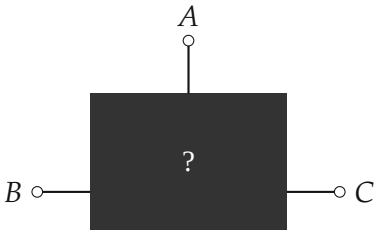
Чёрный ящик с амперметром

Задача 2. [Курчатов 2021/22, 8 класс, задача 2] В черном ящике находится электрическая схема из трех резисторов и идеального амперметра, показания которого известны в любой момент времени. Кроме того, черный ящик имеет три выходных провода A, B и C. Если между выводами A и B приложено напряжение $U = 12$ В, то показания амперметра $I_{AB} = 2$ А. Если такое же напряжение приложить к выводам A и C, то показания $I_{AC} = 4$ А, а если к выводам B и C приложить то же $U = 12$ В, то $I_{BC} = 6$ А. Установите вид электрической схемы в черном ящике и найдите сопротивления резисторов.



Поясняющий рисунок: чёрный ящик с тремя выводами; внутри три резистора и амперметр.

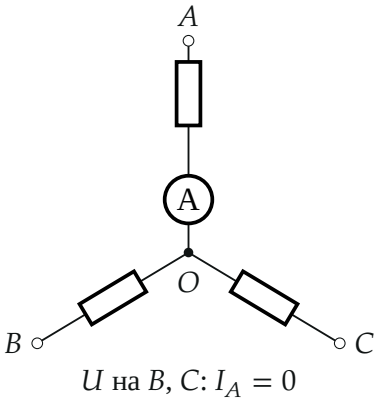
▲ **Решение. Что происходит.** Задача на чёрный ящик и законы последовательного и параллельного соединения. Сначала логикой отбрасываем невозможные схемы: амперметр не может стоять так, чтобы его показание было нулём или бесконечностью, а все три показания по условию конечны и не равны нулю. Остаётся одна схема, и три показания дают три уравнения закона Ома.

Обозначения. R_{AB}, R_{AC}, R_{BC} — сопротивления резисторов на сторонах треугольника между соответствующими выводами.

1. Где может стоять амперметр. Идеальный амперметр имеет нулевое сопротивление. Если он подключён прямо между двумя выводами, напряжение на этих выводах замкнуто накоротко — ток бесконечен, а такого показания нет. Если он параллелен резистору, ток идёт через амперметр, а резистор ни на что не влияет — в схеме фактически два ре-

зистора. Значит, амперметр стоит последовательно с одним из резисторов. Три резистора между тремя выводами соединяют двумя способами: «звездой» и «треугольником».

2. Звезда не подходит. Пусть резисторы — звезда с общей точкой O, амперметр — в луче к выводу A (рисунок 2). Подадим напряжение на B и C: ток идёт по лучам OB и OC, а луч OA ведёт к свободному выводу A — тока в нём нет, амперметр показывает ноль. Где бы амперметр ни стоял в звезде, одно показание было бы нулём, а по условию все три ненулевые.



Звезда с амперметром в луче OA: при напряжении на выводах B и C ток через луч к свободному выводу A не идёт.

3. Треугольник: на какой стороне амперметр. Пусть амперметр стоит последовательно с резистором стороны XY. Напряжение на выводы X, Y: на ветви «амперметр $+R_{XY}$» всё напряжение U, ток U/R_{XY}. Напряжение на другую пару: ветвь с амперметром последовательно соединена с ещё одним резистором, сопротивление больше, ток меньше (рисунок 4). Значит, наибольшее показание — когда напряжение подано на сторону с амперметром. Наибольшее $I_{BC} = 6$ А — амперметр на стороне BC (рисунок 3).

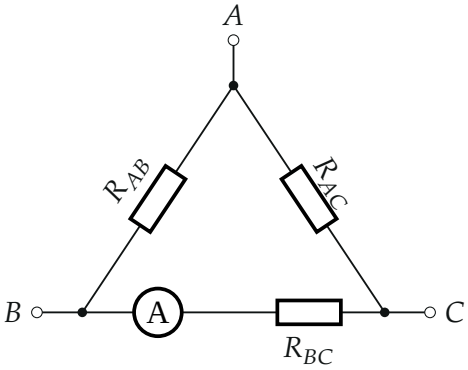


Схема в ящике: резисторы треугольником, амперметр последовательно с резистором стороны BC.

4. Сопротивления. Закон Ома для ветви с амперметром.

Напряжение на B, C: ветвь «амперметр $+R_{BC}$» под напряжением U,

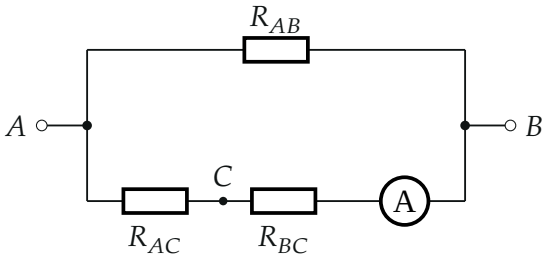
$$R_{BC} = \frac{U}{I_{BC}} = \frac{12}{6} = 2 \text{ Ом}.$$

Напряжение на A, B: ветвь через амперметр идёт $A \to C \to B$, это последовательные R_{AC} и R_{BC} (рисунок 4):

$$R_{AC} + R_{BC} = \frac{U}{I_{AB}} = 6 \text{ Ом} \quad \Rightarrow \quad R_{AC} = 4 \text{ Ом}.$$

Напряжение на A, C: ветвь через амперметр $A \to B \to C$, последовательные R_{AB} и R_{BC}:

$$R_{AB} + R_{BC} = \frac{U}{I_{AC}} = 3 \text{ Ом} \quad \Rightarrow \quad R_{AB} = 1 \text{ Ом}.$$



Напряжение на выводах A, B: две параллельные ветви — R_{AB} и последовательные R_{AC}, R_{BC} с амперметром. Амперметр видит ток только нижней ветви.

Обратите внимание. Амперметр меряет ток своей ветви, а не общий ток ящика: резистор, подключённый параллельно к той же паре выводов, на показание не влияет. Поэтому по каждому опыту пишется закон Ома для одной ветви.

Ответ. Треугольник, амперметр в стороне BC; $R_{BC} = \dfrac{U}{I_{BC}}$, $R_{AC} = \dfrac{U}{I_{AB}} - \dfrac{U}{I_{BC}}$, $R_{AB} = \dfrac{U}{I_{AC}} - \dfrac{U}{I_{BC}}$.

Проверка. Подстановка: U на A, B — ток ветви $12/(4+2) = 2$ А; на A, C — $12/(1+2) = 4$ А; на B, C — $12/2 = 6$ А. Все три показания совпали. Знак: R_{AC} и R_{AB} положительны потому, что I_{BC} — наибольший ток; для амперметра на другой стороне одно из сопротивлений вышло бы отрицательным.

Смысл: самое большое показание выдаёт сторону треугольника с амперметром, два других — суммы сопротивлений.

Ответ. Резисторы соединены треугольником, амперметр последовательно с резистором стороны BC; $R_{AB} = 1$ Ом, $R_{AC} = 4$ Ом, $R_{BC} = 2$ Ом.