



§ 22.

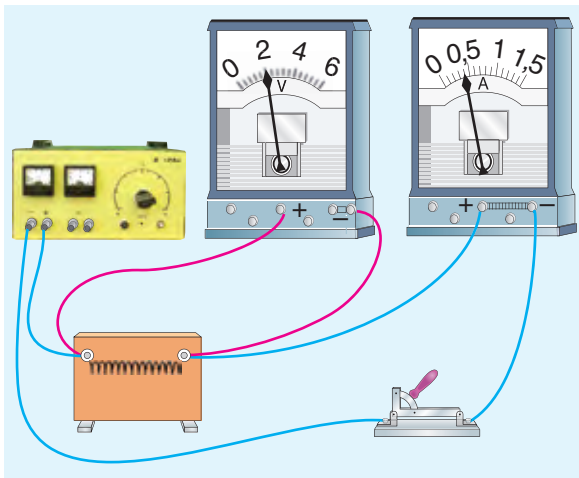
Электрычнае супраціўленне. Закон Ома для ўчастка электрычнага ланцуга

Ад чаго залежыць сіла току, які праходзіць у правадніку? Чаму сіла току ў зварачным апарате ў дзясяткі мільёнаў разоў большая, чым у электронным гадзінніку?

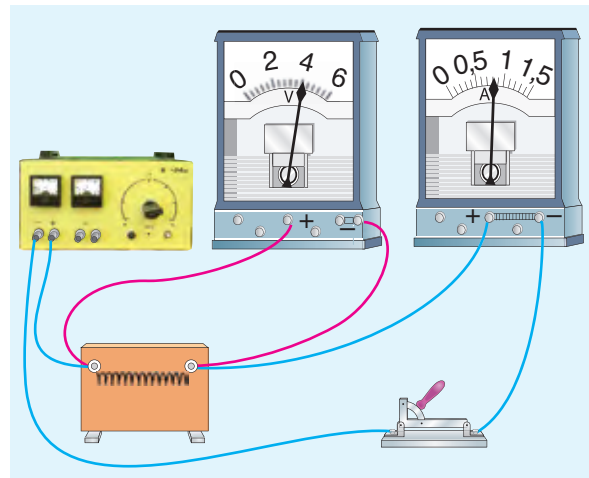
Для адказу на гэтыя пытанні правядзём шэраг нескладаных даследаў. Падключым невялікі кавалачак спіралі да крыніцы току, выходнае напружанне паміж клемамі якой можна рэгуляваць. З дапамогай паслядоўна ўключанага амперметра і паралельна спіралі ўключанага вальтметра (мал. 145) будзем вымяраць сілу току і напружанне на спіралі. Устанавім напружанне на спіралі $U_1 = 2$ В. Замкнём ключ і вымераем сілу току. Яна аказалася $I_1 = 0,4$ А (мал. 145). Павялічым напружанне на спіралі ў 2 разы (мал. 146), г. зн. $U_2 = 4$ В, затым у 3 разы, г. зн. $U_3 = 6$ В. Паказанні амперметра таксама павялічацца: $I_2 = 0,8$ А (мал. 146), $I_3 = 1,2$ А.

Дослед можна працягваць далей. Але ўжо з гэтых даных вынікае, што сіла току ў правадніку прама прапарцыянальна напружанню на правадніку.

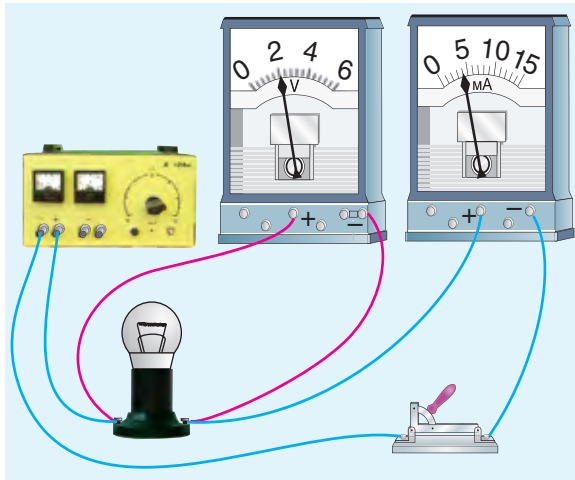
Падключым цяпер да крыніцы току іншую спіраль, напрыклад спіраль асвятляльнай лямпы. Мы бачым, што пры напружанні $U = 2$ В сіла току ў спіралі лямпы $I = 4$ мА (мал. 147), што ў сто разоў менш, чым у папярэдняй спіралі. Значыць, спіраль лямпы аказвае



Мал. 145



Мал. 146



Мал. 147

ў 100 разоў большае процідзеянне накіраванаму руху зараджаных часціц. Гэта значыць, што яна валодае ў 100 разоў большым супраціўленнем.

