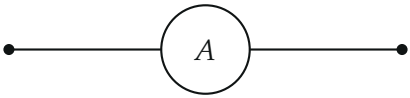
Школьный амперметр с шунтом

Задача 4. [Курчатов 2013/14, 10 класс, задача 4] Школьный амперметр имеет внутреннее сопротивление 10 Ом и может измерять силу тока не больше, чем 20 мА. Резистор с каким сопротивлением и каким образом нужно подключить к амперметру, чтобы предел измерения увеличился в 10 раз? Каково внутреннее сопротивление получившегося прибора?



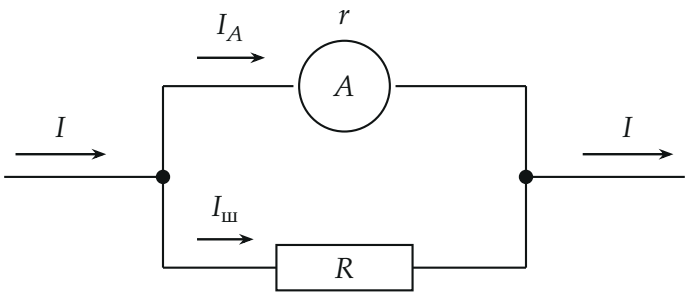
$r = 10$ Ом, $I_A \leqslant 20$ мА

Поясняющий рисунок: амперметр с внутренним сопротивлением r и пределом I_A.

▲ **Решение. Что происходит.** Через сам амперметр нельзя пустить больше $I_A = 20$ мА. Чтобы прибор измерял ток в 10 раз больше, лишний ток надо пустить в обход амперметра — по резистору, подключённому *параллельно* (шунту). Ток делится между параллельными ветвями обратно пропорционально их сопротивлениям, поэтому сопротивление шунта определяется тем, какую долю тока он должен забрать. Это задача на делитель тока: параллельное соединение и закон Ома.

Обозначения. $r = 10$ Ом — сопротивление амперметра, $I_A = 20$ мА — его предел; $I = 10I_A = 200$ мА — новый предел; R — сопротивление шунта, $I_{\text{ш}}$ — ток через него; U — напряжение на приборе; r' — сопротивление нового прибора.

1. Почему параллельно. Последовательный резистор пропускал бы весь ток через амперметр — предел не изменился бы. Параллельный забирает часть тока на себя (рисунок 2), и через амперметр идёт только доля измеряемого тока.



Амперметр с шунтом R: ток I в узле делится на I_A и $I_ш$.

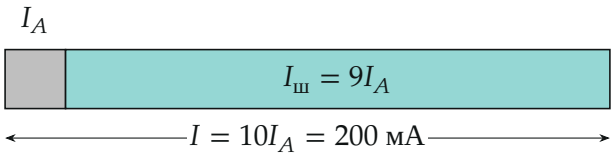
2. Первый закон Кирхгофа для узла. При предельном токе прибора $I = 10I_A$ через амперметр идёт его предельный ток I_A, остальное — через шунт:

$$I_ш = I - I_A = 10I_A - I_A = 9I_A.$$

3. Одно напряжение на параллельных ветвях. Амперметр и шунт подключены к одним и тем же узлам, поэтому напряжение на них одно и то же. Закон Ома для каждой ветви:

$$U = I_A r = I_ш R \quad \Longrightarrow \quad R = r\,\frac{I_A}{I_ш} = \frac{r}{9} = \frac{10}{9}\ \text{Ом} \approx 1{,}1\ \text{Ом}.$$

Через шунт тока в 9 раз больше, значит, его сопротивление в 9 раз меньше (рисунок 3).

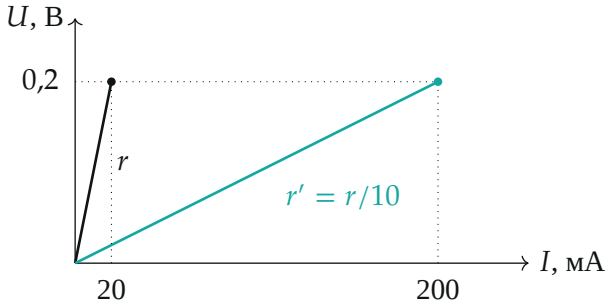


Как делится предельный ток прибора: одна десятая — через амперметр, девять десятых — через шунт.

4. Сопротивление нового прибора. Сопротивление параллельно соединённых r и R:

$$r' = \frac{rR}{r+R} = \frac{r\cdot r/9}{r + r/9} = \frac{r}{10} = 1\ \text{Ом}.$$

Второй способ — через напряжение: при предельном токе $I = 200$ мА на приборе то же напряжение, что на амперметре при его пределе, $U = I_A r = 0{,}02 \cdot 10 = 0{,}2$ В. Значит, $r' = U/I = 0{,}2/0{,}2 = 1$ Ом — то же. Предел по напряжению прибора не изменился, вырос только предел по току (рисунок 4).



Вольт-амперные характеристики амперметра (чёрная) и прибора с шунтом (бирюзовая): предельное напряжение то же, предельный ток в 10 раз больше.

Обратите внимание. Шунт — $r/9$, а не $r/10$: в 10 раз должен уменьшиться ток через амперметр по отношению ко всему току, а шунт делит ток 1 : 9, а не 1 : 10. В 10 раз уменьшается сопротивление *всего прибора*.

Ответ: резистор $R = \dfrac{r}{9} \approx 1{,}1$ Ом параллельно амперметру; внутреннее сопротивление прибора $r' = \dfrac{r}{10} = 1$ Ом.

Проверка. Размерность — омы. Общий случай: для увеличения предела в n раз $R = r/(n-1)$, $r' = r/n$; при $n = 1$ шунт не нужен ($R \to \infty$), при $n \to \infty$ прибор становится идеальным амперметром ($r' \to 0$).

Ответ. Параллельно амперметру — резистор $R = \dfrac{r}{9} \approx 1{,}1$ Ом; внутреннее сопротивление прибора $r' = \dfrac{r}{10} = 1$ Ом.