

## 7. ПРАВИЛА КИРХГОФА ДЛЯ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ЦЕПЕЙ

### 7.1. Основные формулы

I алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в любом узле, равны нулю, т.е.

$$\sum I_i = 0.$$

II для любого замкнутого контура алгебраическая сумма произведений сил токов на сопротивление соответствующих участков цепи равна алгебраической сумме всех ЭДС, действующих в этом контуре:

$$\sum IR = \sum \varepsilon_i.$$

Порядок решения задач:

- 1) обозначить токи на всех участках;
- 2) выбрав направление обхода, составить уравнение по II правилу Кирхгофа, причем  $IR$  берется с «+», если направление  $I$  совпадает по направлению с обходом контура и наоборот.  $\varepsilon$  берется с «+», если стороннее поле совпадает по направлению с обходом и «-», если наоборот;
- 3) составить уравнения по I правилу Кирхгофа.

### 7.2. Примеры решения задач

**Задача 1.** Батарея имеет ЭДС  $\varepsilon_1 = 2$  В и  $\varepsilon_2 = 3$  В, сопротивление  $R_1 = 1$  кОм,  $R_2 = 0,5$  кОм и  $R_3 = 0,2$  кОм, сопротивление амперметра  $R_A = 0,2$  кОм. Найти показание амперметра (рис. 7.1).

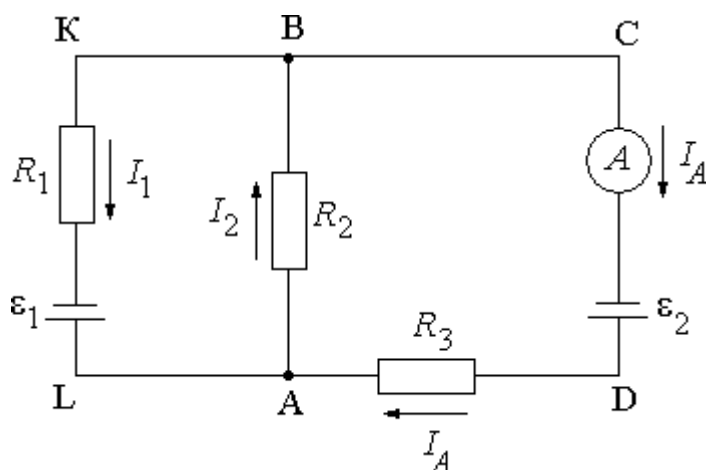


Рис. 7.1

**Анализ и решение.** Выберем и рассмотрим два контура: KLAB и BCDA. Для контура KLAB выберем направление обхода против часовой стрелки, а для контура ABCD – по часовой стрелке. Тогда по II правилу Кирхгофа:

$$I_1 R_2 + I_2 R_1 = \varepsilon_1 ,$$

$$I_A (R_A + R_3) + I_2 R_1 = \varepsilon_2 .$$

По I правилу Кирхгофа для узла A:

$$I_2 = I_1 + I_A .$$

Решаем систему из 3-х уравнений:

$$I_2 = \frac{\varepsilon_2 - I_A (R_A + R_3)}{R_1} ,$$

$$I_1 = \frac{\varepsilon_1 - I_2 R_1}{R_2} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + I_A (R_A + R_3)}{R_2} ,$$

$$\frac{\varepsilon_2 - I_A (R_A + R_3)}{R_1} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + I_A (R_A + R_3)}{R_2} + I_A ,$$

$$\frac{1 - 400I_A}{1000} = \frac{1 + 400I_A}{500} + I_A ,$$

$$1 - 400I_A = 2 + 800I_A + 1000I_A ,$$

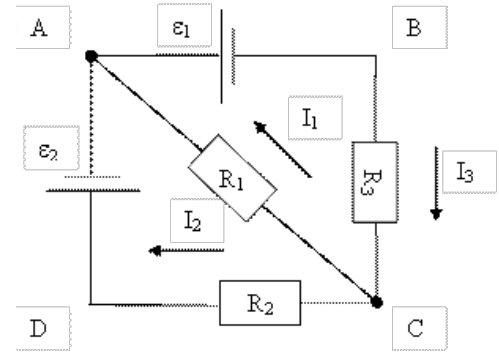
$$- 2200I_A = 1 \quad I_A = - \frac{1}{2200} = -0,45 \text{ мА} .$$

Знак «-» показывает, что направление тока  $I_A$  противоположно направлению, указанному на рисунке.

**Задача 2.** В схеме представленной на рисунке  $\varepsilon_1 = 2,1$  В,  $\varepsilon_2 = 1,9$  В,  $R_1 = 45$  Ом,  $R_2 = 10$  Ом,  $R_3 = 10$  Ом. Найти силу тока во всех участках цепи. Внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

**Анализ и решение.**

Применим правила Кирхгофа для данной разветвленной цепи. Наметим направления токов стрелками на схеме.



Для узла С:  $I_3 = I_1 + I_2$ .

Для Узла А получим тождественное уравнение.

Для контура АВС по второму правилу Кирхгофа:  $I_3 R_3 + I_1 R_3 = \varepsilon_1$ .

Для контура АСD:  $I_1 R_1 + I_2 R_2 = \varepsilon_2$ .

(Вместо контура АСD или АВС можно было бы взять контур АВСD)

Имеем три уравнения с тремя неизвестными, т.е. система разрешима:

$$\begin{cases} I_3 = I_1 + I_2 \\ 10I_3 + 45I_1 = 2,1 \\ 45I_1 - 10I_2 = 1,9 \end{cases}$$

решая эту систему, получим:  $I_1 = 0,04$  А;  $I_2 = -0,01$  А;  $I_3 = 0,03$  А.

Отрицательный знак у тока  $I_2$  указывает на то, что направление было выбрано неверно. Направление тока  $I_2$  в действительности будет идти от D к C, а не наоборот, как это было принято перед составлением уравнений.

Ответ:  $I_1 = 0,04$  А;  $I_2 = -0,01$  А;  $I_3 = 0,03$  А.

