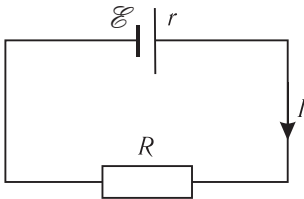


§ 26. Закон Ома для поўнага электрычнага ланцуга. ККД крыніцы току

У 1826 г. нямецкі фізік Георг Сымон Ом (1787–1854) доследным шляхам вызначыў, што пры пастаяннай тэмпературы адносіны напружання паміж канцамі металічнага правадніка да сілы току ў ім з'яўляюцца велічыняй пастаяннай. На падставе гэтага быў сфармуляваны закон, названы законам Ома для ўчастка электрычнага ланцуга:

$I = \frac{U}{R}$, дзе R — супраціўленне ўчастку ланцуга. Ад чаго і як залежыць сіла току ў замкнутым ланцугу, які змяшчае крыніцу току, гэта значыць у поўным электрычным ланцугу?



Мал. 132

Закон Ома для поўнага электрычнага ланцуга. Разгледзім электрычны ланцуг, які складаецца з крыніцы току (гальванічнага элемента, акумулятара або генератара) і рэзістара з супраціўленнем R . Вядомыя ЭРС \mathcal{E} крыніцы току і яго супраціўленне r , якое называюць унутраным. Схема ланцуга прыведзена на малюнку 132. Няхай сіла току ў ланцугу I , а напружанне паміж канцамі правадніка U .

Закон Ома для поўнага ланцуга звязвае сілу току I ў ланцугу, ЭРС \mathcal{E} крыніцы току і поўнае супраціўленне ланцуга $R + r$, якое складаецца з супраціўлення знешняга (рэзістар) і ўнутранага (крыніца току) участкаў ланцуга (супраціўленне злучальных правадоў не прымаем пад увагу). Гэтую сувязь можна ўстанавіць тэарэтычна на падставе закона захавання энергіі.

Калі праз папярочнае сячэнне правадніка за прамежак часу t праходзіць зарад q , то работу пабочнай сілы па перамяшчэнні электрычнага зараду можна вызначыць па формуле

$$A_{\text{паб}} = \mathcal{E}q.$$

Паколькі сіла току $I = \frac{q}{t}$, то

$$A_{\text{паб}} = \mathcal{E}It. \quad (26.1)$$

У нерухомах правадніках нязменнага хімічнага саставу ў выніку работы пабочных сіл адбываецца павелічэнне толькі ўнутранай энергіі знешняга і ўнутранага ўчасткаў ланцуга. Такім чынам, пры праходжанні электрычнага току ў рэзістары і крыніцы току выдзяляецца колькасць цеплаты Q , якую можна вызначыць паводле закона Джоўля — Ленца:

$$Q = I^2 R t + I^2 r t. \quad (26.2)$$

На падставе закона захавання энергіі:

$$A_{\text{паб}} = Q. \quad (26.3)$$

Падставім формулы (26.1) і (26.2) у роўнасць (26.3) і ў выніку матэматычных пераўтварэнняў атрымаем:

$$\mathcal{E} = IR + Ir. \quad (26.4)$$

Здабытак сілы току і супраціўлення ўчастка ланцуга часта называюць падзеннем напружання на гэтым участку. Таму $IR = U$ — падзенне напружання (напружанне) на знешнім участку ланцуга, Ir — падзенне напружання на ўнутраным участку ланцуга.

Выразіўшы сілу току з формулы (26.4), атрымаем:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \quad (26.5)$$

Формула (26.5) з'яўляецца матэматычным выразам **закона Ома для поўнага электрычнага ланцуга**, згодна з якім **сіла току ў поўным электрычным ланцугу прама прапарцыяльная ЭРС крыніцы току і адваротна прапарцыяльная поўнаму супраціўленню ланцуга**.

Ад тэорыі да практыкі

Акумулятар, унутранае супраціўленне якога $r = 0,80$ Ом, далучаны да рэзістара. Чаму роўная ЭРС акумулятара, калі напружанне на яго полюсах $U = 6,0$ В, а сіла току ў ланцугу $I = 0,50$ А?

