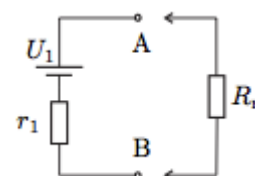
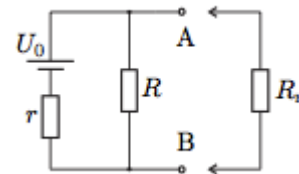


## Эквивалентный источник

Данный листок является непосредственным продолжением листка «Правила Кирхгофа».

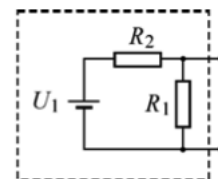
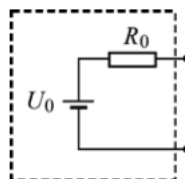
**ЗАДАЧА 1.** (*Всеросс., 2014, РЭ, 9*) На верхнем рисунке приведена блок-схема регулируемого источника постоянного тока. Идеальная батарея, обеспечивающая постоянное напряжение  $U_0$ , защищена от короткого замыкания резистором, сопротивление которого  $r$ . Выходное напряжение задается резистором 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 ( $U_0, R, r$ ).



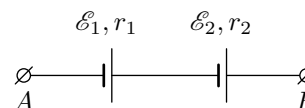
$$\frac{U_1}{r_1} = I_A, \quad \frac{U_0}{R+r} = I_A$$

**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.



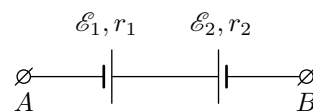
$$\frac{U_0}{R_0} = I_A, \quad \frac{U_1}{R_2 + R_1} = I_A$$

**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.



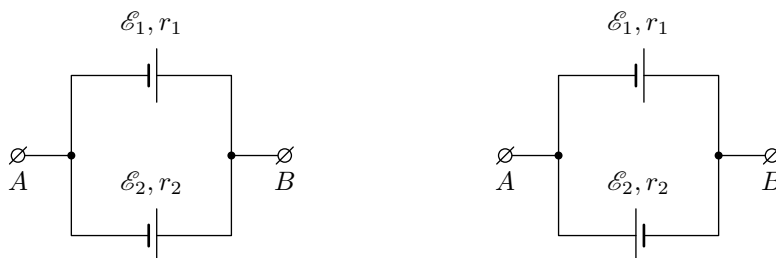
$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2, \quad r_0 = r_1 + r_2$$

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.



$$\text{Слева } \mathcal{E}_0 = \frac{\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1}{r_1 + r_2}, \quad r_0 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}. \quad \text{Справа } \mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2, \quad r_0 = r_1 + r_2.$$

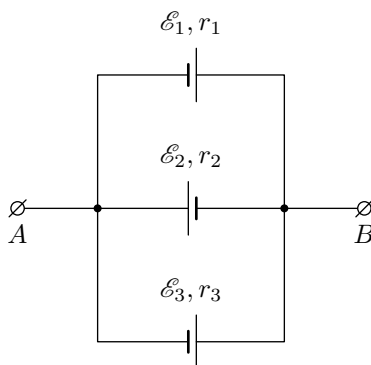
ЗАДАЧА 6. Две батареи с одинаковыми ЭДС  $\mathcal{E}$  соединены так, что ЭДС образовавшегося источника равна  $\mathcal{E}/2$ . Внутреннее сопротивление одной из батарей равно  $r$ . Изобразите схему включения и определите возможные значения внутреннего сопротивления второй батареи.

$$r = r \quad \text{или} \quad r = 3r$$

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.

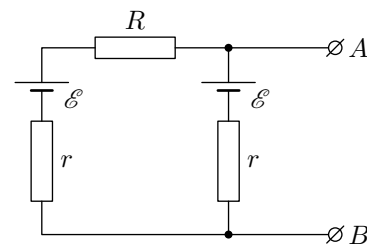
$$r = r \quad \text{или} \quad r = 2r \quad \text{или} \quad r = 3r \quad \text{или} \quad r = 4r$$

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



$$\mathcal{E}_0 = \frac{\mathcal{E}_1}{3} + \frac{\mathcal{E}_2}{2} + \frac{\mathcal{E}_3}{1}, \quad r_0 = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1}}$$

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?

$$0_{\mathcal{A}} = \mathcal{E} \left( \mathcal{Z} : \frac{\mathcal{A} + \mathcal{H}}{\mathcal{A} + \mathcal{H}} \right) = 0_{\mathcal{A}} ; \mathcal{P} = 0_{\mathcal{P}} \quad (1)$$