**Задача 3.** Три источника тока с ЭДС  $\varepsilon_1 = 11$  В,  $\varepsilon_2 = 4$  В и  $\varepsilon_3 = 6$  В и три резистора с сопротивлениями  $R_1 = 5$  Ом,  $R_2 = 10$  Ом,  $R_3 = 20$  Ом соединены как показано на схеме. Определить силы токов  $I$  в резисторах. Внутреннее сопротивление источника пренебрежимо мало.

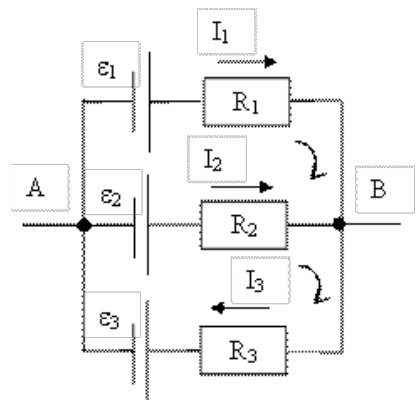
**Анализ и решение.** Воспользуемся правилами Кирхгофа. Выберем произвольные направления токов. И направление обхода контуров по часовой стрелке.

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} -I_1 - I_2 + I_3 = 0 \\ I_1 R_1 - I_2 R_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \\ I_2 R_2 + I_3 R_3 = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \end{cases} \quad \begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 5I_1 - 10I_2 = 7 \\ 10I_2 + 2I_3 = -2 \end{cases}$$

$$I_1 = \frac{7}{5} + 2I_2 \quad I_3 = -1 - 5I_2 \quad I_3 = I_1 + I_2 \quad -1 - 5I_2 = I_1 + I_2$$

$$I_1 = -1 - 6I_2$$



$$\text{Приравняем: } \frac{7}{5} + 2I_2 = -1 - 6I_2$$

$$I_2 = -0,3A \quad \leftarrow \rightarrow \text{ — направление тока}$$

$$I_1 = \frac{7}{5} - 2 \cdot 0,3 = 0,8A$$

$$I_3 = 0,8 - 0,3 = 0,5A$$

$$\text{Ответ: } I_1 = 0,8A \quad I_2 = -0,3A \quad I_3 = 0,5A$$

**Задача 4.** В схеме, показанной на рисунке, найти силу тока через гальванометр, если  $\varepsilon_1 = 1,5 \text{ В}$ ,  $R_1 = 3 \text{ кОм}$ ;  $\varepsilon_2 = 3 \text{ В}$ ,  $R_2 = 6 \text{ кОм}$ . Сопротивлением гальванометра пренебречь.

**Анализ и решение.** Нам неизвестно сопротивление гальванометра, запишем для напряжения на нем два уравнения:

$$U = E_1 - I_1 R_1$$

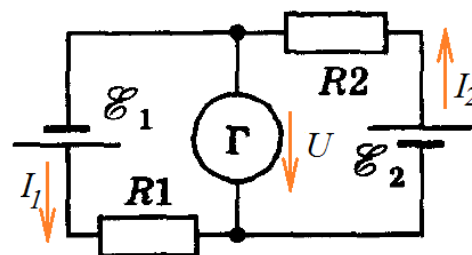
$$U = E_2 - I_2 R_2$$

Приравнявая, получим

$$E_1 - I_1 R_1 = E_2 - I_2 R_2$$

Заметим, что, если  $I_1 = I_2$ , то равенство будет выполнено. Таким образом, ток через гальванометр не течет.

$$\text{Ответ: } I = 0 \text{ А.}$$

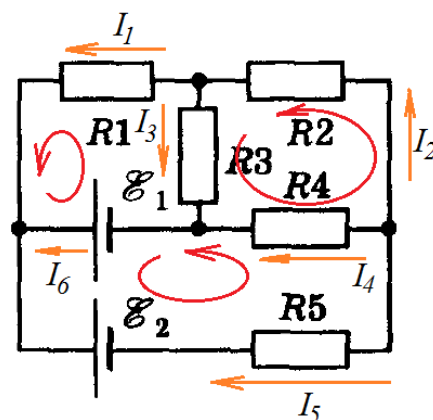


**Задача 5.** В цепи  $\varepsilon_1 = 65 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2 = 39 \text{ В}$ ,  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 10 \text{ Ом}$ . Найти распределение токов в цепи. Внутреннее сопротивление источников тока не учитывать.

**Анализ и решение.** Обозначаем токи в ветвях произвольно, выбираем направления обходов контуров и сами контуры. Составляем систему уравнений. Сначала составим уравнение по первому закону Кирхгофа — у нас три узла, поэтому уравнений будет два. Затем, обходя контуры, составим три уравнения по второму закону: их нужно составить именно три, так как неизвестных токов в цепи шесть.

$$\begin{cases} I_1 + I_6 + I_5 = 0 \\ -I_3 - I_1 + I_2 = 0 \\ -I_2 - I_4 - I_5 = 0 \\ I_1 R_1 - I_3 R_3 = -E_1 \\ I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4 = 0 \\ I_4 R_4 - I_5 R_5 = E_1 - E_2 \end{cases}$$

Решаем систему и находим ответ:  $I_1 = -2,3 \text{ А}$ ,  $I_2 = -0,4 \text{ А}$ ,  $I_3 = 1,9 \text{ А}$ ,  $I_4 = 1,5 \text{ А}$ ,



$I_5 = -1,1 \text{ A}$ ,  $I_6 = 3,4 \text{ A}$ .

### 7.3. Задачи для самостоятельного решения

7.1. Батареи имеют ЭДС  $\varepsilon_1 = 2 \text{ В}$  и  $\varepsilon_2 = 3 \text{ В}$ , сопротивление  $R_3 = 1,5 \text{ кОм}$ , сопротивление амперметра  $R_A = 0,5 \text{ кОм}$ . Падение потенциала на сопротивлении  $R_2$  равно  $U_2 = 1 \text{ В}$  (ток через  $R_2$  направлен сверху вниз). Найти показание амперметра (рис. 7.2).