Розныя рэжымы работы электрычнага ланцуга. Пераўтворым формулу (26.4):

$$IR = \mathcal{E} - Ir,$$

паколькі $IR = U$, то

$$U = \mathcal{E} - Ir. \quad (26.6)$$

З выразу (26.6) вынікае, што пры разамкнутым ланцугу ($I = 0$) напружанне паміж полюсамі крыніцы току роўнае яго ЭРС: $U = \mathcal{E}$. Значыць, вымераць ЭРС крыніцы току можна, падключыўшы да яе полюсаў вальтметр з бясконца вялікім уласным супраціўленнем (каб не парушаць рэжым разамкнутага ланцуга).

У выпадку, калі супраціўленне знешняга ўчастка ланцуга імкнецца да нуля ($R \rightarrow 0$), сіла току ўзрастае і дасягае максімальнага значэння. Падзенне напружання на крыніцы току пры гэтым роўнае ЭРС, а напружанне паміж яго полюсамі — нулю.

Такі рэжым работы крыніцы току называюць кароткім замыканнем, а максімальна магчымую для дадзенай крыніцы сілу току называюць сілай току кароткага замыкання:

$$I_{\text{к.з}} = \frac{\mathcal{E}}{r},$$

дзе r — унутранае супраціўленне крыніцы току.

Для крыніц току з нязначным унутраным супраціўленнем (напрыклад, у аўтамабільных акумулятараў $r \approx 0,01$ Ом) рэжым кароткага замыкання надзвычай небяспечны, бо можа прывесці да пашкоджання крыніцы току і нават з'явіцца прычынай пажару.

Ад тэорыі да практыкі

Сіла току пры кароткім замыканні батарэйкі $I_{\text{к.з}} = 2$ А. Калі да батарэйкі падключылі рэзістар з супраціўленнем $R = 3$ Ом, сіла току стала $I = 1$ А. Як змянілася поўнае супраціўленне ланцуга? Чаму роўнае ўнутранае супраціўленне батарэйкі?

Каэфіцыент карыснага дзеяння крыніцы току. Пры перамяшчэнні зараду q на знешнім участку ланцуга, напружанне на якім U , за прамежак часу t сіла электрычнага поля выконвае работу:

$$A = Uq.$$

Выкарыстаўшы выраз $I = \frac{q}{t}$, атрымаем формулу для разліку работы электрычнага току, выкананай на знешнім участку ланцуга:

$$A = IUt.$$



Калі знешнім участкам ланцуга з'яўляецца награвальны элемент (або рэзістар), то з улікам закона Джоўля — Ленца формула для разліку карыснай работы электрычнага току на знешнім участку ланцуга:

$$A_{\text{карысн}} = I^2 R t.$$

Улічваючы, што магутнасць $P = \frac{A}{t}$, атрымаем выраз для вызначэння карыснай магутнасці току на цеплавым спажывы, які з'яўляецца знешнім участкам ланцуга:

$$P_{\text{карысн}} = I^2 R = IU.$$

Паколькі работа пабочных сіл крыніцы току:

$$A_{\text{паб}} = A_{\text{карысн}} = I \mathcal{E} t,$$

то магутнасць, якая развіваецца пабочнымі сіламі крыніцы току пры наяўнасці ў ланцугу толькі награвальнага элемента:

$$P_{\text{паб}} = P_{\text{поўн}} = I \mathcal{E} = IU + I^2 r.$$

Такім чынам, $P_{\text{поўн}} = P_{\text{карысн}} + I^2 r$.

