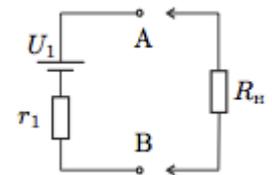
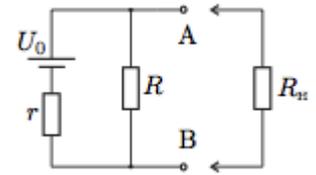


Эквивалентный источник

Данный листок является непосредственным продолжением листка «Правила Кирхгофа».

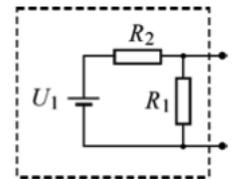
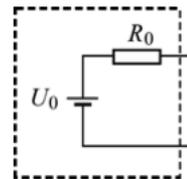
ЗАДАЧА 1. (*Всеросс., 2014, РЭ, 9*) На верхнем рисунке приведена блок-схема регулируемого источника постоянного тока. Идеальная батарея, обеспечивающая постоянное напряжение U_0 , защищена от короткого замыкания резистором, сопротивление которого r . Выходное напряжение задается резистором сопротивлением R . К выходным разъёмам А и В подключают нагрузку, сопротивление которой R_n .

Для упрощения расчёта силы тока, текущего через нагрузку R_n , схему регулируемого источника принято представлять в виде эквивалентной схемы (нижний рисунок), обеспечивающей такую же силу тока, текущего через нагрузку, как и реальный источник (верхний рисунок). Выразите напряжение U_1 и сопротивление r_1 эквивалентной схемы через параметры источника (U_0, R, r).



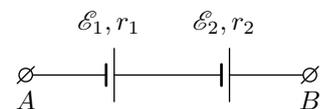
$$\frac{U_1}{r_1} = I_A, \quad \frac{U_0}{R+r} = I_A$$

ЗАДАЧА 2. (*МОШ, 2015, 9*) В «чёрном ящике» находится схема, состоящая из последовательно соединённых идеальной батарейки с напряжением $U_0 = 3,3$ В и резистора сопротивлением $R_0 = 1500$ Ом (рисунок слева). При попытке изготовить второй такой же «чёрный ящик» оказалось, что батареек с нужным напряжением 3,3 В в лаборатории больше нет, зато есть другая идеальная батарейка с напряжением $U_1 = 5$ В. По этой причине решили собрать схему, состоящую из имеющейся батарейки и двух резисторов, соединив эти элементы так, как изображено на рисунке справа. Найдите, какими должны быть сопротивления резисторов R_1 и R_2 для того, чтобы два этих «чёрных ящика» оказались эквивалентными друг другу.



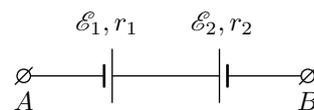
$$\frac{U_0}{R_0} \approx \frac{U_1}{R_1 + R_2} = I_A, \quad \frac{U_0}{R_0} \approx \frac{U_1}{R_1 + R_2} = I_A$$

ЗАДАЧА 3. Два источника постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ и внутренними сопротивлениями r_1, r_2 включены последовательно (см. схему на рисунке). При подключении нагрузки к клеммам А и В схема эквивалентна одному источнику с некоторой ЭДС \mathcal{E}_0 и внутренним сопротивлением r_0 (то есть для любой нагрузки при замене данной схемы на источник с ЭДС \mathcal{E}_0 и внутренним сопротивлением r_0 ток в нагрузке не изменится). Найдите ЭДС \mathcal{E}_0 и внутреннее сопротивление r_0 эквивалентного источника.



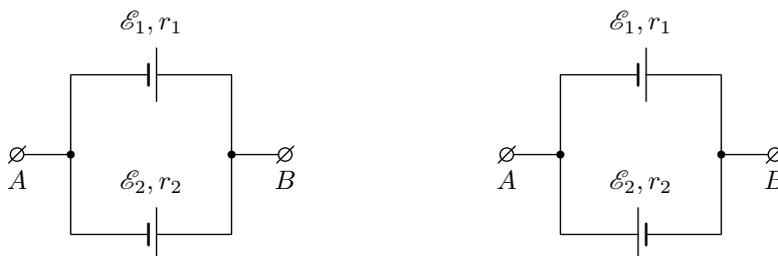
$$\mathcal{E}_0 + r_0 = \mathcal{E}_1 + r_1 + \mathcal{E}_2 + r_2 = 0$$

ЗАДАЧА 4. Два источника постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ и внутренними сопротивлениями r_1, r_2 подключены последовательно одноимёнными клеммами (см. рисунок). Найдите ЭДС \mathcal{E}_0 и внутреннее сопротивление r_0 эквивалентного источника.