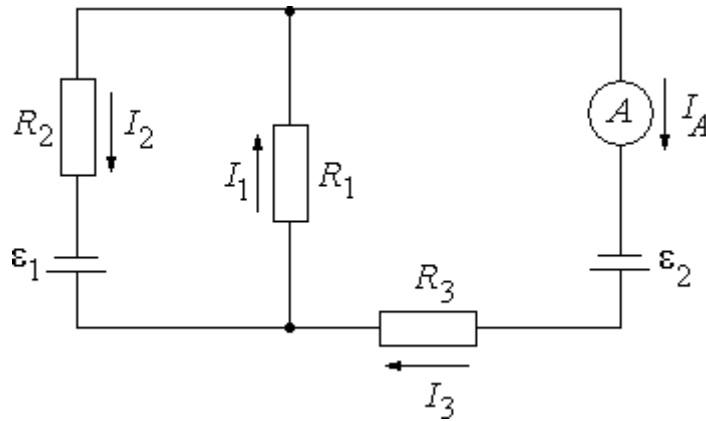


Рис. 7.2

$[I_A = 1 \text{ mA}]$

7.2. Батареи имеют ЭДС  $\varepsilon_1 = 2\varepsilon_2$ , сопротивления  $R_1 = R_3 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 15 \text{ Ом}$  и  $R_4 = 30 \text{ Ом}$ . Через амперметр течет ток  $I = 1,5 \text{ А}$ , направленный снизу-вверх. Найти ЭДС  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , а также токи  $I_2$  и  $I_3$ , текущие через сопротивления  $R_2$  и  $R_3$  (рис. 7.3).

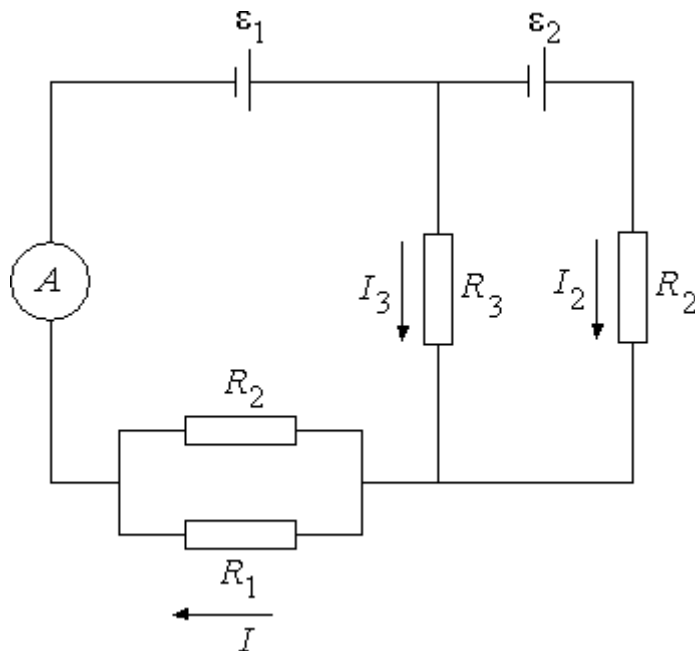


Рис. 7.3

$$[I_2 = 1,2 \text{ A}; I_3 = 0,3 \text{ A}; E_1 = 24 \text{ В}; E_2 = 12 \text{ В}]$$

7.3. На рис.  $\varepsilon_1 = 10 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2 = 20 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_3 = 40 \text{ В}$ , а сопротивления  $R_1 = R_2 = R_3 = R = 100 \text{ м}$ . Определите силу токов, протекающих через сопротивления (I) и через источники ЭДС ( $I'$ ). Внутреннее сопротивление источников не учитывать (рис. 7.4).

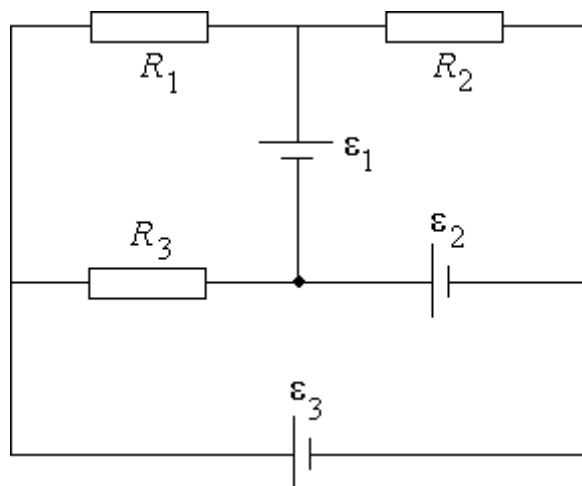


Рис. 7.4

$$[I_3 = 1 \text{ A}; I_2 = 3 \text{ A}; I_3 = 2 \text{ A}; I'_1 = 2 \text{ A}; I'_2 = 0; I'_3 = 3 \text{ A}]$$

7.4. Элементы имеют ЭДС  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1,5$  В и внутренние сопротивления  $r_1 = r_2 = 0,5$  Ом, сопротивления  $R_1 = R_2 = 5$  Ом и  $R_3 = 1$  Ом, Сопротивление амперметра  $R_A = 3$  Ом. Найти показание амперметра (рис. 7.5).