Каэфіцыент карыснага дзеяння (ККД) крыніцы току — адносіны карыснай магутнасці току на знешнім участку ланцуга да поўнай магутнасці, якая развіваецца пабочнымі сіламі крыніцы току:

$$\eta = \frac{P_{\text{карысн}}}{P_{\text{поўн}}} \cdot 100 \ %.$$



Калі знешні ўчастак ланцуга — награвальны элемент, то

$$P_{\text{карысн}} = I^2 R,$$

$$P_{\text{поўн}} = I^2 (R + r).$$

Тады ККД крыніцы току

$$\eta = \frac{R}{R + r} \cdot 100 \ %.$$



Закон Ома для поўнага электрычнага ланцуга: сіла току ў поўным ланцугу прама прапарцыянальная ЭРС крыніцы току і адваротна прапарцыянальная поўнаму супраціўленню ланцуга: $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$

*Ланцуг
разамкнуты*
($R \rightarrow \infty; I = 0$)
 $U = \mathcal{E}$

Напружанне паміж полюсамі крыніцы току роўнае яго ЭРС

*Ланцуг
замкнуты*
 $U + Ir = \mathcal{E}$

Сума напружання на знешнім участку ланцуга і падзення напружання (Ir) на ўнутраным участку ланцуга роўная ЭРС крыніцы току

*Рэжым кароткага
замыкання*
(супраціўленне знешняга ўчастка ланцуга імкнецца да нуля $R \rightarrow 0$, а сіла току дасягае максімальнага для дадзенай крыніцы току значэння)

$$I_{\text{к.з}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

Кэфіцыент карыснага дзеяння (ККД) крыніцы току — адносіны карыснай магутнасці току на знешнім участку ланцуга да поўнай магутнасці, якая развіваецца пабочнымі сіламі крыніцы току:

$$\eta = \frac{P_{\text{карысн}}}{P_{\text{поўн}}} \cdot 100 \%$$



1. Сфармулюйце закон Ома для поўнага ланцуга.
2. Як можна вымераць ЭРС крыніцы току?
3. Які рэжым работы электрычнага ланцуга адпавядае кароткаму замыканню?
4. Што разумеюць пад сілай току кароткага замыкання?
5. Што разумеюць пад карыснай работай электрычнага току? поўнай работай крыніцы току?
6. Як вызначаюць карысную магутнасць электрычнага току? пад поўную магутнасць крыніцы току?
7. Што называюць кэфіцыентам карыснага дзеяння (ККД) крыніцы току?

Прыклад рашэння задачы

Рэзістар з супраціўленнем $R = 3,0$ Ом падключаны да крыніцы току з ЭРС $\mathcal{E} = 8,0$ В і ўнутраным супраціўленнем $r = 1,0$ Ом. Вызначце карысную магутнасць току і ККД крыніцы току ў дадзеным ланцугу.

Дадзена:
 $R = 3,0$ Ом
 $\mathcal{E} = 8,0$ В
 $r = 1,0$ Ом

$P_{\text{карысн}}$ — ?
 η — ?

Рашэнне. Карыснай з'яўляецца магутнасць току на знешнім участку ланцуга, гэта значыць на рэзістары:
 $P_{\text{карысн}} = I^2 R$. З улікам закона Ома для поўнага ланцуга

$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ атрымаем:

$$P_{\text{карысн}} = \mathcal{E}^2 \frac{R}{(R+r)^2}.$$

$$P_{\text{карысн}} = \frac{64 \text{ В}^2 \cdot 3,0 \text{ Ом}}{(3,0 \text{ Ом} + 1,0 \text{ Ом})^2} = 12 \text{ Вт}.$$

ККД крыніцы току ў дадзеным ланцугу вызначым па формуле

$$\eta = \frac{R}{R+r} \cdot 100 \ %.$$

$$\eta = \frac{3,0 \text{ Ом}}{3,0 \text{ Ом} + 1,0 \text{ Ом}} \cdot 100 \ \% = 75 \ %.$$

Адказ: $P_{\text{карысн}} = 12$ Вт, $\eta = 75 \ %$.

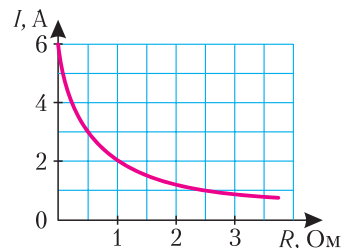
**Практыкаванне 19**

1. Рэзістар з супраціўленнем $R = 2$ Ом падключаны да крыніцы току з ЭРС $\mathcal{E} = 5$ В і ўнутраным супраціўленнем $r = 0,5$ Ом. Вызначце сілу току ў ланцугу і падзенне напружання на знешнім і ўнутраным участках электрычнага ланцуга.