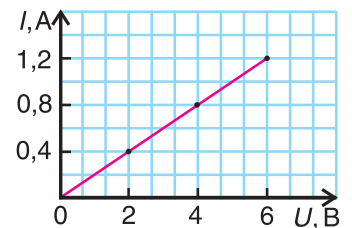
Гэту новую велічыню — **электрычнае супраціўленне** — мы будзем прыпісваць усякаму правадніку і абазначыць літарай R (па першай літары лацінскага слова *resisto* — супраціўляюся). Тады можна сцвярджаць: *чым большае супраціўленне правадніка, тым меншая сіла току ў ім* (адваротна прапарцыянальная залежнасць).

Такім чынам, з доследаў вынікае: **сіла току ў правадніку (участку ланцуга) прама прапарцыянальна прыкладзенаму напружанню і адваротна прапарцыянальна супраціўленню правадніка (участку ланцуга).**

Дадзенае сцверджанне называецца **законам Ома для ўчастку ланцуга** ў гонар нямецкага вучонага Г. С. Ома (гл. форзац 2), які ўсталяваў закон у 1826 г. Матэматычна закон Ома можна запісаць так:

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

Закон Ома можна прадставіць графічна. На малюнку 148 паказаны такі графік для спіралі, выкарыстанай у першым доследзе (мал. 145). Графік пацвярджае прамую прапарцыянальную залежнасць сілы току ў правадніку ад прыкладзенага да яго напружання. Графік залежнасці сілы току ад напружання называецца **вольтампернай характарыстыкай** правадніка. Праваднікі, якія маюць значнае супраціўленне, прынята называць **рэзістарамі**.



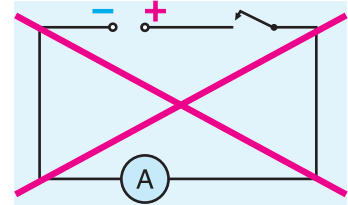
Мал. 148

У злучальных правадах процідзеянне руху электронаў, як правіла, нязначнае, што дазваляе *не ўлічваць супраціўленне злучальных правадоў пры рашэнні большасці задач*.

Пэўным супраціўленнем валодаюць і вымяральныя прыборы. Пры ўключэнні паслядоўна ў ланцуг амперметра яго супраціўленне дадаецца да поўнага супраціўлення ланцуга. Гэта выклікае непажаданае

памяншэнне сілы току ў ланцугу. Каб гэта не адбывалася, супраціўленне амперметра павінна быць малым. Ідэальным быў бы амперметр без супраціўлення ($R = 0$). Наадварот, дабаўленне вальтметра паралельна некатораму прыбору (рэзістару на малюнку 140) стварае току яшчэ адзін «абыходны» шлях. Гэта таксама рэзка змяняе параметры ланцуга. Каб пазбегнуць гэтых непажаданых вынікаў, трэба выкарыстоўваць вальтметры з максімальна вялікім супраціўленнем.

І яшчэ аб вельмі важным. Пры занадта малым супраціўленні ланцуга сіла току ў ім згодна з законам Ома можа прыняць недапушчальна вялікае значэнне. Пры замыканні ланцуга, паказанага на малюнку 149, ток у ім пойдзе, фактычна не зведваючы супраціўлення. Гэта — кароткае замыканне ланцуга. У такім рэжыме могуць быць сапсаваны і амперметр, і крыніца току, а перагрэў правадоў можа прывесці да пажару.



Мал. 149

Галоўныя вывады

1. Сіла току ў правадніку прама прапарцыянальна прыкладзенаму напружанню і адваротна прапарцыянальна супраціўленню правадніка.
2. Чым меншае супраціўленне амперметра і чым большае супраціўленне вальтметра, тым меншыя змяненні яны выклікаюць пры падключэнні ў ланцуг.
3. Вольт-амперная характарыстыка правадніка ўяўляе сабой графік залежнасці сілы току ў ім ад напружання.
4. Выкарыстанне ланцугоў без нагрузкі прыводзіць да недапушчальна небяспечнага росту сілы току (кароткага замыкання).

Кантрольныя пытанні

1. Сувязь паміж якімі фізічнымі велічынямі адлюстроўвае закон Ома для ўчастка ланцуга?
2. Як разумець выраз: «Сіла току ў правадніку прама прапарцыянальна прыкладзенаму напружанню»?
3. Ці можа ў правадніку праходзіць ток: а) вельмі вялікай сілы пры малым напружанні; б) малой сілы пры вялікім напружанні?
4. Што такое кароткае замыканне ланцуга?
5. Чым небяспечнае кароткае замыканне ланцуга?



§ 23.