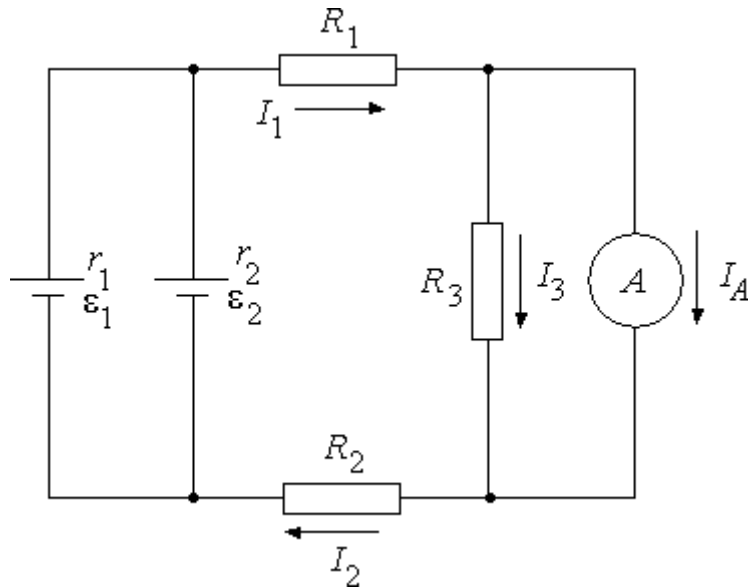


Рис. 7.5

[75 мА]

7.5. Найти  $\varepsilon_2$  и  $\varepsilon_3$  если  $\varepsilon_1 = 25$  В, падения потенциала на сопротивлениях  $R_1, R_2, R_3$  равны  $U_1 = U_2 = U_3 = 10$  В (рис. 7.6).

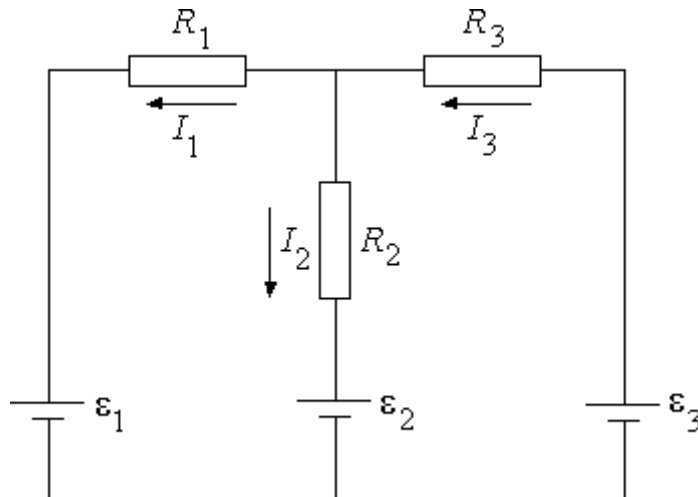


Рис. 7.6

[ $\varepsilon_2 = 30$  В;  $\varepsilon_3 = 45$  В]

7.6. Батареи имеют ЭДС  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 6$  В, сопротивления  $R_1 = 20$  Ом,  $R_2 = 12$  Ом. При коротком замыкании верхнего узла схемы с отрицательным

зажимом батарей через замыкающий провод течет ток  $I = 1,6$  А. Найти токи  $I_i$  во всех участках цепи и сопротивление (рис. 7.7).

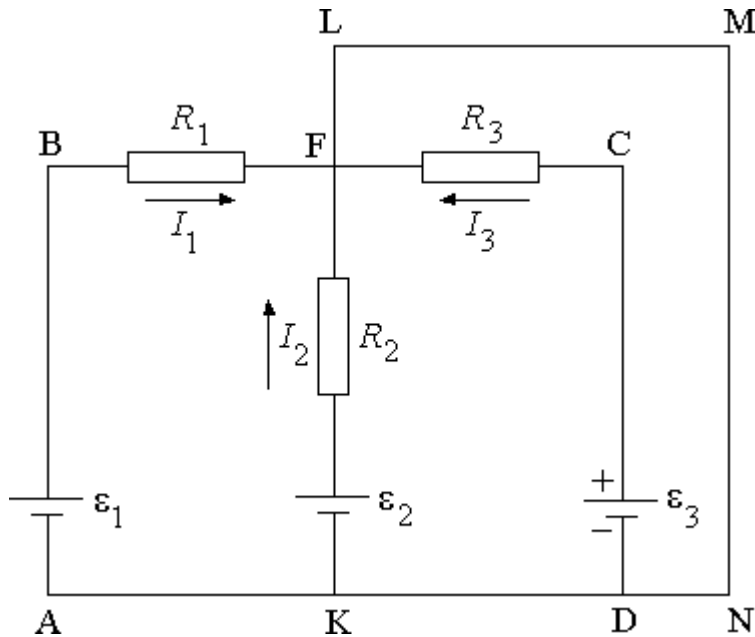


Рис. 7.7

$$[I_1 = 0,3 \text{ А}; I_2 = 0,5 \text{ А}; I_3 = 0,8 \text{ А}; R_3 = 7,5 \text{ Ом}]$$

7.7. Два элемента с одинаковыми ЭДС  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2$  В и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 1$  Ом и  $r_2 = 2$  Ом замкнуты на внешнее сопротивление  $R$ . Через элемент с ЭДС  $\varepsilon_1$  течет ток  $I_1 = 1$  А. Найти сопротивление  $R$  и ток  $I_2$ , текущий через элемент с ЭДС  $\varepsilon_2$ . Какой ток  $I$  течет через сопротивление  $R$  (рис. 7.8)?

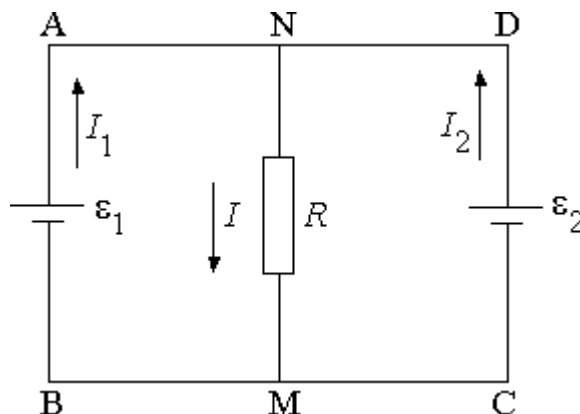


Рис. 7.8

$$[I = 1,5 \text{ А}; R = 0,66 \text{ Ом}]$$



**7.8.** Найти токи  $I_i$  в отдельных ветвях мостика Уитсона при условии, что через гальванометр идет ток  $I_g = 0$ . ЭДС элемента  $\varepsilon = 2$  В, сопротивления  $R_1 = 30$  Ом,  $R_2 = 45$  Ом и  $R_3 = 200$  Ом (рис. 7.9).

