

# ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

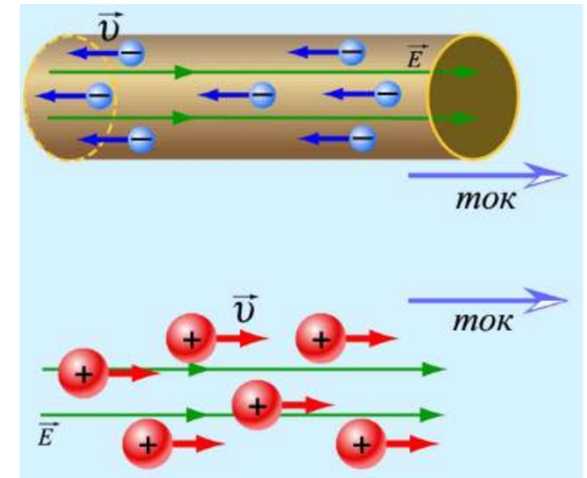
*Электрический ток* – это упорядоченное (направленное) движение частиц – носителей электрических зарядов.

Условились принимать за направление электрического тока направление движения положительных электрических зарядов в проводнике.

Электрический ток в проводнике проявляется в переносе зарядов через его поперечное сечение. Чтобы можно было сравнить или охарактеризовать токи, введена скалярная величина – *сила электрического тока*  $I$ .


*Сила тока в проводнике равна отношению электрического заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, к интервалу времени его прохождения:*

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$



# ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Электрический ток, не меняющийся с течением времени по величине и направлению, называется *постоянным* ( $I=const$ ).

Единица силы тока называется *ампер* (А) и является одной из основных единиц в СИ. Силу тока измеряют амперметром, его условное обозначение на схемах: .

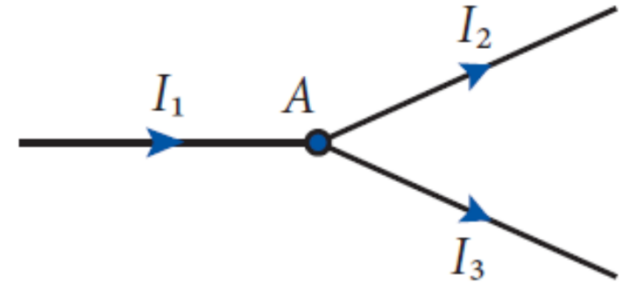
В цепях постоянного тока сила тока не изменяется со временем, то есть электрический заряд не может накапливаться на каком-либо участке цепи, что повлияло бы на величину силы тока. Применяв закон сохранения электрического заряда к электрическим цепям, приходим к выводу:

*в электрической цепи постоянного тока без ответвлений в любом поперечном сечении проводника значение силы тока одинаково.*

Если к некоторой точке А цепи подключено три или больше проводников, то такая точка называется *узлом*.


# ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Применяя закон сохранения электрического заряда к узлу на рисунке, получим, что *сумма токов, входящих в узел в цепи постоянного тока, равна сумме токов, выходящих из этого узла:*



$$I_1 = I_2 + I_3.$$

Известно что, электрический ток возникает и существует в проводнике, если только между его концами имеется разность потенциалов (электрическое напряжение).

Электрическое напряжение измеряется вольтметром; условное обозначение на схемах: 

Электрический ток направлен от области с высоким потенциалом в область с низким потенциалом.

Силы действующие на заряды называют *сторонними силами*.

Элемент электрической цепи, в котором действуют сторонние силы, называют *источником тока*.

# ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

На схемах его изображают знаком  или .