Адзінка супраціўлення. Разлік супраціўлення

Мы ўвялі новую характарыстыку — супраціўленне. Але чаму праваднік «супраціўляецца» накіраванаму руху зараджаных часціц? У якіх адзінках вымяраецца супраціўленне правадніка? Ці можна яго вылічыць?

Сіла току ў правадніку не можа мець любое, неабмежавана вялікае, значэнне. Прычынай гэтага з'яўляюцца бесперапынныя сутыкненні электронаў і іонаў з часціцамі правадніка, якія знаходзяцца ў вузлах яго крышталічнай рашоткі. Гэта прыводзіць да зніжэння скорасці накіраванага руху носьбітаў зараду, памяншае зарад, які пераносіцца, а значыць, памяншае і сілу току. Менавіта гэтыя сутыкненні і выклікаюць награванне правадніка. Так электрычны ток праяўляе цеплавое дзеянне.

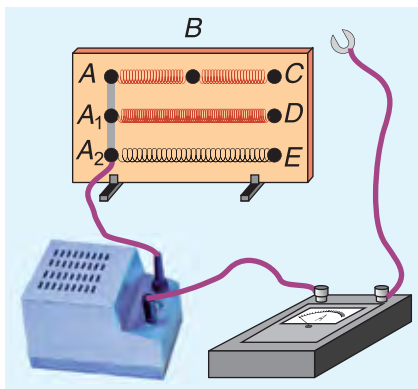
Выразіўшы супраціўленне з закону Ома $R = \frac{U}{I}$, уявдзём асноўную адзінку супраціўлення — 1 Ом (у гонар Г. Ома):

$$1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}.$$

1 Ом — гэта супраціўленне правадніка, у якім пры напружанні 1 В праходзіць ток сілай 1 А.

1 Ом — невялікае супраціўленне. У шэрагу спажывоў яно складае сотні омаў, таму супраціўленне часта выражаюць у кілаомах (кОм) і мегаомах (МОм):

$$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом}; \quad 1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом} = 1 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$



Мал. 150

Вызначыць супраціўленне правадніка можна, вымераўшы напружанне U на ім і сілу току I ў ім, па формуле $R = \frac{U}{I}$. Але існуе і спецыяльны прыбор для вымярэння супраціўлення — **омметр**. З найпрасцейшым омметрам вы пазнаёміцеся ў практыкаванні да гэтага параграфа.

Атрымаем формулу для разліку супраціўлення. Для гэтага выкарыстаем ланцуг з крыніцы току, амперметра і панэлі з даследуемымі праваднікамі (мал. 150). На панэлі замацаваны тры праваднікі з ніхрому і адзін з жалеза. Праваднік AC з ніхрому мае адвод ад сярэдзіны (клема B , мал. 150).

Два іншыя ніхромавыя праваднікі складзены разам і ўключаны паміж пунктамі A_1 і D (мал. 150). Усе чатыры праваднікі маюць роўныя даўжыню і плошчу папярочнага сячэння. Уключым у ланцуг спачатку цэлы праваднік AC (ланцуг замыкаецца ў пункце C), а затым палову гэтага правадніка (кантакт пераносіцца ў пункт B). Мы бачым, што сіла току павялічваецца ўдвая. Значыць, супраціўленне памяншаецца ў 2 разы. Інакш кажучы, *супраціўленне правадніка прама прапарцыянальна яго даўжыні*.

Падключым у ланцуг па чарзе адзін праваднік AC , а затым два складзеныя разам праваднікі A_1D , якія можна разглядаць як адзін, але з падвоеным папярочным сячэннем. Сіла току ў адным правадніку AC у 2 разы меншая, чым у складзеных правадніках A_1D . Такім чынам, *супраціўленне правадніка адваротна прапарцыянальна плошчы яго папярочнага сячэння*.

Параўнаем цяпер сілы току ў правадніках аднолькавых памераў, але з розных рэчываў: з ніхрому (AC) і з жалеза (A_2E). Аказваецца, сіла току ў жалезным правадніку прыкладна ў 10 разоў большая, а супраціўленне ў 10 разоў меншае, чым у ніхромавым. Значыць, *супраціўленне правадніка залежыць яшчэ і ад роду рэчыва, з якога выраблены праваднік*.

З рэзультатаў доследаў вынікае формула для разліку супраціўлення правадніка:

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

Супраціўленне правадніка прама прапарцыянальна даўжыні правадніка і адваротна прапарцыянальна плошчы яго папярочнага сячэння.