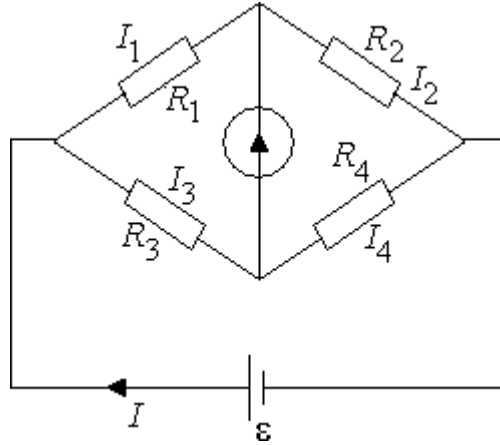


Рис. 7.9

$$[I_1 = I_2 = 26,7 \text{ мА}; I_3 = I_4 = 4 \text{ мА}]$$

**7.9.** Батареи имеют ЭДС  $\varepsilon_1 = 110$  В и  $\varepsilon_2 = 220$  В, сопротивления  $R_1 = R_2 = 100$  Ом,  $R_3 = 500$  Ом. Найти показание амперметра (рис. 7.10).

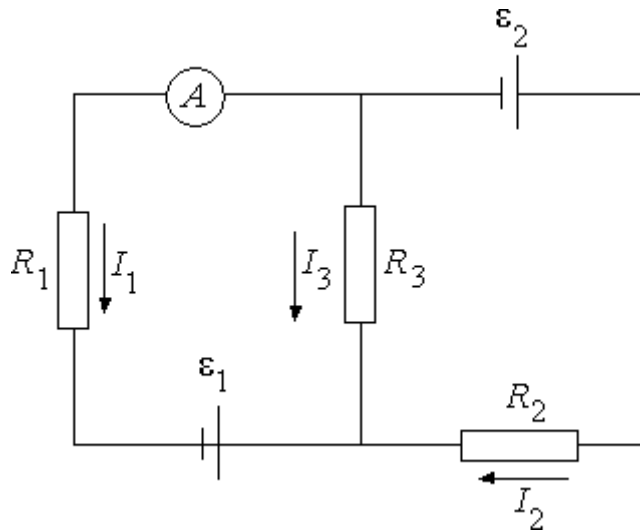


Рис. 7.10

$$[I = 0,4 \text{ А}]$$

**7.10.** Два источника с ЭДС  $\varepsilon_1 = 2$  В и  $\varepsilon_2 = 1,5$  В и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 0,5$  Ом и  $r_2 = 0,4$  Ом включены параллельно сопротивлению  $R = 2$  Ом. Определить силу тока через это сопротивление (рис. 7.11).

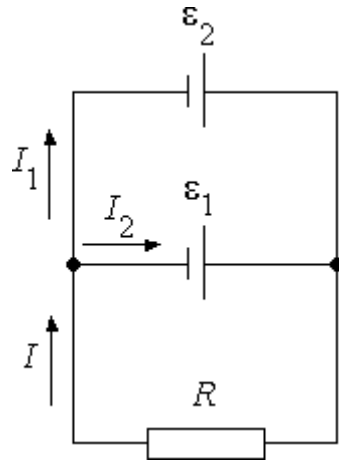


Рис. 7.11

$$[I = 0,775 \text{ A}]$$

## 8. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

### 8.1. Основные формулы

Сила тока измеряется количеством электричества, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Сопротивление  $R$  металлического проводника длиной  $l$  и площадью поперечного сечения  $S$

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad \rho = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала проводника;  $\rho_0$  – удельное

сопротивление при  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

Для участка цепи, не содержащего ЭДС (однородного участка цепи)

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R};$$

для неоднородного участка цепи

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon}{R};$$

для замкнутой цепи

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

где  $\varphi_1 - \varphi_2$  – разность потенциалов на концах рассматриваемого участка

цепи общим сопротивлением  $R$ ;  $\varepsilon$  – ЭДС источника с внутренним сопротивлением  $r$ .

При последовательности соединении проводников сила тока во всех частях цепи одинакова

$$I_1 = I_2 = I.$$

Напряжение на концах участка цепи равна сумма напряжений на частях участка (рис. 8.1)

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 = I, \\ U &= U_1 + U_2, \\ R_{\text{общ}} &= R_1 + R_2. \end{aligned}$$

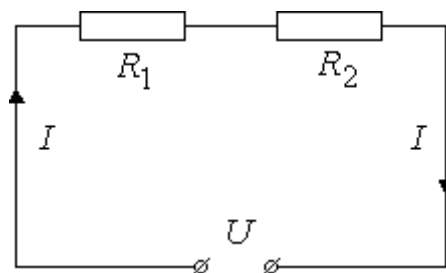


Рис. 8.1

При параллельном соединении проводников (рис. 8.2).

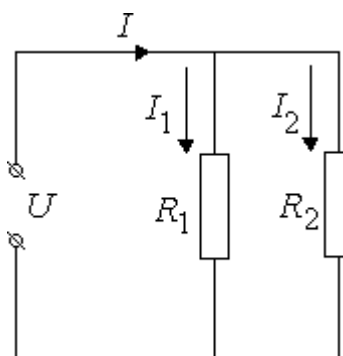


Рис. 8.2

Сила тока в неразветвленной цепи равна сумме сил токов, текущих в разветвленных участках цепи:

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2, \\ U_1 &= U_2 = U, \\ \frac{1}{R_{\text{общ}}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \end{aligned}$$

## РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА. ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА. КПД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Работа тока на данном участке цепи равна

$$A = UIt, \quad A = Pt.$$

При решении задач на работу  $A$  и мощность тока  $P$  в последовательно соединенных проводниках удобно использовать формулы:

$$A = IUt \text{ или } A = I^2 Rt,$$

$$P = I^2 R \text{ или } P = UI,$$

поскольку сила тока в таких проводниках одинакова.

Если проводники соединены параллельно, то можно применять формулы:

$$A = \frac{U^2}{R} t \text{ или } P = \frac{U^2}{R},$$

т.к. в этом случае одинаково напряжение на проводниках.