2. Рэастант падключаны да крыніцы току з ЭРС $\mathcal{E} = 4$ В і ўнутраным супраціўленнем $r = 1$ Ом. Пабудуйце графік залежнасці сілы току ад супраціўлення той часткі рэастанта, па якой праходзіць ток, $I = I(R)$.

3. Пры падключэнні да крыніцы току з ЭРС $\mathcal{E} = 2,2$ В рэзістара з супраціўленнем $R = 4,0$ Ом сіла току ў ланцугу $I = 0,50$ А. Вызначце сілу току пры кароткім замыканні крыніцы току.

4. На малюнку 133 прыведзены графік залежнасці сілы току ў рэастане ад яго супраціўлення. Вызначце сілу току пры кароткім замыканні крыніцы току і яе ўнутранае супраціўленне.

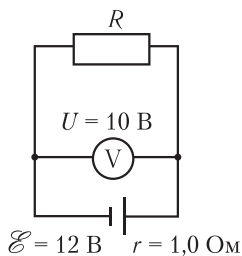


Мал. 133

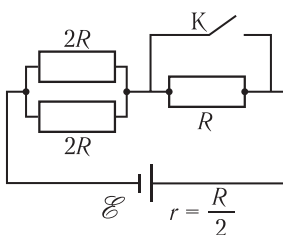
5. Вызначце поўную магутнасць, якую развівае крыніца току з унутраным супраціўленнем $r = 0,50$ Ом, пры падключэнні да яе рэзістара з супраціўленнем $R = 2,0$ Ом, калі напружанне на рэзістары $U = 4,0$ В.

6. Спіраль нагрэвальнага элемента, супраціўленне якой $R = 38$ Ом, падключана да крыніцы току з ЭРС $\mathcal{E} = 12$ В і ўнутраным супраціўленнем $r = 2,0$ Ом. Вызначце колькасць цеплаты, якая выдзеліцца ў спіралі за прамежак часу $t = 10$ мін.

7. Два паралельна злучаныя рэзістары, супраціўленні якіх $R_1 = 4,0$ Ом і $R_2 = 6,0$ Ом, падключылі да крыніцы току з ЭРС $\mathcal{E} = 12$ В і ўнутраным супраціўленнем $r = 0,60$ Ом. Вызначце напружанне на рэзістарах і сілу току ў кожным з іх.



Мал. 134



Мал. 135

8. На малюнку 134 паказана схема электрычнага ланцуга, якая складаецца з крыніцы току, рэзістара і ідэальнага вальтметра. Вызначце работу электрычнага току на знешнім участку ланцуга за прамежак часу $t = 10$ мін і ККД крыніцы току.

9. На малюнку 135 паказана схема электрычнага ланцуга, які складаецца з крыніцы току, ключа і трох рэзістараў. Выберыце з прапанаванага пераліку тры верныя сцвярджэнні. Пазначце ў шшытку іх нумары.

1) Карысную магутнасць току на знешнім участку ланцуга пры разамкнутым ключы можна вызначыць па формуле $P_{\text{карысн}} = \frac{8\mathcal{E}^2}{25R}$.

2) Магутнасць, якая развіваецца пабочнымі сіламі крыніцы току пры замкнутым ключы, можна вызначыць па формуле $P_{\text{паб}} = \frac{\mathcal{E}^2}{3R}$.

3) Карысную работу току на знешнім участку ланцуга пры замкнутым ключы можна вызначыць па формуле $A_{\text{карысн}} = \frac{4\mathcal{E}^2}{9R}t$.

4) Работу пабочных сіл крыніцы току пры разамкнутым ключы можна вызначыць па формуле $A_{\text{паб}} = \frac{2\mathcal{E}^2}{3R}t$.

5) ККД крыніцы току пры разамкнутым ключы $\eta = 80$ %.

