опір провідника*

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

Провідність – величина, зворотна опоріві. Її позначають  $G$  і виражають у сіменсах [См], 1См=1/Ом:

$$G = \frac{1}{R}. \quad (1.5)$$

*Опір проводу*

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1.6)$$

де  $\rho$  – питомий опір,  $(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)/\text{м}$ ;  $l$  – довжина провідника,  $\text{м}$ ;  $S$  – площа його поперечного перерізу,  $\text{мм}^2$ .

Величину, яка зворотна питомому опоріві, називають *питомою провідністю*  $[\text{м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)]$ :

$$\nu = 1/\rho. \quad (1.7)$$

Опір провідника залежить від температури

$$R_2 = R_1 \left[ 1 + \alpha (t_2^\circ - t_1^\circ) \right], \quad (1.8)$$

де  $R_1$  – опір провідника при температурі  $t_1^\circ$ ,  $\text{Ом}$ ;  $R_2$  – опір провідника при температурі  $t_2^\circ$ ,  $\text{Ом}$ ;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору, який чисельно дорівнює відносному збільшенню опору при нагріванні провідника на  $1^\circ\text{C}$ .

### **Енергія і потужність електричного кола**

*Робота (енергія  $W$ )*, витрачена на перенос заряду  $q$  на ділянці кола за час  $t$ ,

$$A = W = Uq, \text{ або } A = W = UI t, \quad (1.9)$$

де  $A$  – у джоулях  $[\text{Дж}]$ .

Робота, яка виконана джерелом електричної енергії з ЕРС  $E$ ,

$$A = Eq \text{ або } A = E I t. \quad (1.10)$$

*Потужність*, що споживається навантаженням,

$$P = \frac{A}{t} = UI = R^2 I = \frac{U^2}{R}, \quad (1.11)$$

де  $P$  – у ватах  $[\text{Вт}]$ .

Потужність, що розвивається джерелом або генератором,

$$P_{\Gamma} = EI. \quad (1.12)$$

За законом збереження енергії потужність генератора дорівнює сумі потужностей споживачів. Цю рівність називають *балансом потужностей в електричних колах*:

$$P_{\Gamma} = \sum P \text{ або } \sum EI = \sum I^2 R.$$

### **Закон Джоуля – Ленца**

Кількість теплоти [Дж], що виділяється при проходженні постійного струму в провіднику за час  $t$ ,

$$Q = I^2 R t, \quad (1.13)$$

або

$$Q = 0,24 I^2 R t, \quad (1.14)$$

де  $Q$  – у калоріях.

### **Послідовне, паралельне і змішане з'єднання резисторів (опорів)**

*Послідовно з'єднані приймачі* (табл. 1.1) мають загальний струм і кожний своє спадання напруги. При послідовному з'єднанні струм дорівнює:

$$I = \frac{U}{(R_1 + R_2 + \dots + R_n)} = \frac{U}{\sum R}. \quad (1.15)$$

Напруга дорівнює:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n. \quad (1.16)$$

Для послідовно з'єднаних приймачів:

$$R_{\text{екв}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum R; \quad (1.17)$$

$$G_{\text{екв}} = \frac{1}{R_{\text{екв}}}. \quad (1.18)$$

*Паралельно з'єднані приймачі* (табл. 1.1) мають загальну напругу і кожен свій струм. При такому з'єднанні приймачів струми кожного з них визначаються співвідношеннями:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = U G_1; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = U G_2; \quad \dots; \quad I_n = \frac{U}{R_n} = U G_n,$$

де  $G_i$  – провідність кожного приймача.

Загальний струм кола розраховують, використовуючи вираз:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum I.$$

Для паралельно з'єднаних приймачів:

$$G_{\text{екв}} = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}; \quad (1.19)$$

$$R_{\text{екв}} = \frac{1}{G_{\text{екв}}}; \quad (1.20)$$

Для двох паралельно з'єднаних приймачів еквівалентний опір визначається з виразу

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (1.21)$$

Для трьох паралельно з'єднаних приймачів еквівалентний опір визначається з виразу

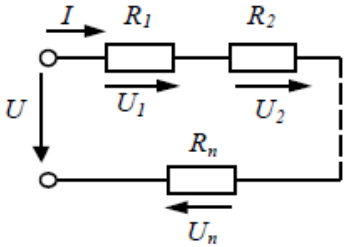
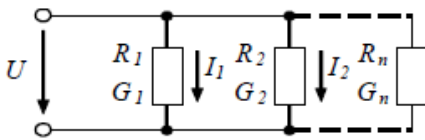
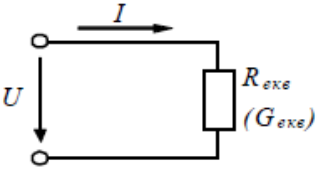
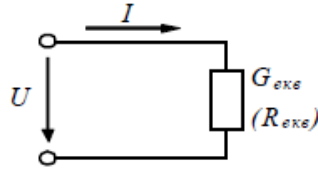
$$R_{\text{екв}} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}. \quad (1.22)$$

При паралельному з'єднанні  $n$  віток з однаковими опорами в кожній вітці ( $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ ) еквівалентний опір визначається з виразу