Если цепь состоит из источника тока с ЭДС  $\varepsilon$  и внутренним сопротивлением  $r$ , то вся работа тока в цепи ( $A_{\text{затр}}$ ) есть сумма работы на внешнем ( $A_{\text{внешн}}$ ) и на внутреннем ( $A_{\text{внутр}}$ ) участках цепи:

$$A_{\text{затр}} = A_{\text{внешн}} + A_{\text{внутр}},$$

$A_{\text{внешн}}$  – полезная работа.

$$A_{\text{затр}} = \varepsilon It,$$

$$A_{\text{внешн}} = UIt = I^2 Rt,$$

$$A_{\text{внутр}} = I^2 rt.$$

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затр}}} 100\%.$$

Закон Джоуля-Ленца определяет количество теплоты, выделившейся в проводнике при прохождении по нему электрического тока:

$$Q = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t = UIt.$$

### 8.2. Примеры решения задач

**Задача 1.** Определить напряжение на зажимах источника тока, имеющего ЭДС 2 в и внутреннее сопротивление 0,5 Ом, до и после подключения к нему внешнего сопротивления 4,5 Ом (рис. 8.3).

**Анализ и решение.**

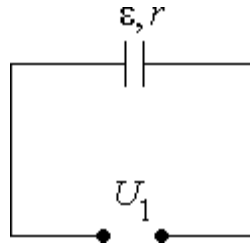
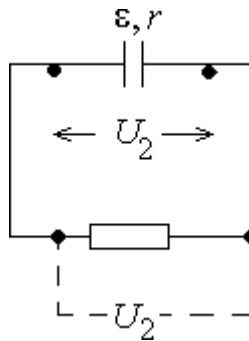


Рис. 8.3

$$U_1 = \varepsilon = 2 \text{ в.}$$

Цепь разомкнута, падение напряжения  $(IR)=0$  (ток отсутствует).



$$U_2 = \varepsilon - Ir$$

напряжение на клеммах источника.

$I$  для замкнутого контура:

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

$$U_2 = \varepsilon - \frac{\varepsilon r}{R + r} = \frac{\varepsilon R + \varepsilon r - \varepsilon r}{R + r} = \varepsilon \frac{R}{R + r} = 1,8 \text{ В.}$$

Падение напряжения во внешней цепи:

$$U = IR = \frac{E}{R + r} R = 1,8 \text{ В.}$$

Численное значение разности потенциалов на зажимах источника и падения напряжения во внешней цепи совпадают. Это возможно только тогда, когда во внешней цепи нет других источников тока.

**Задача 2.** 5 элементов с одинаковыми ЭДС, соединенных последовательно на внешний резистор сопротивления  $R_1 = 3 \text{ Ом}$ , дали ток  $I_1 = 2,5 \text{ А}$ .

Те же элементы, соединенные параллельно на внешний резистор сопротивлением  $R_2 = 2,46 \text{ Ом}$ , дали ток  $I_2 = 0,8 \text{ А}$ . Определить ЭДС и

внутреннее сопротивление каждого элемента (рис. 8.4).

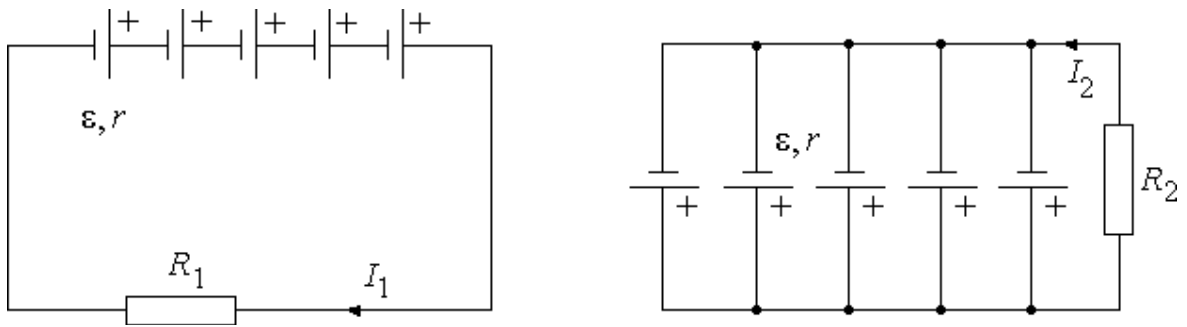
**Анализ и решение.**

Рис. 8.4

Закон Ома для замкнутой цепи  
для 1 случая

$$I_1 = \frac{5\varepsilon}{5r + R_1}; \quad (1)$$

для 2 случая

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{\frac{r}{5} + R_2}. \quad (2)$$

Из (2) находим

$$\varepsilon = I_2 \left( \frac{r}{5} + R_2 \right). \quad (3)$$

Подставив (3) в (1), найдем  $I_1 = \frac{5I_2 \left( \frac{r}{5} + R_2 \right)}{5r + R_1} = \frac{I_2 (r + 5R_2)}{5r + R_1}$ .

Из последнего выражения найдем  $r$

$$5I_1 r + I_1 R_1 = I_2 r + 5I_2 R_2, \\ r = \frac{5I_2 R_2 - I_1 R_1}{5I_1 - I_2}; \quad r = \frac{5 \cdot 0,8 \cdot 2,46 - 2,5 \cdot 3}{5 \cdot 2,5 - 0,8} = \frac{2,34}{11,7} = 0,2 \text{ Ом.}$$

Из (3) найдем ЭДС

$$\varepsilon = 0,8 \left( \frac{0,2}{5} + 2,46 \right) = 2 \text{ В.}$$

**Задача 3.** Участок цепи состоит из стальной проволоки длиной  $l_1 = 2$  м с площадью поперечного сечения  $S_1 = 0,48$  мм<sup>2</sup>, соединенной последовательно с никелиновой проволокой длиной  $l_2 = 1$  м и площадью поперечного сечения  $S_2 = 0,21$  мм<sup>2</sup>. Какое напряжение надо подвести к участку, чтобы получить силу тока  $I = 0,6$  А?

**Анализ и решение.** Определим сопротивления обеих проволок (Ом).

$$R_{st} = \frac{\rho_{st} l_1}{S_1} = \frac{0,12 \cdot 10^{-6} \cdot 2}{0,48 \cdot 10^{-6}} = 0,5$$

$$R_{nik} = \frac{\rho_{nik} l_2}{S_2} = \frac{0,42 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{0,21 \cdot 10^{-6}} = 2$$

Так как проволоки соединены последовательно, их сопротивления складываются:

$$R_{st} + R_{nik} = 0,5 + 2 = 2,5$$

Теперь рассчитаем напряжение (В):

$$U = I(R_{st} + R_{nik}) = 0,6 \cdot 2,5 = 1,5$$

Ответ:  $U = 1,5$  В.

**Задача 4.** Две спирали из различных материалов соединены параллельно. Отношения их длин 15:14, а площадей поперечных сечений – 5:4. Оказалось, что за одинаковое время в них выделяется одинаковое количество теплоты. Определить отношение удельных сопротивлений этих материалов.

**Анализ и решение.**

Если выделилось одно и то же количество тепла, то

$$Q_1 = Q_2$$

$$I_1^2 R_1 = I_2^2 R_2$$

Так как проволоки соединены параллельно, то напряжение на их концах одинаково:

$$U = I_1 R_1 = I_2 R_2$$

Откуда найдем:

$$U I_1 = U I_2$$

$$\frac{I_2}{I_1} = 1$$

Сопротивление первой проволоки зависит от удельного сопротивления материала, длины и поперечного сечения:

$$R_1 = \frac{\rho_1 l_1}{S_1}$$

Аналогично и для второй проволоки:

$$R_2 = \frac{\rho_2 l_2}{S_2}$$

«Вытащим» удельное сопротивление:

$$\rho_1 = \frac{R_1 S_1}{l_1}$$

$$\rho_2 = \frac{R_2 S_2}{l_2}$$

Разделим первое на второе:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{R_1 S_1 I_2}{R_2 S_2 I_1} = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{I_2}{I_1} = \frac{5}{4} \cdot \frac{14}{15} = \frac{7}{6}$$

Ответ:  $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{7}{6}$

**Задача 5.** Электродвигатель подъемного крана подключен к источнику тока напряжением  $U = 380$  В, при этом сила тока в его обмотке  $I = 20$  А. Каков КПД установки, если груз массой  $m = 1$  т кран поднимает на высоту  $h = 19$  м за



время  $t = 50$  с?

**Анализ и решение.**

Электродвигатель совершает работу

$$A = mgh$$

Мощность (фактическая) равна

$$P_r = \frac{A}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 19}{50} = 3800$$

Мощность двигателя равна:

$$P = UI = 380 \cdot 20 = 7600$$

Тогда КПД крана

$$\eta = \frac{P_r}{P} = 0,5$$

Ответ: КПД крана 50%.

## 8.2. Задачи для самостоятельного решения

**8.1.** Аккумулятор, ЭДС которого  $\varepsilon = 25$  В и внутреннее сопротивление  $r = 1$  Ом, заряжается от сети напряжением  $U = 40$  В через дополнительное сопротивление  $R = 5$  Ом. Найти напряжение  $U_1$  на зажимах аккумулятора.

[27,5 В]

**8.2.** При коротком замыкании батареи возникает ток  $I_1$ , а при подключении резистора сопротивлением  $R$  ток в цепи  $I_2$ . Определить ЭДС  $\varepsilon$  батареи.

$$\left[ \varepsilon = I_2 R \left( 1 - \frac{I_2}{I_1} \right) \right]$$

**8.3.** Аккумулятор, внутренним сопротивлением которого пренебречь, поочередно замыкали на два разных резистора. В первом случае ток был  $I_1$ , во втором –  $I_2$ . Определить ток при замыкании аккумулятора на эти резисторы, соединенные последовательно.

$$[I = I_1 I_2 (I_1 + I_2)]$$

**8.4.** Два элемента с ЭДС  $\varepsilon_1 = 2$  В и  $\varepsilon_2 = 1$  В и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 0,7$  Ом и  $r_2 = 0,3$  Ом соответственно соединены так, как показано на рисунке. Определить разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  (рис. 8.5).

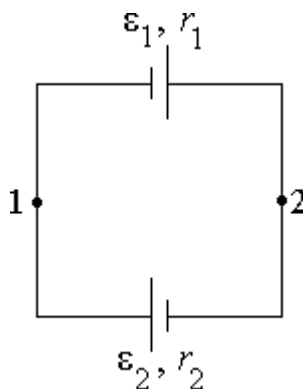


Рис. 8.5

[-0,1 В]

**8.5.** Вольтметр со шкалой на  $U = 100$  В имеет внутреннее сопротивление  $R_B = 10$  кОм. Какую наибольшую разность потенциалов можно измерить этим прибором, если подсоединить к нему добавочное сопротивление  $R_d = 90$  кОм?

[1000 В]

**8.6.** Амперметр рассчитан на измерение максимального тока

$I_{\max} = 0,1$  А, при этом падение напряжения на амперметре  $U = 0,2$  В. Каким сопротивлением необходимо шунтировать прибор, чтобы им можно было измерять ток до  $I = 2$  А?

[0,1 Ом]

**8.7.** К батарее через переменное сопротивление подключен вольтметр. Если сопротивление уменьшить втрое, то показания вольтметра возрастут вдвое. Во сколько раз изменится показание вольтметра, если сопротивление уменьшить до нуля?

[В 4 раза]

**8.8.** Два аккумулятора с ЭДС  $\varepsilon_1 = 57$  В и  $\varepsilon_2 = 32$  В соединены, как

показано на рисунке. Что покажет вольтметр с бесконечно большим сопротивлением, если отношения внутренних сопротивлений аккумуляторов  $r_1 / r_2 = 1,5$  (рис. 8.6)?

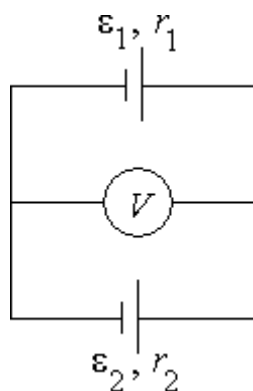


Рис. 8.6

[-47 В]

**8.9.** Если на вход электрической цепи подано напряжение  $U_1 = 100$  В, то напряжение на выходе  $U_2 = 40$  В. Если на выход цепи подать напряжение  $U_3 = 60$  В, то напряжение на входе окажется равным  $U_4 = 15$  В. Сопротивление  $R_2 = 60$  Ом. Определить сопротивления  $R_1, R_3$  (рис. 8.7).

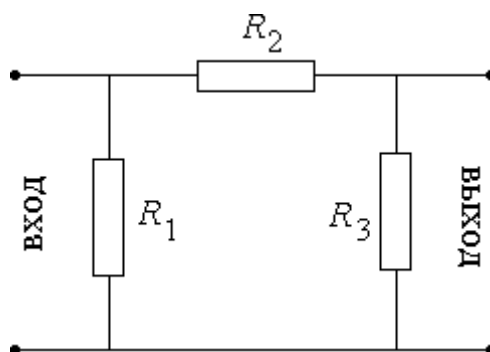


Рис. 8.7

[ $R_1 = 20$  Ом,  $R_3 = 40$  Ом]

**8.10.** Аккумулятор замкнут на некоторый резистор. В день последовательно резистору включается параллельно два амперметра, которые показывают токи соответственно  $I_1$  и  $I_2$ . Затем эти амперметры включаются в цепи, последовательно. В этом случае их показания равны  $I_3$ . Определить ток  $I$  в цепи при отсутствии амперметров.

$$\left[ I = \frac{(I_1 + I_2)^2}{I_1 I_2} \right]$$

$$\left[ I_1 + I_2 - \frac{I_1 I_2}{I_3} \right]$$

**8.11.** Для определения места повреждения изоляции между двухпроводной телефонной линией длиной  $l = 6$  км к одному концу линии подсоединили батарею с ЭДС  $\xi = 24$  В. При этом оказалось, что если провода у другого конца линии разомкнуты, то через батарею течет ток  $I_1 = 1,5$  А, а если замкнуты накоротко, то сила тока через батарею  $I_2 = 2$  А. Определить место повреждения изоляции. Сопротивление одного километра провода  $R_0 = 6$  Ом. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

[2,29 км от места подключения батареи]

**8.12.** Найти заряд на конденсаторе  $C$ . Внутренним сопротивлением батареи пренебречь. ЭДС батареи равна  $\xi$  (рис. 8.8).

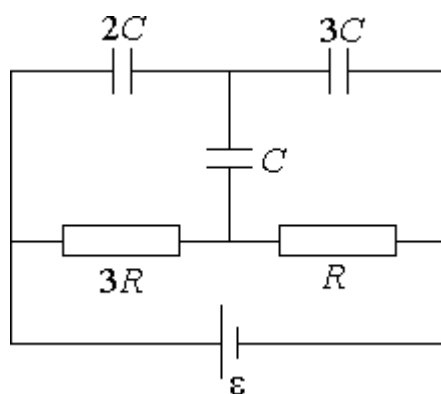
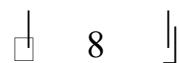


Рис. 8.8

$$q = \frac{1}{8} C \xi$$



**8.13.** Найти разность потенциалов между обкладками каждого из конденсаторов, емкости которых  $C_1 = 4$  мкФ и  $C_2 = 1$  мкФ, если ЭДС

источников  $\xi_1 = 2$  В,  $\xi_2 = 6$  В (рис. 8.9).

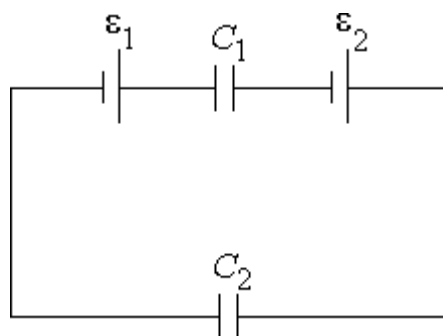


Рис. 8.9

$$[U_1 = 0,8 \text{ В}, U_2 = 3,2 \text{ В}]$$

**8.14.** Найти разность потенциалов между точками А и В. Величины  $\xi_1, \xi_2, C_1, C_2$  заданы (рис. 8.10).

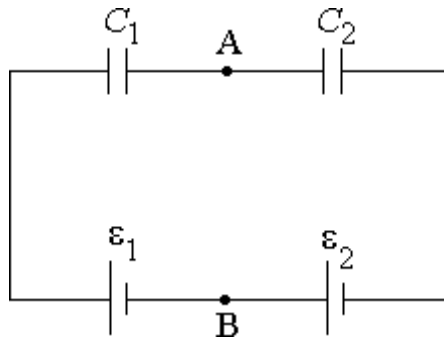


Рис. 8.10

$$\left[ \varphi_A - \varphi_B = \frac{C_1 \xi_1 - C_2 \xi_2}{C_1 + C_2} \right]$$

$$\left[ \frac{C_1 + C_2}{C_1 + C_2} \right]$$

**8.15.** Найти разность потенциалов между точками  $a$  и  $b$ . ЭДС каждого элемента  $\xi$ , внутреннее сопротивление  $r$  (рис. 8.11).

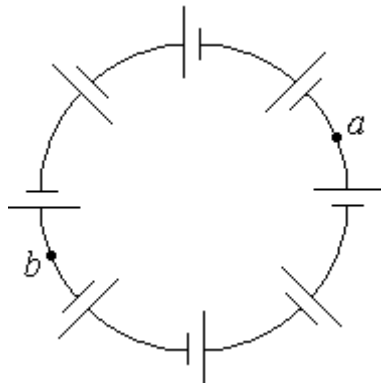


Рис. 8.11

[0]