*Внутри источника тока положительные заряды перемещаются в сторону действия сторонних сил – от отрицательного полюса к положительному, в направлении, противоположном действию электростатических сил.*

Величина характеризующей источник тока называется электродвижущей силой (ЭДС):

*электродвижущая сила источника тока равна отношению работы сторонних сил по перемещению электрического заряда по цепи к величине этого заряда:*

$$\varepsilon = \frac{L_{ст.}}{q}.$$

В 1826 году Георг Ом установил опытным путем, что:

*сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному к его концам напряжению:  $I \sim U$ .*

# ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Этот результат известен как закон Ома для однородного участка цепи:

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

где величина  $R$ , характеристика проводника, называется *электрическим сопротивлением*.


Единица сопротивления называется Ом и обозначается Ом (или  $\Omega$ ).

Сравнивая сопротивления цилиндрических проводников постоянного поперечного сечения из одинаковых материалов, Ом установил, что они равны в случае равенства отношений длины проводника  $l$  к его поперечному сечению  $S$ . Сопротивление проводников постоянного поперечного сечения увеличивалось с увеличением их длины.

Ом пришел к выводу, что  $R = \rho \frac{l}{S}$ ,

где величина  $\rho$ , называемая *удельным сопротивлением проводника*, – характеристика вещества.  $[\rho]_{СИ} = \text{Ом} \cdot \text{м}$ .

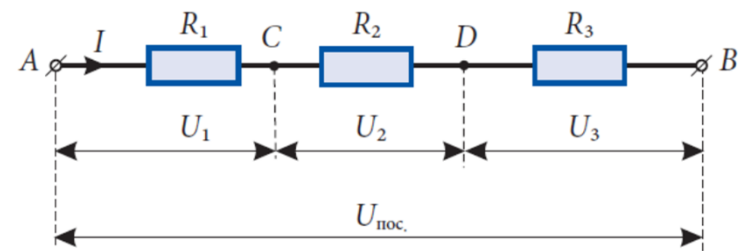
# ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Элемент электрической цепи, имеющий определенное электрическое сопротивление, называется *резистором*. На схемах изображается значком .

В электрических цепях встречаются различные соединения резисторов. Зачастую необходимо группу резисторов заменить одним, имеющим такое же сопротивление. Оно называется *эквивалентным сопротивлением*.

## Последовательное соединение:

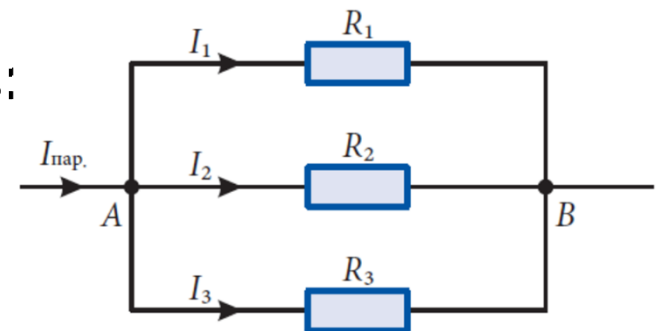
Эквивалентное сопротивление соединенных последовательно резисторов равно сумме их сопротивлений:



$$R_{\text{посл.}} = R_1 + R_2 + R_3.$$

## Параллельное соединение резисторов:

$$\frac{1}{R_{\text{пар.}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$



## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Величина, обратная эквивалентному сопротивлению параллельно соединенных резисторов, равна сумме величин, обратных сопротивлениям каждого из резисторов.

Вызвав упорядоченное движение свободных электрических зарядов в проводнике электрическое поле совершает работу. Ее принято называть *работой электрического тока*:

$$L = IUt.$$

Применяя закон Ома, можно получить и другие формулы для совершенной током работы:

$$L = I^2 R t \quad \text{или} \quad L = \frac{U^2}{R} t.$$

Развиваемую электрическим током мощность, численно равную работе, совершаемой в единицу времени, находят по формулам:

$$P = \frac{L}{t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

# ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Согласно закону сохранения и превращения энергии количество выделившейся теплоты равно работе электрического тока:

$$L = Q = I^2 R t.$$

*Выделившееся в проводнике (резисторе) количество теплоты равно произведению квадрата силы тока, его сопротивления и продолжительности прохождения тока по нему.*

При проведении реальных исследований электрических характеристик цепей с постоянным током необходимо учитывать сопротивление самого источника тока.