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_1}{n}. \quad (1.23)$$

Таблиця 1.1

**Послідовне і паралельне з'єднання приймачів**

| З'єднання                       | Послідовне                                                                          | Паралельне                                                                            |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Схеми заміщення                 |  |   |
| Еквівалентні схеми заміщення    |  |  |
| Загальна властивість кіл        | $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$                                                       | $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum I$                                                |
| Еквівалентні опір і провідність | $R_{\text{екв}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum R$                                 | $G_{\text{екв}} = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \sum G$                                   |
| Еквівалентний перехід           | $R_{\text{екв}} = \frac{1}{G_{\text{екв}}}$                                         |                                                                                       |
| Баланс потужності               | $P_{\text{екв}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum P$                                 |                                                                                       |

Змішане з'єднання приймачів – це сполучення послідовного і паралельного з'єднань приймачів або ділянок електричного кола (рис. 1.1).

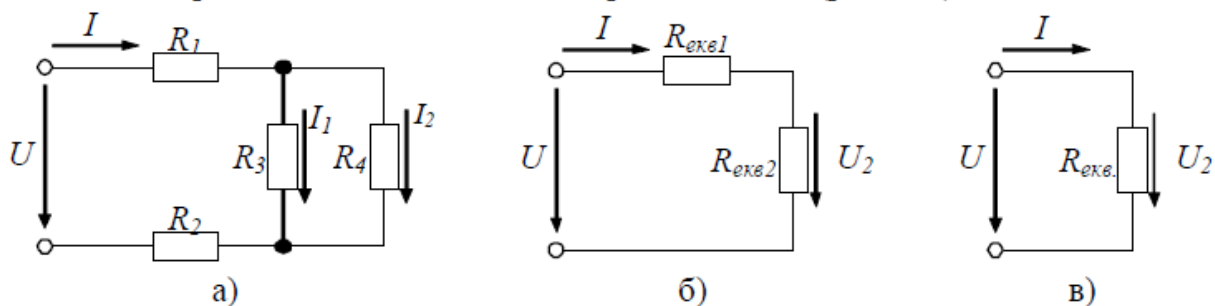


Рис. 1.1. Змішане з'єднання приймачів (а), спрощена (б) та гранично згорнута (в) вихідна схема

### Перший закон Кірхгофа

Перше формулювання: алгебраїчна сума струмів, що течуть до будь-якого вузла схеми, дорівнює нулю.

Друге формулювання: сума струмів, що течуть до будь-якого вузла, дорівнює сумі струмів, що витікають з нього.

Так, стосовно рис. 1.2, якщо струми що підтікають до вузла вважати позитивними, а струми, що витікають – негативними, то відповідно до першого формулювання

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

відповідно до другого –

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4.$$

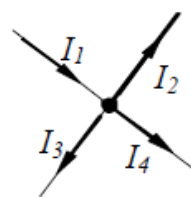


Рис. 1.2. Схема, що пояснює перший закон Кірхгофа

Фізично перший закон Кірхгофа означає, що рух зарядів у колі, відбувається таким чином, що в жодному вузлі кола не накопичуються заряди.

### Другий закон Кірхгофа

Він так само, як і перший, може бути сформульований подвійно.

Перше формулювання: алгебраїчна сума падінь напруг у будь-якому замкнутому контурі дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що діють уздовж того самого контуру. Записується він таким чином:

$$\sum IR = \sum E.$$

У кожному із сум відповідні доданки входять зі знаком "плюс", якщо вони збігаються з напрямком обходу контуру, і зі знаком "мінус", якщо вони не збігаються з ним.



Друге формулювання: алгебраїчна сума напруг (**але не спадань напруг!**) уздовж будь-якого замкнутого контуру дорівнює нулю.

$$\sum U_k = 0.$$

При складанні рівнянь за цим законом ЕРС джерела записують зі знаком "+", якщо її напрямок збігається з обраним напрямком обходу контуру. Спадання напруги записують зі знаком "-", якщо напрямок струму через резистор збігається з обраним напрямком обходу контуру.

### **Втрата напруги в проводах лінії електропередачі**

Різницю напруг на початку і кінці лінії  $U_1 - U_2$ , яка дорівнює спаданню напруги в лінії, називають *втратою напруги*:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = IR_{\text{пр}}, \quad (1.25)$$

де  $R_{\text{пр}}$  – опір проводів у лінії:  $R_{\text{пр}} = \rho \frac{2l}{S}$  ( $l$  – довжина одного проводу двопровідної лінії, м;  $S$  – площа перетину проводу, мм<sup>2</sup>).

Потужність втрат у лінії [Вт]

$$\Delta P = I \Delta U = I^2 R_{\text{пр}}. \quad (1.26)$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) лінії

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = \frac{U_1 I - \Delta U I}{U_1 I} = 1 - \frac{\Delta U}{U_1}, \quad (1.27)$$

або

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%,$$

де  $P_1$  – потужність на початку лінії, Вт;  $P_2$  – потужність наприкінці лінії, Вт.

### **Розрахунок електричних кіл**

При розрахунках нерозгалужених і розгалужених лінійних електричних кіл постійного струму можуть бути використані різні методи, вибір яких залежить від виду електричного кола.