а напряжение, которое показывает вольтметр V_1, равно

$$U_0 = I_0 r_в = \frac{\mathcal{E} r_в}{r + r_в} = 0{,}8\mathcal{E}.$$

Отсюда получаем

$$r_в = 4r.$$

После размыкания ключа ток через батарею равен

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r + 2r_в},$$

а напряжения на вольтметрах V_1 и V_2 одинаковы и равны

$$U_1 = U_2 = I r_в = \frac{\mathcal{E} r_в}{r + 2r_в} = \frac{4}{9}\mathcal{E}.$$

Задача 3. *В плоский конденсатор, подключенный к источнику с постоянной ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r, помещена плоская пластина, имеющая заряд q (рис.2).*

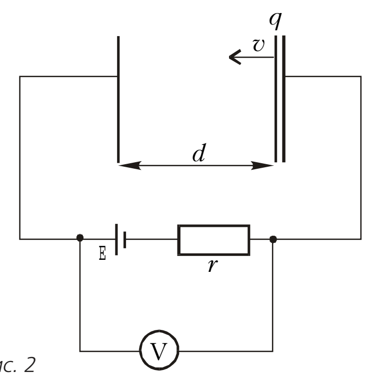

Рис. 2

Что будет показывать идеальный вольтметр, подключенный к клеммам источника, если пластину двигать с постоянной скоростью v? Расстояние между обкладками конденсатора равно d.

При движении заряженной пластины с постоянной скоростью на обкладках конденсатора появляются заряды, обеспечивающие такую разность потенциалов между пластинами, чтобы ток в цепи, а следовательно, и напряжение на батарее оставались постоянными.

Пусть в некоторый момент времени расстояние между перемещаемой заряженной пластиной и правой пластиной конденсатора равно x Обозначим заряды левой и правой обкладок конденсатора в этот момент через q_1 и q_2. Так как батарея не создает зарядов, а способна только перемещать их, то в силу закона сохранения заряда $q_1 + q_2 = 0$, или $q_1 = -q_2$. Эти заряды создают внутри конденсатора электрическое поле, напряженность которого равна

$$E_1 = \frac{q_1}{\varepsilon_0 S},$$

а заряд q пластины создает поле напряженностью

$$E = \frac{q}{2\varepsilon_0 S},$$

где S – площадь обкладок конденсатора и внесенной в него пластины. Согласно принципу суперпозиции электрических полей, разность потенциалов на обкладках конденсатора равна

$$U = (E_1 + E)x + (E_1 - E)(d - x).$$

Положив $x = x_0 + vt$, найдем временную зависимость зарядов, возникающих на обкладках конденсатора:

$$q_1(t) = \frac{U\varepsilon_0 S}{d} + \frac{q}{2} - \frac{qx_0}{d} - \frac{qv}{d}t.$$

Теперь нетрудно определить ток через батарею:

$$I = \frac{\Delta q_1}{\Delta t} = -\frac{qv}{d}$$

и разность потенциалов на клеммах батареи:

$$U = \mathcal{E} - Ir = \mathcal{E} + \frac{qvr}{d}.$$

У идеального вольтметра его внутреннее сопротивление велико, так что током через вольтметр можно пренебречь. В этом случае показания вольтметра совпадут с найденной разностью потенциалов.

Задача 4. *В схеме, изображенной на рисунке 3, ЭДС $\mathcal{E}_1$ первой батареи уменьшили на 1,5 В, после чего токи*

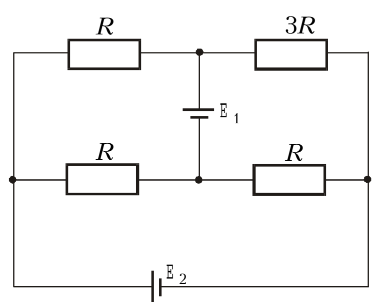

Рис. 3

на различных участках цепи изменились. Как нужно изменить ЭДС $\mathcal{E}_2$ второй батареи, чтобы сила тока через эту батарею осталась прежней? Внутренним сопротивлением батарей можно пренебречь.

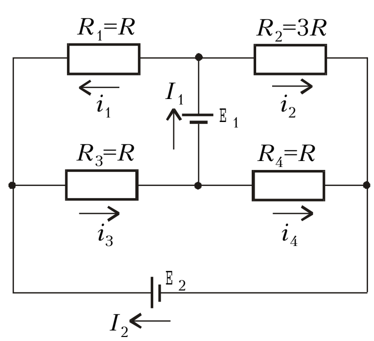

Рис. 4

Расставим токи на каждом участке цепи и введем соответствующие обозначения (рис.4). Согласно первому правилу Кирхгофа,

$$i_3 = i_1 + I_2 \text{ и } i_4 = I_2 - i_2.$$

Теперь рассмотрим три замкнутых контура, каждый из которых содержит источник тока, и запишем для них второе правило Кирхгофа:

$$\mathcal{E}_1 = i_1R_1 + (i_1 + I_2)R_3,$$

$$\mathcal{E}_1 = i_2R_2 - (I_2 - i_2)R_4,$$

$$\mathcal{E}_2 = (i_1 + I_2)R_3 + (I_2 - i_2)R_4.$$

Отсюда найдем ток I_2, протекающий через батарею с ЭДС $\mathcal{E}_2$:

$$I_2 = \frac{4\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}{5R}.$$

При изменении ЭДС $\mathcal{E}_1$ на $\Delta\mathcal{E}_1$ ток через батарею с ЭДС $\mathcal{E}_2$ равен

$$I_2^* = \frac{4(\mathcal{E}_2 + \Delta\mathcal{E}_2) - (\mathcal{E}_1 + \Delta\mathcal{E}_1)}{5R}.$$

По условию задачи токи I_2 и I_2^* равны между собой. Приравняв полученные выражения для этих токов, находим искомое изменение ЭДС второй батареи:

$$\Delta\mathcal{E}_2 = \frac{\Delta\mathcal{E}_1}{4} = 0{,}375 \text{ В},$$

при этом ясно, что ЭДС второй батареи тоже нужно уменьшить.

Задача 5. *В схеме, изображенной на рисунке 5, в начальный момент*

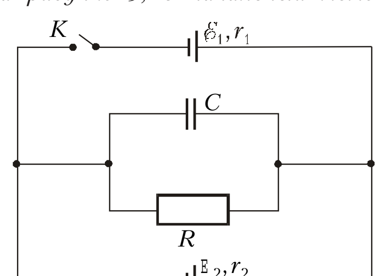

Рис. 5

ключ K разомкнут, а в замкнутом контуре течет установившийся ток. Определите величину и направление тока через конденсатор C сразу после замыкания ключа. Параметры схемы: ЭДС первой батареи $\mathcal{E}_1$ = 40 В, ее внутреннее сопротивление r_1 = 200 Ом, ЭДС второй батареи $\mathcal{E}_2$ = 80 В, ее внутреннее сопротивление r_2 = 50 Ом, сопротивление резистора R = 150 Ом.