Таким образом в физике осуществляется переход от идеального источника тока к реальному источнику тока, у которого есть свое сопротивление



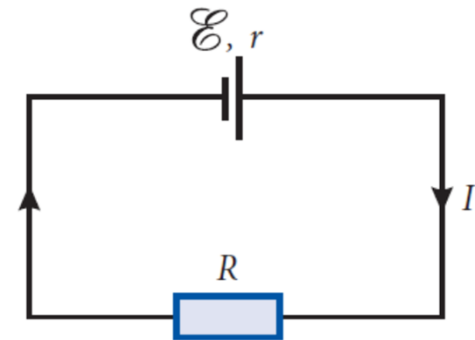


# ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Закон Ома для полной цепи гласит:

*сила тока в полной цепи равна отношению электродвижущей силы источника тока к ее полному сопротивлению*

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

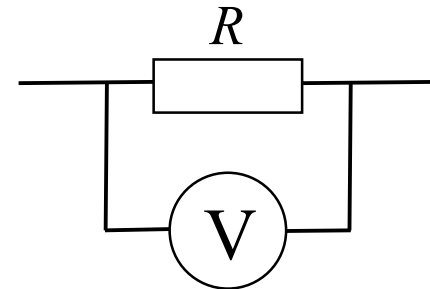
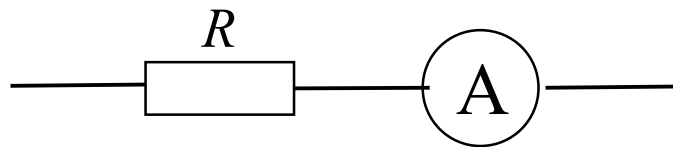


## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

8.16.\* Каким сопротивлением должен обладать электроизмерительный прибор, чтобы его можно было использовать либо в качестве вольтметра с пределом  $U = 15$  В, либо в качестве миллиамперметра с пределом  $I = 7,5$  мА? (Отв.: 2 кОм).

Решение:

$$\begin{array}{l} \text{Дано:} \\ U = 15 \text{ В} \\ I = 7,5 \text{ мА} \\ \hline R - ? \end{array}$$



$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I},$$

$$R = \frac{15}{7,5 \cdot 10^{-3}} = 2000 \text{ (}\Omega\text{)}.$$

## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

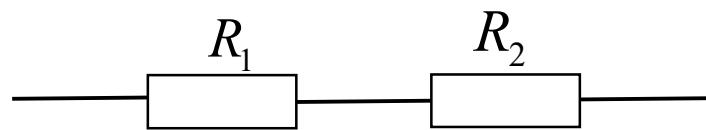
8.28.\* Два одинаковых сопротивления по 16 Ом каждое соединены один раз последовательно, второй – параллельно. Найти разность общих сопротивлений в первом и во втором случаях. (Отв.: 24 Ом).

Решение:

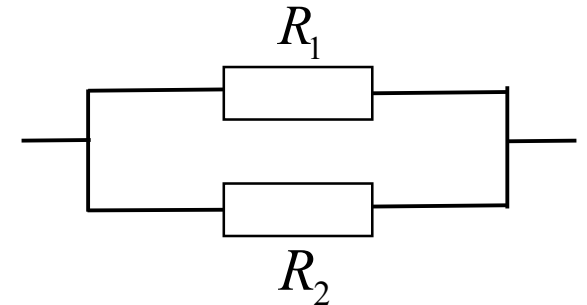
Дано:

$$R_1 = R_2 = R = 16 \text{ } \Omega$$

$$\left( R_{\text{посл}} - R_{\text{пар}} \right) = ?$$



$$R_{\text{посл}} = R_1 + R_2 = 2R.$$



$$\frac{1}{R_{\text{пар}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{2}{R} \Rightarrow$$

$$R_{\text{пар}} = \frac{R}{2}.$$

$$R_{\text{посл}} - R_{\text{пар}} = 2R - \frac{R}{2} = \frac{3R}{2}, \quad R_{\text{посл}} - R_{\text{пар}} = \frac{3 \cdot 16}{2} = 24 \text{ (}\Omega\text{)}.$$

## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

8.31.\* Два сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  соединены параллельно друг с другом и включены в сеть. Токи через них равны 0,6 А и 0,15 А, соответственно. Найти величину сопротивления  $R_2$ , если сопротивление  $R_1 = 3 \text{ Ом}$ . (Отв.: 12 Ом).

Дано:

$$I_1 = 0,6 \text{ А}$$

$$I_2 = 0,15 \text{ А}$$

$$R_1 = 3 \text{ Ом}$$

---

$$R_2 = ?$$

Решение:

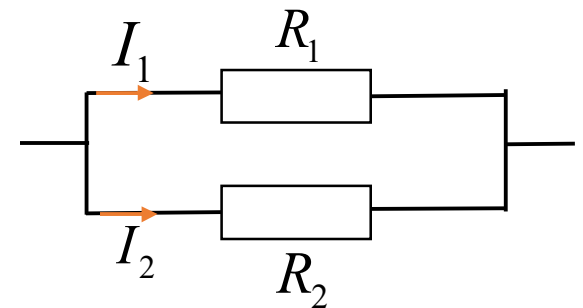
$$U = \text{const}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2};$$

$$U = I_1 R_1;$$

$$U = I_2 R_2;$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \Rightarrow R_2 = \frac{I_1 R_1}{I_2},$$



$$R_2 = \frac{0,6 \cdot 3}{0,15} = 12 \text{ (}\Omega\text{)}.$$

## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

8.34.\* Если источник с внутренним сопротивлением 2 Ом подключить к сопротивлению 10 Ом, сила тока в цепи равна 0,4 А. Найти силу тока в цепи при подключении этого источника тока к сопротивлению 8 Ом. (Отв.: 0,48 А).

Дано:

$$r = 2 \text{ } \Omega$$

$$R = 10 \text{ } \Omega$$

$$I = 0,4 \text{ А}$$

$$R_1 = 8 \text{ } \Omega$$

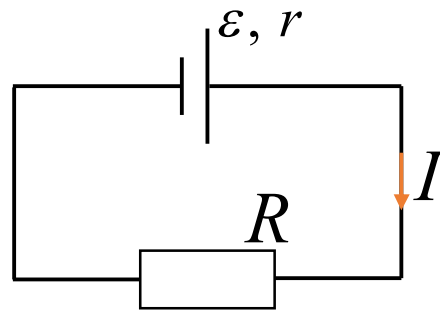
---

$$I_1 - ?$$

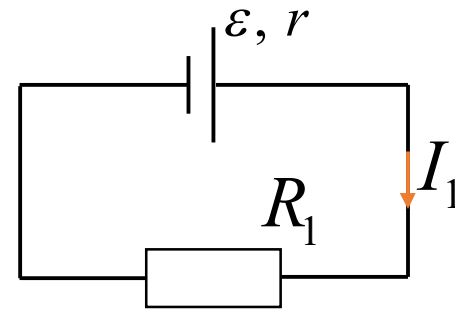
$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= I(R+r) \\ \varepsilon &= I_1(R_1+r) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$I(R+r) = I_1(R_1+r) \Rightarrow I_1 = \frac{I(R+r)}{R_1+r},$$
$$I_1 = \frac{0,4(10+2)}{8+2} = 0,48 \text{ (А)}.$$

Решение:



$$I = \frac{\varepsilon}{R+r};$$



$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1+r};$$

## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

**8.38.\*** Для измерения температуры применили металлическую проволочку, имеющую при температуре  $40^{\circ}\text{C}$  сопротивление  $16\ \Omega$ . При другой температуре ее сопротивление стало  $18\ \Omega$ . Определить эту температуру, если температурный коэффициент сопротивления металла равен  $0,005\ \text{K}^{-1}$ . (**Отв.:**  $70^{\circ}\text{C}$ ).

