

# Расчет силы тока и напряжения в электрических цепях

## Правила Кирхгофа

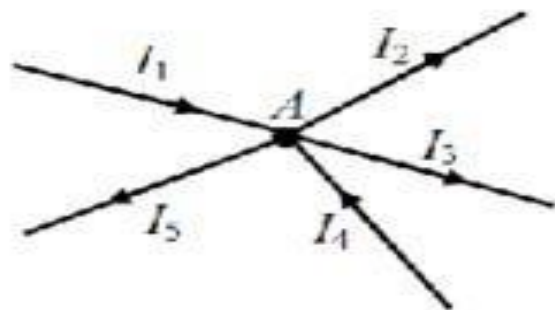
Для упрощения расчета разветвленных цепей, содержащих неоднородные участки, были созданы специальные правила – *правила Кирхгофа*:

1. Алгебраическая сумма сил токов для каждого узла равна нулю:

$$\pm I_1 \pm I_2 \pm \dots \pm I_N = 0.$$

*Правило знаков для токов в узлах:*

- если ток **втекает** в узел, то силу тока берем со знаком «+»,
- если ток **вытекает** из узла, то со знаком «-».



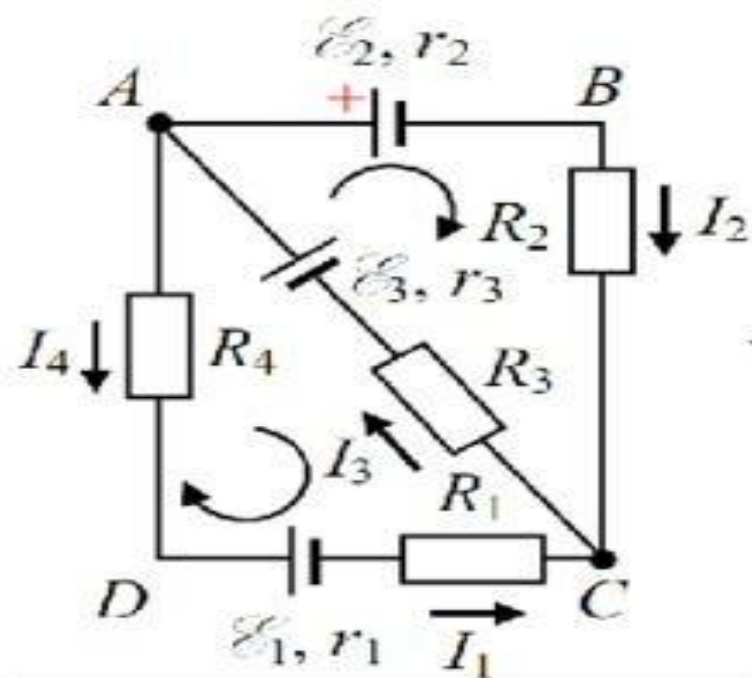
Для узла А можно записать:

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

## Правила Кирхгофа

2. Алгебраическая сумма ЭДС в замкнутом контуре равна алгебраической сумме произведений сил токов и сопротивлений каждого из участков этого контура:

$$\pm I_1 \cdot (R_1 + r_1) \pm I_2 \cdot (R_2 + r_2) \pm \dots \pm I_n \cdot (R_n + r_n) = \pm \mathcal{E}_1 \pm \mathcal{E}_2 \pm \dots \pm \mathcal{E}_k$$



Выберем обходы контура по часовой стрелке:

Для контура ABC со знаком «+» берем  $I_2, I_3, \mathcal{E}_3$ .

Со знаком «-» берем  $\mathcal{E}_2$ .

$$I_2 \cdot (R_2 + r_2) + I_3 \cdot (R_3 + r_3) = -\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$$

Для контура ADC со знаком «+» берем  $\mathcal{E}_1$ .

Со знаком «-» берем  $I_1, I_3, I_4, \mathcal{E}_3$ .

$$-I_1 \cdot (R_1 + r_1) - I_3 \cdot (R_3 + r_3) - I_4 \cdot R_4 = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$$

Если учесть, что  $I_1 = I_4$ ,

$$-I_1 \cdot (R_1 + r_1 + R_4) - I_3 \cdot (R_3 + r_3) = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$$

## Правила Кирхгофа

*Примечание.* Для каждого контура направление его обхода, определяющее знаки токов и ЭДС, выбирают произвольно. Если в результате решения задачи получают отрицательное значение тока на каком-то участке, то это зна-

*Правило знаков для токов в контурах:*

- если направление тока совпадает с направлением обхода контура, то силу тока берем со знаком «+»,
- если направление тока не совпадает с направлением обхода контура, то силу тока берем со знаком «-».

*Правило знаков для ЭДС в контурах:*

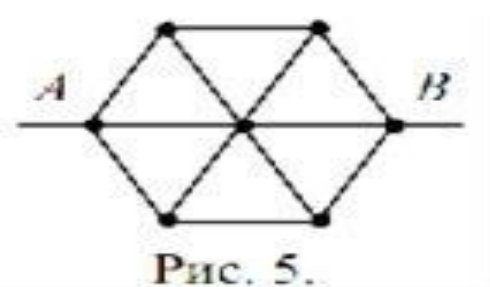
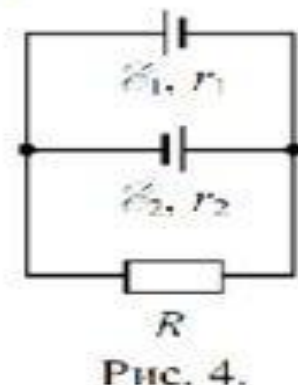
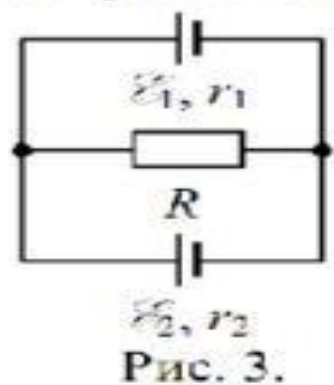
- если направление тока источника совпадает с направлением обхода контура, то ЭДС источника берем со знаком «+»,
- если направление тока источника не совпадает с направлением обхода контура, то ЭДС источника берем со знаком «-».

*Мнемоническое правило знаков для ЭДС в контурах:*

- знак ЭДС соответствует знаку последней клеммы источника при переходе через источник по обходу контура.

## Решение задач

1 Два источника, ЭДС и внутренние сопротивления которых равны соответственно  $\mathcal{E}_1 = 1,6$  В и  $\mathcal{E}_2 = 1,3$  В,  $r_1 = 1$  Ом и  $r_2 = 0,5$  Ом, соединены так, как показано на рис. 3. Определите силы токов во всех ветвях, если резистор имеет сопротивление  $R = 0,6$  Ом.



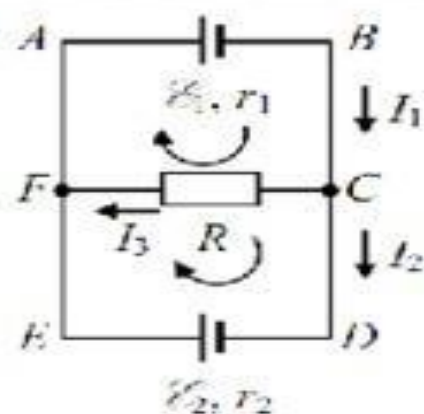
2 Два источника тока с ЭДС  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$  и внутренними сопротивлениями  $r_1$  и  $r_2$  включены так, как показано на рис. 4. Определите силу тока в проводнике с сопротивлением  $R$ .

3 Найти сопротивление цепи, которая представляет собой каркас из одинаковых отрезков проволоки (рис. 5) сопротивлением  $R_0$  каждый.

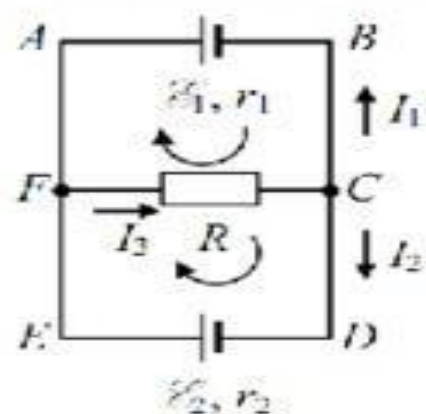
## Решение задач

1

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= 1,6 \text{ В}, \quad \mathcal{E}_2 = 1,3 \text{ В}, \\ r_1 &= 1 \text{ Ом}, \quad r_2 = 0,5 \text{ Ом}, \\ R &= 0,6 \text{ Ом}, \\ I_1 &= ? \quad I_2 = ? \quad I_3 = ? \end{aligned}$$



а



б

Для узла  $\dot{C}$ :  $I_1 - I_2 - I_3 = 0$  (1).

Для контура  $ABCF$ :  $I_1 \cdot r_1 + I_3 \cdot R = -\mathcal{E}_1$  (2).

Для контура  $FCDE$ :  $I_2 \cdot r_2 - I_3 \cdot R = \mathcal{E}_2$  (3).

Решим систему уравнений (1)-(3). Например,

$$I_1 = I_2 + I_3, \quad (I_2 + I_3) \cdot r_1 + I_3 \cdot R = -\mathcal{E}_1, \quad I_2 = \frac{-\mathcal{E}_1 - I_3 \cdot (R + r_1)}{r_1},$$

$$\frac{-\mathcal{E}_1 - I_3 \cdot (R + r_1)}{r_1} \cdot r_2 - I_3 \cdot R = \mathcal{E}_2, \quad -I_3 \cdot \left( \frac{r_2}{r_1} \cdot R + r_2 + R \right) = \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_1 \cdot \frac{r_2}{r_1},$$

## Решение задач

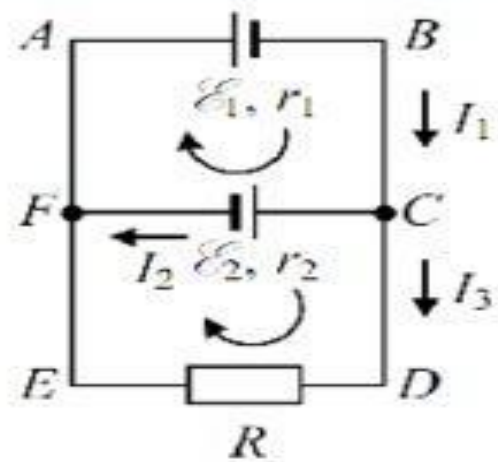
$$I_3 = \frac{-\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 \cdot \frac{r_2}{r_1}}{r_2 \cdot R + r_2 + R}, \quad I_3 = -1,5 \text{ A}, \quad I_2 = 0,8 \text{ A}, \quad I_1 = -0,7 \text{ A}.$$

2  $\frac{\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, r_1, r_2, R,}{I_3 = ?}$

Для узла  $C$ :  $I_1 - I_2 - I_3 = 0$  (1).

Для контура  $ABDE$ :  $I_1 \cdot r_1 + I_3 \cdot R = -\mathcal{E}_1$  (2).

Для контура  $FCDE$ :  $-I_2 \cdot r_2 + I_3 \cdot R = \mathcal{E}_2$  (3).



$$I_1 = I_2 + I_3, \quad (I_2 + I_3) \cdot r_1 + I_3 \cdot R = -\mathcal{E}_1, \quad I_2 = \frac{-\mathcal{E}_1 - I_3 \cdot (R + r_1)}{r_1},$$

## Решение задач

---

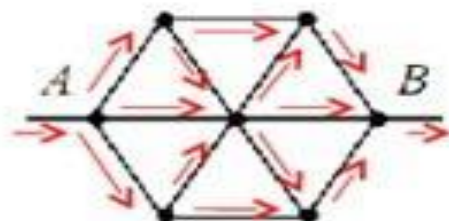
$$\frac{\mathcal{E}_1 + I_3 \cdot (R + r_1)}{r_1} \cdot r_2 + I_3 \cdot R = \mathcal{E}_2, \quad I_3 \cdot \left( \frac{r_2}{r_1} \cdot R + r_2 + R \right) = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 \cdot \frac{r_2}{r_1},$$

$$I_3 = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 \cdot \frac{r_2}{r_1}}{\frac{r_2}{r_1} \cdot R + r_2 + R} = \frac{\mathcal{E}_2 \cdot r_1 - \mathcal{E}_1 \cdot r_2}{r_2 \cdot r_1 + R \cdot (r_1 + r_2)}.$$

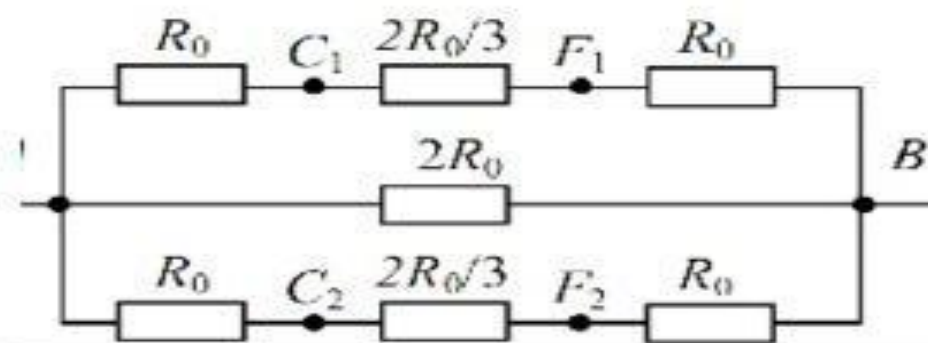
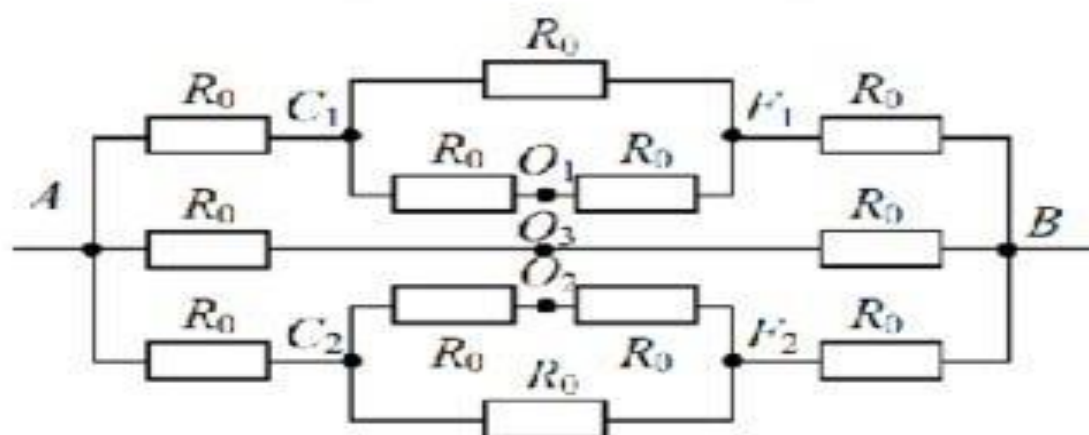
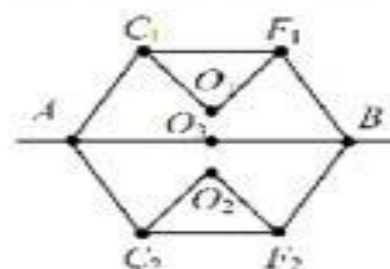


# Решение задач

3

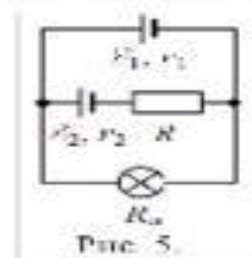


Т.к. точки  $O_1, O_2, O_3$  имеют равные потенциалы



$$R = \frac{1}{\frac{1}{\frac{2R_0}{3} + 2R_0} + \frac{1}{2R_0} + \frac{1}{\frac{2R_0}{3} + 2R_0}} = \frac{1}{\frac{3}{8R_0} + \frac{1}{2R_0} + \frac{3}{8R_0}} = \frac{8R_0}{10} = \frac{4R_0}{5}$$

## Решение задач



1 На рис. 5 показана схема цепи, собранной для зарядки аккумулятора. Источник тока имеет ЭДС  $\mathcal{E}_1 = 22$  В и внутреннее сопротивление  $r_1 = 0,2$  Ом. ЭДС заряжаемого аккумулятора  $\mathcal{E}_2 = 10$  В и его внутреннее сопротивление  $r_2 = 0,6$  Ом. В цепь включены резистор сопротивлением  $R = 10$  Ом и лампа сопротивлением  $R_3 = 48$  Ом. Рассчитайте силы токов во всех участках цепи.

2 Рассчитайте силу тока через резистор  $R_2$ , если сопротивления резисторов равны  $R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = 1$  Ом,  $R_4 = 2$  Ом, ЭДС источника  $\mathcal{E} = 1$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 0,5$  Ом (рис. 6). Задачу решите, используя правила Кирхгофа.

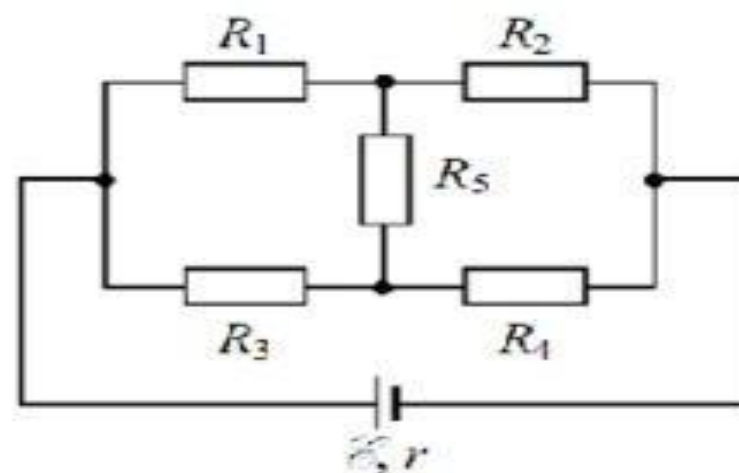


Рис. 6.