Каэфіцыент ρ называюць **удзельным супраціўленнем рэчыва**. Гэта характарыстыка не пэўнага разглядаемага правадніка, а рэчыва, з якога ён выраблены. У СІ асноўнай адзінкай удзельнага супраціўлення $\rho = \frac{RS}{l}$ з'яўляецца Ом \cdot м. Паколькі на практыцы даўжыню праваднікоў вымяраюць звычайна ў метрах, а плошчу папярочнага сячэння — у квадратных міліметрах, то ўдзельнае супраціўленне зручна запісваць у $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Значэнні ўдзельнага супраціўлення для розных рэчываў дадзены ў табліцы 6. Сэнс пазначаных у табліцы ўдзельных супраціўленняў просты. Калі для ніхрому значэнне $\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, то гэта азначае, што ніхромавы праваднік даўжынёй 1 м і папярочным сячэннем 1 мм² мае супраціўленне 1,1 Ом.

Табліца 6. Удзельнае электрычнае супраціўленне некаторых рэчываў (пры $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$)

Рэчыва	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Рэчыва	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Серабро	0,016	Манганін (сплаў)	0,43
Медзь	0,017	Канстантан (сплаў)	0,50
Золата	0,024	Ртуць	0,96
Алюміній	0,028	Ніхром (сплаў)	1,1
Вальфрам	0,055	Фехраль (сплаў)	1,3
Жалеза	0,10	Графіт	13
Свінец	0,21	Фарфор	$1 \cdot 10^{19}$
Нікелін (сплаў)	0,40	Эбаніт	$1 \cdot 10^{20}$

Звярніце ўвагу на малыя значэнні ўдзельнага супраціўлення металаў, якія прымяняюцца для электраправодкі: алюмінію і медзі.

▼ Для дапытлівых

Сенсацыяй пачатку XX ст. было адкрыццё звышправоднасці. Пры вельмі моцным ахаладжэнні (прыкладна да $-270\text{ }^\circ\text{C}$) супраціўленне некаторых металаў зніжаецца да нуля. Звышправодзячыя металы не награвваюцца нават пры вялікай сіле току ў іх. У цяперашні час знойдзены рэчывы, звышправоднасць якіх дасягаецца пры значна меншым ахаладжэнні. Звышправодзячыя матэрыялы ў цяперашні час выкарыстоўваюцца ў медыцыне і паскаральніках часціц. Дадзенай тэматыкай паспяхова займаюцца групы даследчыкаў з Інстытута ядзерных праблем Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта і Фізіка-тэхнічнага інстытута Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі.

■ Галоўныя вывады

1. Электрычнае супраціўленне характарызуе ўласцівасць правадніка аказваць процідзейне накіраванаму руху зараджаных часціц.
2. Прычынай узнікнення супраціўлення з'яўляюцца бесперапынныя сутыкненні зараджаных часціц з часціцамі рэчыва правадніка.
3. Супраціўленне правадніка залежыць ад роду рэчыва і геаметрычных памераў правадніка (даўжыні, плошчы папярочнага сячэння).
4. Асноўнай адзінкай супраціўлення ў СІ з'яўляецца 1 Ом.

**Кантрольныя пытанні**

1. Што абмяжоўвае значэнне сілы току ў правадніку?
2. Што прынята ў СІ за асноўную адзінку супраціўлення?
3. Як залежыць супраціўленне правадніка ад яго геаметрычных памераў?
4. Што паказвае ўдзельнае супраціўленне рэчыва?
5. Як разумець сцверджанне: «Удзельнае супраціўленне свінцу роўна $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ »?
6. Чаму медзь не выкарыстоўваецца для вырабу спіралей у электраабагравальніках?

**Прыклады рашэння задач**

1. Выразіце ў асноўных адзінках СІ ўдзельнае супраціўленне свінцу $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Рашэнне. Зададзенае значэнне $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ паказвае, што свінцовы праваднік даўжынёй $l = 1,0 \text{ м}$ і плошчай папярочнага сячэння $S = 1,0 \text{ мм}^2$ мае супраціўленне $R = 0,21 \text{ Ом}$. Выразім гэта значэнне ў асноўных адзінках СІ:

$$\begin{aligned} \rho &= 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = \\ &= 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot 0,000001 \text{ м}^2}{\text{м}} = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Значэнне $\rho = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ азначае, што праваднік даўжынёй $l = 1,0 \text{ м}$ і плошчай папярочнага сячэння $S = 1,0 \text{ мм}^2$ мае супраціўленне $R = 0,21 \text{ мкОм}$.

Адказ заканамерны: праваднік, сячэнне якога $S = 1,0 \text{ мм}^2$ у мільён разоў большае за сячэнне $S = 1,0 \text{ мм}^2$, павінен мець у мільён разоў меншае супраціўленне.

2. Пры падключэнні да крыніцы з напружаннем $U = 4,5 \text{ В}$ нікелінавага правадніка папярочным сячэннем $S = 0,20 \text{ мм}^2$ па ім прайшоў ток сілай $I = 300 \text{ мА}$. Якая даўжыня правадніка?