*Дано:*

$$t_1 = 40^{\circ}\text{C}$$

$$R_1 = 16\ \Omega$$

$$R_2 = 18\ \Omega$$

$$\alpha = 0,005\ \text{K}^{-1}$$

$$t_2 = ?$$

*Решение:*

$$R = R_0 (1 + \alpha \cdot t)$$

$$1 \rightarrow R_1 = R_0 (1 + \alpha \cdot t_1)$$

$$2 \rightarrow R_2 = R_0 (1 + \alpha \cdot t_2)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_0 (1 + \alpha \cdot t_2)}{R_0 (1 + \alpha \cdot t_1)} \Rightarrow$$

$$R_2 + R_2 \alpha t_1 = R_1 + R_1 \alpha t_2 \Rightarrow R_2 + R_2 \alpha t_1 - R_1 = R_1 \alpha t_2 \Rightarrow$$

$$t_2 = \frac{R_2 + R_2 \alpha t_1 - R_1}{R_1 \alpha}, t_2 = \frac{18 + 18 \cdot 0,005 \cdot 40 - 16}{16 \cdot 0,005} = 70^{\circ}\text{C}.$$

## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

8.39.\* Через проводник, к концам которого приложено напряжение 4 В, за 2 мин проходят 15 Кл электричества. Найти сопротивление проводника. (Отв.: 32 Ом).

Дано:

$$U = 4 \text{ В}$$

$$t = 2 \text{ мин}$$

$$q = 15 \text{ Кл}$$

-----  
 $R = ?$

Решение:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I}; \quad I = \frac{q}{t};$$

$$R = \frac{U}{\frac{q}{t}} = \frac{U \cdot t}{q},$$

$$R = \frac{4 \cdot 120}{15} = 32 \text{ (}\Omega\text{)}.$$

## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

8.43.\* Какой величины надо взять дополнительное сопротивление, чтобы можно было включить в сеть с напряжением  $U = 220$  В лампу, которая горит нормально при напряжении  $U_1 = 160$  В и токе  $I = 4$  А? (Отв.: 15 Ом).

Дано:

$$U = 220 \text{ В}$$

$$U_1 = 160 \text{ В}$$

$$I = 4 \text{ А}$$

-----  
 $R - ?$

Решение:

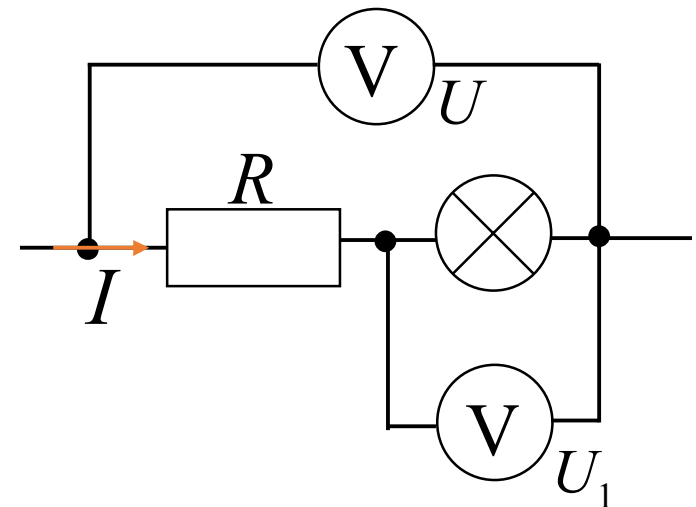
$$I = \text{const}$$

$$U_R = U - U_1$$

$$I = \frac{U_R}{R} \Rightarrow$$

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{U - U_1}{I},$$

$$R = \frac{220 - 160}{4} = 15 \text{ (}\Omega\text{)}.$$





## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

**8.53.\*** В цепи, состоящей из источника ЭДС  $\mathcal{E} = 12$  В, внутренним сопротивлением  $1,5$  Ом и внешним сопротивлением, идет ток силой  $1$  А. Найти величину внешнего сопротивления.  
(**Отв.:**  $10,5$  Ом).