$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2; \quad r_0 = r_1 + r_2$$

ЗАДАЧА 5. Два источника с ЭДС $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ и внутренними сопротивлениями r_1, r_2 подключены параллельно двумя способами (см. рисунок слева и справа). Найдите ЭДС \mathcal{E}_0 и внутреннее сопротивление r_0 эквивалентного источника.



$$\text{Слева } \mathcal{E}_0 = \frac{\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1}{r_1 + r_2}; \quad \text{справа } \mathcal{E}_0 = \frac{\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}; \quad r_0 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

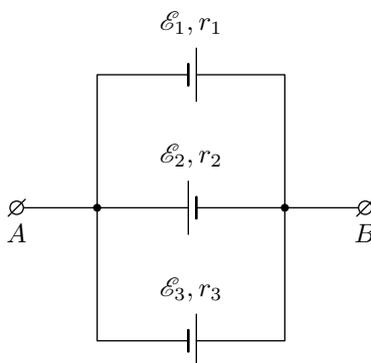
ЗАДАЧА 6. Две батареи с одинаковыми ЭДС \mathcal{E} соединены так, что ЭДС образовавшегося источника равна $\mathcal{E}/2$. Внутреннее сопротивление одной из батарей равно r . Изобразите схему включения и определите возможные значения внутреннего сопротивления второй батареи.

$$r = r \text{ или } r = 3r$$

ЗАДАЧА 7. Две батареи с одинаковыми внутренними сопротивлениями соединили так, что ЭДС образовавшегося источника равна \mathcal{E} . ЭДС одной из батарей равна $3\mathcal{E}/2$. Изобразите все возможные схемы включения и для каждой схемы определите ЭДС второй батареи.

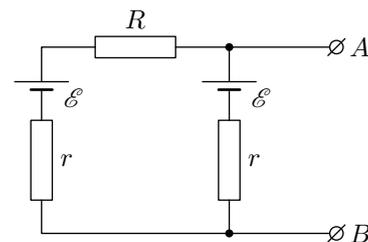
$$r = r \text{ (а) ; } r = 2r \text{ (б) ; } r = \mathcal{E}/2 \text{ (в) ; } r = 3\mathcal{E}/2 \text{ (г) ; } r = 2\mathcal{E} \text{ (д)}$$

ЗАДАЧА 8. Найдите ЭДС \mathcal{E}_0 и внутреннее сопротивление r_0 эквивалентного источника для схемы, изображённой на рисунке.



$$\mathcal{E}_0 = \frac{\mathcal{E}_1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}}; \quad r_0 = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}}$$

ЗАДАЧА 9. (МФТИ, 2006) Электрическая схема, изображённая на рисунке, состоит из двух одинаковых батарей с ЭДС \mathcal{E} и внутренними сопротивлениями r и резистора сопротивления R . При подключении нагрузки к клеммам A и B схема эквивалентна батарее с некоторой ЭДС \mathcal{E}_0 и внутренним сопротивлением r_0 (то есть для любой нагрузки при замене данной схемы на батарею с ЭДС \mathcal{E}_0 и внутренним сопротивлением r_0 ток в нагрузке не изменится).



1) Найдите ЭДС \mathcal{E}_0 и внутреннее сопротивление r_0 эквивалентного источника.

2) К клеммам A и B подключают резистор, сопротивление которого можно изменять. При каком значении этого сопротивления тепловая мощность, выделяющаяся на нём, будет максимальной?

$$0.4 = 0.4 \left(\frac{2\mathcal{E} + r}{\mathcal{E} + r} \right) = 0.4, \mathcal{E} = 0.4 \quad (1)$$

ЗАДАЧА 10. (МФТИ, 2006) Вопрос тот же, что и в предыдущей задаче: для каждой из следующих трёх схем найдите ЭДС \mathcal{E}_0 и внутреннее сопротивление r_0 эквивалентного источника.

Схема 1

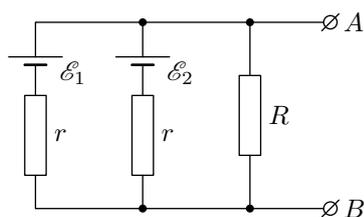


Схема 2

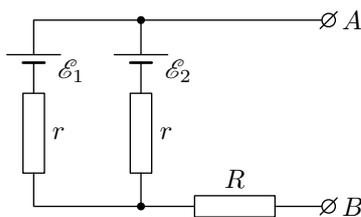
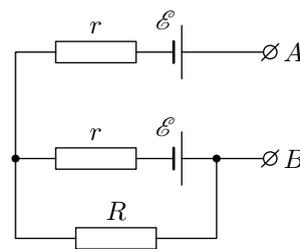
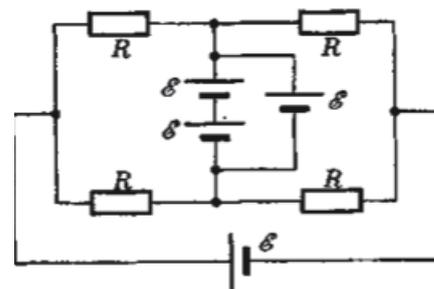


Схема 3



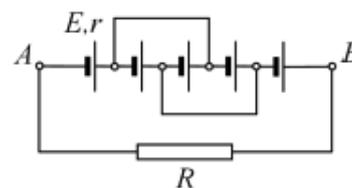
$$\frac{r + \mathcal{E}}{r + \mathcal{E} + R} = 0.4, \frac{r + \mathcal{E}}{r + \mathcal{E}} = 0.4 \left(\frac{r}{r + \mathcal{E}} + R \right) = 0.4 \left(\frac{r}{r + \mathcal{E}} + R \right) = 0.4 \left(\frac{r + \mathcal{E} + R(r + \mathcal{E})}{r + \mathcal{E}} \right) = 0.4 \left(\frac{r + \mathcal{E} + Rr + R\mathcal{E}}{r + \mathcal{E}} \right) = 0.4 \left(1 + \frac{R(r + \mathcal{E})}{r + \mathcal{E}} \right) = 0.4 \left(1 + R \right) = 0.4 \quad (1)$$

ЗАДАЧА 11. (Всеросс., 2005, ОЭ, 11) Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь (рис.), подключив по ошибке одну из батареек параллельно, а не последовательно двум другим. Найдите токи через резисторы в получившейся цепи. Каждый резистор имеет сопротивление R . Все батарейки одинаковы и имеют ЭДС \mathcal{E} . Внутренние сопротивления батареек малы по сравнению с R .



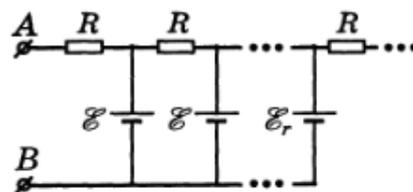
$$\frac{R}{R} = \mathcal{E} I = \mathcal{E} I, \frac{R}{R} = \mathcal{E} I = \mathcal{E} I$$

ЗАДАЧА 12. (МОШ, 2017, 11) Найти ток I через резистор с сопротивлением $R = 5$ Ом в схеме, изображённой на рисунке. Все источники одинаковые и имеют ЭДС $E = 15$ В и внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом. Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.



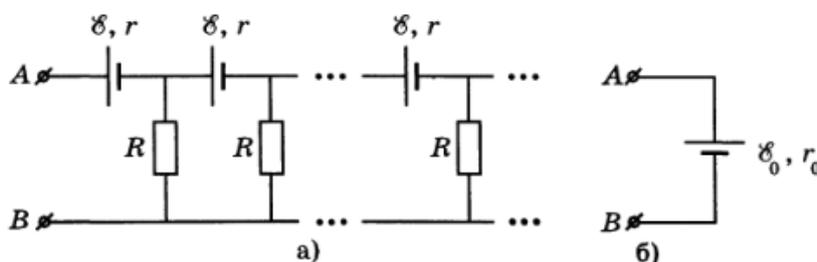
$$I = \frac{2E}{3R + 7r} \approx 3.6 \text{ A}$$

ЗАДАЧА 13. (Всеросс., 1996, ОЭ, 10) Из одинаковых батареек, каждая из которых имеет ЭДС \mathcal{E} и внутреннее сопротивление r , и резисторов сопротивлением R собрана «полубесконечная» цепь (число звеньев $n \rightarrow \infty$), изображённая на рисунке. Что будет показывать идеальный амперметр, подключенный к клеммам AB ?



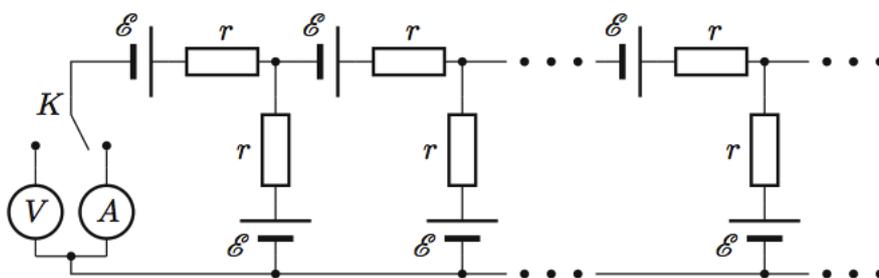
$$\left(1 - \frac{r}{R} + \sqrt{1 - \frac{r}{R}}\right) \frac{\mathcal{E}}{r} = I$$

ЗАДАЧА 14. (Всеросс., 1997, финал, 10) Очень длинная цепочка составлена из одинаковых батареек, имеющих ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В и внутреннее сопротивление $r = 4$ Ом, и резисторов с сопротивлением $R = 15$ Ом (рис. а). Определите ЭДС \mathcal{E}_0 и внутреннее сопротивление r_0 эквивалентной батареи (рис. б).



$$\mathcal{E}_0 = \left(\frac{r}{R} + \sqrt{1 - \frac{r}{R}} + 1\right) \frac{\mathcal{E}}{r} = 0,101 \text{ В}; \quad r_0 = \left(\frac{r}{R} + \sqrt{1 - \frac{r}{R}} + 1\right) \frac{r}{r} = 0,1 \text{ Ом}$$

ЗАДАЧА 15. (Всеросс., 2006, финал, 10) На рисунке изображена полубесконечная цепочка, состоящая из одинаковых источников постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 1,2$ В и внутренним сопротивлением $r = 2,0$ Ом. К входным клеммам цепочки с помощью перекидного ключа K могут быть подключены либо идеальный вольтметр V , либо идеальный амперметр A . Определите показания этих приборов.

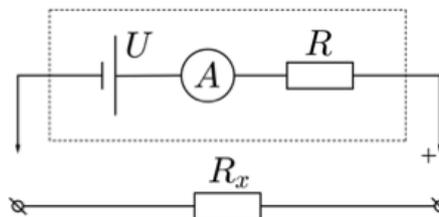
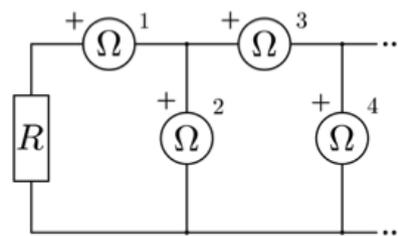


$$|U| = \mathcal{E} \frac{r}{r + \sqrt{r^2 - \mathcal{E}^2}} \approx 0,74 \text{ В}; \quad |I| = \frac{\mathcal{E}}{r + \sqrt{r^2 - \mathcal{E}^2}} \approx 0,23 \text{ А}$$

ЗАДАЧА 16. (Всеросс., 2017, финал, 10) Электрическая цепь (рисунок сверху) собрана из одинаковых омметров и резистора, сопротивление которого $R = 1$ кОм.

Все омметры включены в цепь так, что у приборов с нечётным номером клемма, помеченная знаком плюс, находится слева, а у чётных — сверху. Определите показания первого, четвёртого и тринадцатого омметров.

Указание. Считайте, что омметр состоит из соединённых последовательно идеального источника постоянного напряжения U , резистора сопротивлением $R = 1$ кОм и идеального амперметра (рисунок снизу). При подключении к омметру исследуемого резистора показания амперметра, встроенного в омметр, автоматически пересчитываются (например, с помощью встроенного микропроцессора) так, что на цифровом табло прибора отображается значение сопротивления исследуемого резистора R_x , подключённого к омметру.



$$R_1 = 0, R_4 = \infty, R_{13} = 0$$