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

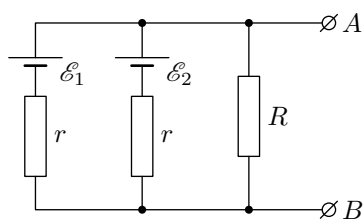


Схема 2

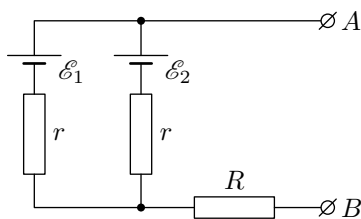
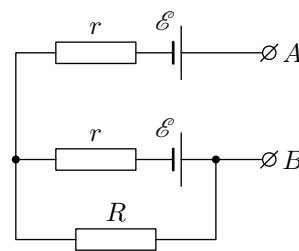
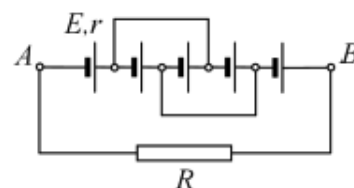


Схема 3



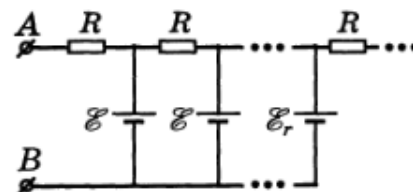
$$\frac{\mathcal{A} + \mathcal{H}}{\mathcal{A} + \mathcal{H} \mathcal{Z}} = 0_{\mathcal{A}} ; \frac{\mathcal{A} + \mathcal{H}}{\mathcal{A} \mathcal{P}} = 0_{\mathcal{P}} \quad (\mathcal{E} : \frac{\mathcal{Z}}{\mathcal{A}} + \mathcal{H} = 0_{\mathcal{A}} ; (\mathcal{Z} \mathcal{P} - \mathcal{I} \mathcal{P}) \frac{\mathcal{Z}}{\mathcal{I}} = 0_{\mathcal{P}} \quad (\mathcal{Z} : \frac{\mathcal{A} + \mathcal{H} \mathcal{Z}}{\mathcal{A} \mathcal{H}} = 0_{\mathcal{A}} ; \frac{\mathcal{A} + \mathcal{H} \mathcal{Z}}{\mathcal{H}} (\mathcal{Z} \mathcal{P} - \mathcal{I} \mathcal{P}) = 0_{\mathcal{P}} \quad (1)$$

Задача 11. (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.



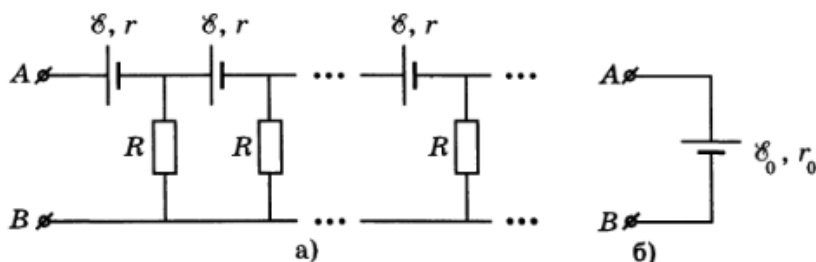
$$\sqrt{9 \mathcal{E}} \approx \frac{\mathcal{A} + \mathcal{H} \mathcal{E}}{\mathcal{A} \mathcal{Z}} = I$$

Задача 12. (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  $AB$ ?



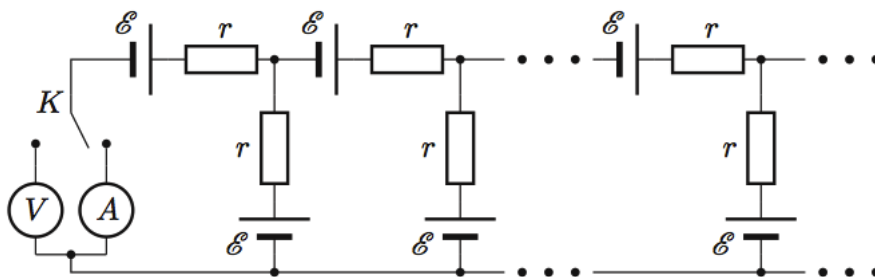
$$\left( 1 - \frac{\mathcal{H}}{\mathcal{A} \mathcal{P}} + \mathcal{I} \mathcal{A} \right) \frac{\mathcal{A} \mathcal{Z}}{\mathcal{P}} = I$$

ЗАДАЧА 13. (Всеросс., 1997, финал, 10) Очень длинная цепочка составлена из одинаковых батарей, 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).



$$\mathcal{E}_0 = \left( \frac{r}{R+r} + 1 \right) \mathcal{E} = 10 \mathcal{E} = \left( \frac{r}{R+r} + 1 \right) \mathcal{E} = 120 \text{ В}$$

ЗАДАЧА 14. (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.



$$U = \mathcal{E} \frac{r}{r+r} = 0,72 \text{ В}; I = \frac{\mathcal{E}}{r+r} = 0,23 \text{ А}$$