*Дано:*

$$\mathcal{E} = 12 \text{ В}$$

$$r = 1,5 \text{ }\Omega$$

$$I = 1 \text{ А}$$

-----  
 $R = ?$

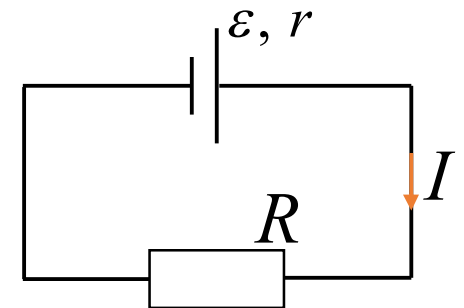
*Решение:*

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

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

$$R = \frac{\mathcal{E}}{I} - r,$$

$$R = \frac{12}{1} - 1,5 = 10,5 \text{ (}\Omega\text{)}.$$



## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

8.56.\* Резистор сопротивлением 8 Ом подключен к источнику тока с ЭДС 3 В. По цепи идет ток 0,3 А. Найти силу тока короткого замыкания. (Отв.: 1,5 А).

Дано:

$$R = 8 \text{ } \Omega$$

$$\varepsilon = 3 \text{ В}$$

$$I = 0,3 \text{ А}$$

---

$$I_{\text{к.з.}} - ?$$

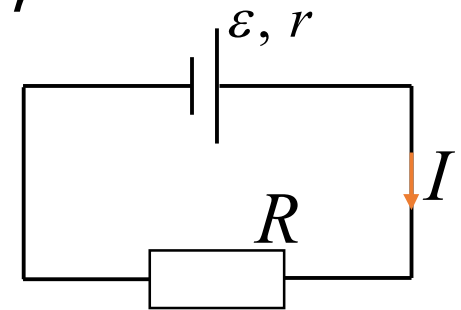
Решение:

$$R \rightarrow 0 \Rightarrow I_{\text{к.з.}}, \quad I_{\text{к.з.}} = \frac{\varepsilon}{r};$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \Rightarrow R+r = \frac{\varepsilon}{I} \Rightarrow$$

$$r = \frac{\varepsilon}{I} - R;$$

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\varepsilon}{\frac{\varepsilon}{I} - R} = \frac{\varepsilon \cdot I}{\varepsilon - I \cdot R}, \quad I_{\text{к.з.}} = \frac{3 \cdot 0,3}{3 - 0,3 \cdot 8} = 1,5 \text{ (А)}.$$



## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

8.64.\* Источник тока с ЭДС 10 В замкнут на сопротивление 18 Ом. Найти внутреннее сопротивление источника, если напряжение на зажимах источника равно 9 В. (Отв.: 2 Ом).

Дано:

$$\varepsilon = 10 \text{ В}$$

$$R = 18 \text{ }\Omega$$

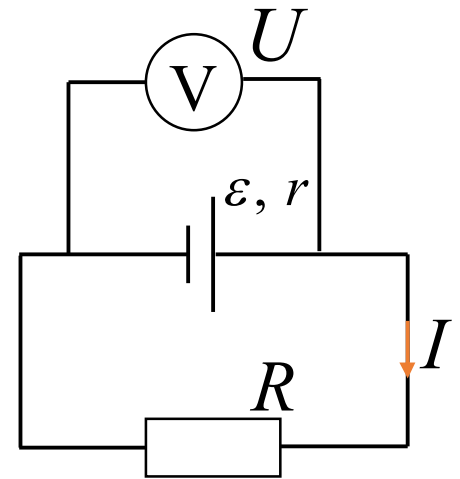
$$U = 9 \text{ В}$$

Решение:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

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

$$\frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{U}{R} \Rightarrow$$



$r = ?$

$$\varepsilon R = UR + Ur \Rightarrow \varepsilon R - UR = Ur \Rightarrow$$

$$r = \frac{R(\varepsilon - U)}{U}, \quad r = \frac{18(10 - 9)}{9} = 2 \text{ (}\Omega\text{)}.$$

## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

8.71.\* Имеется предназначенный для измерения разности потенциалов до 30 В вольтметр сопротивлением 2 кОм. Какое добавочное сопротивление надо взять, чтобы этим вольтметром можно было измерить ЭДС батареи 75 В. Сопротивлением батареи пренебречь. (Отв.: 3 кОм).

Дано:

$$U = 30 \text{ В}$$

$$R_V = 2 \text{ к}\Omega$$

$$U_1 = 75 \text{ В}$$

---

$$R_D = ?$$

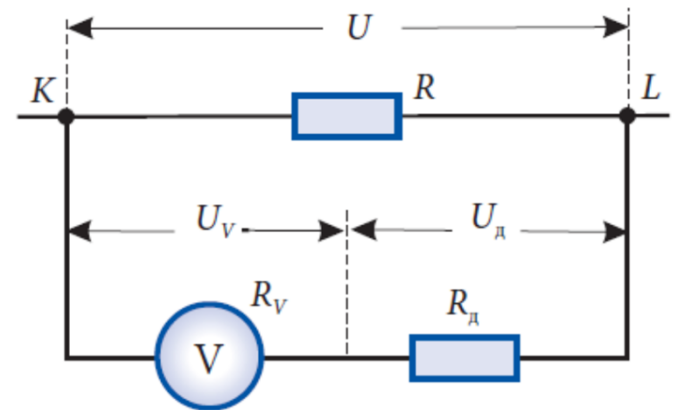
Решение:

$$R_D = (n - 1) R_V;$$

$$n = \frac{U_1}{U};$$

$$R_D = \left( \frac{U_1}{U} - 1 \right) R_V,$$

$$R_D = \left( \frac{75}{30} - 1 \right) \cdot 2 \cdot 10^3 = 3 \cdot 10^3 \text{ (}\Omega\text{)}.$$



## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

8.73.\*\* ЭДС элемента равна 1,6 В, а внутреннее сопротивление 0,5 Ом. Чему равен КПД элемента при силе тока 2,4 А? (Отв.: 0,25).

Дано:

$$\varepsilon = 1,6 \text{ В}$$

$$r = 0,5 \text{ }\Omega$$

$$I = 2,4 \text{ А}$$

---

$$\eta - ?$$

Решение:

$$\eta = \frac{L_{\text{пол}}}{L_{\text{затр}}};$$

$$L_{\text{пол}} = I \cdot U \cdot t;$$

$$L_{\text{затр}} = I \cdot \varepsilon \cdot t;$$

$$\eta = \frac{I \cdot U \cdot t}{I \cdot \varepsilon \cdot t} = \frac{U}{\varepsilon};$$

$$U = I \cdot R$$

$$\varepsilon = I(R + r)$$

$$\eta = \frac{IR}{I(R + r)} = \frac{R}{R + r};$$

## ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \Rightarrow R+r = \frac{\varepsilon}{I} \Rightarrow$$

$$R = \frac{\varepsilon}{I} - r,$$

$$R = \frac{1,6}{2,4} - 0,5 = 0,17 \text{ (}\Omega\text{)},$$

$$\eta = \frac{R}{R+r} \Rightarrow \eta = \frac{0,17}{0,17+0,5} = 0,25.$$

# ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК