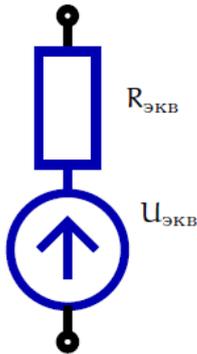
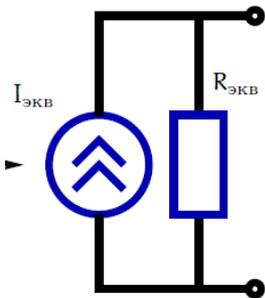


Как правило, одна задача с КР1 посвящается именно эквивалентным генераторам.

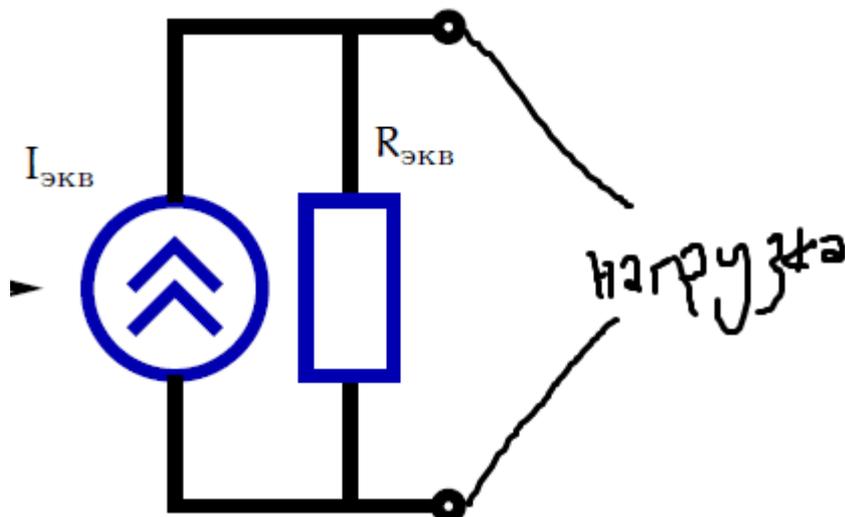
Неидеальный источник напряжения можно представить как суперпозицию последовательно подключенных идеального источника напряжения и резистора.



А неидеальный источник тока можно представить как суперпозицию идеального источника тока и параллельно подсоединённого резистора:



Чтобы лучше понять смысл, представим себе, что мы подсоединяем вот это вот к полезной нагрузке.



Часть тока, вырабатываемая источником тока, пойдёт не на полезную нагрузку, а на «внутренний для источника» резистор. Чем больше его сопротивление, чем меньше там будет ненужного нам тока и больше тока пойдёт на нагрузку. Теперь понятно.

А теперь представим, что мы подключили последовательно много источников напряжения и много источников тока. Прямо мегабатарей соорудили для максимальной мощности в цепи, полазив по антресолям и вытащив оттуда все источники напряжения и все источники тока, которые у нас там есть.

Как бы нам тогда подсчитать суммарную цепь? Это было бы намного проще, если бы все источники были бы источниками напряжения. Или бы все источники были бы источниками тока. Можно ли как-нибудь заменить один источник другим, эквивалентным? Оказывается, да. Это и есть теорема об эквивалентном генераторе.

Итак, у нас источник напряжения, представляющий собой идеальный источник напряжения U и внутренним сопротивлением r_U (внутренние сопротивления будем обозначать маленькой буквой r).

И у нас есть источник тока, представляющий собой параллельно соединённые источник тока I и резистор со внутренним сопротивлением r_I . Мы хотим, чтобы они были эквивалентны, т.е. при подключении полезной нагрузки в виде резистора R (причём любого сопротивления) мы не могли их отличить.

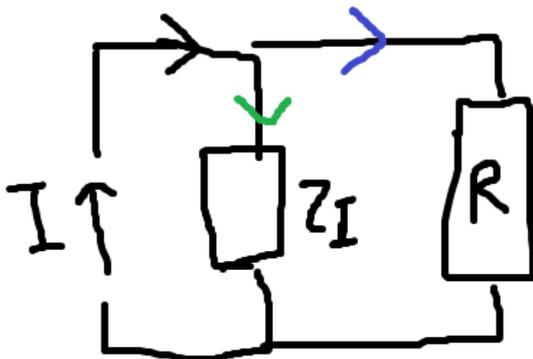
В случае источника напряжения ток в цепи (и на резисторе) будет

$$I_R = \frac{U}{R + r_U}$$

А напряжение на резисторе должно быть

$$U_R = \frac{UR}{R + r_U}$$

Это же напряжение должно быть на резисторе и в случае источника тока.



$$\frac{U_B}{R} \quad \frac{U_B}{r_I}$$

Значит, синий ток будет $\frac{U_B}{R}$, зелёный $\frac{U_B}{r_I}$, а в сумме они должны давать I . Записываем уравнение:

$$\frac{U_B}{R} + \frac{U_B}{r_I} = I \quad U_R \left(\frac{1}{r_I} + \frac{1}{R} \right) = \frac{U_R (r_I + R)}{R r_I} = I$$

подставляем U_R :

$$\frac{U_R (r_I + R)}{(R + r_U) R r_I} = I$$

И это равенство выполняется при любом R , лишь только надо положить $r_U = r_I$ и $U = I * r_I$ (ну или $U = I * r_U$, потому что, как только мы выяснили, $r_U = r_I$)
Т.е. от неидеального источника напряжения (U, r_U) мы можем перейти к эквивалентному неидеальному источнику тока (I, r_I) по формулам

$$r_I = r_U$$

$$I = U / r_U$$

И от неидеального источника тока можем перейти к эквивалентному источнику напряжения по формулам

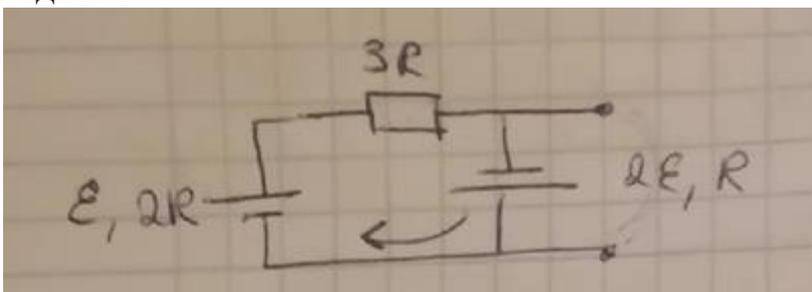
$$r_U = r_I$$

$$U = I * r_I$$

Теперь посмотрим, как это применяется на практике.

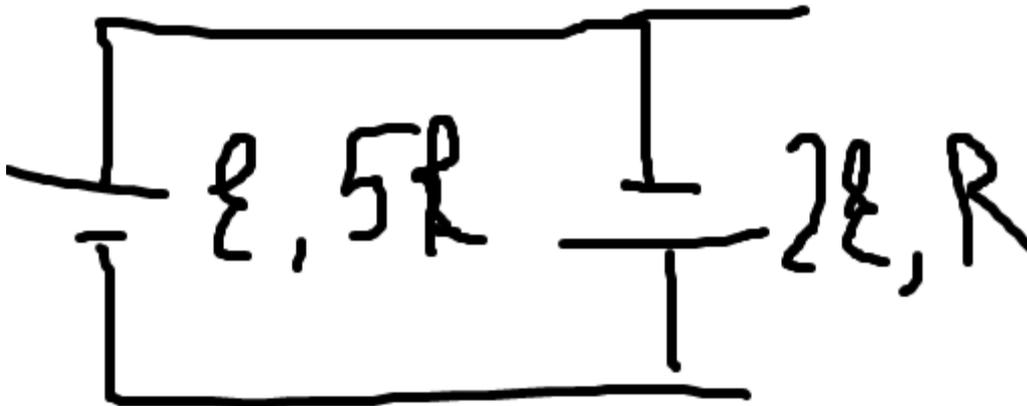
Решим две задачи на эту тему.

Задача 1:

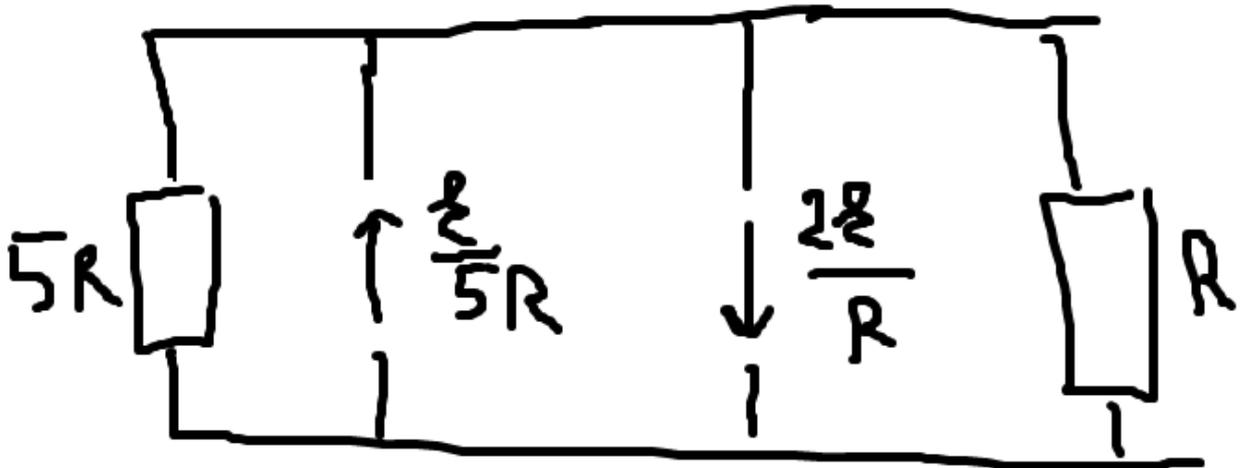


Задание: Представить эту конструкцию в виде одного неидеального источника напряжения.

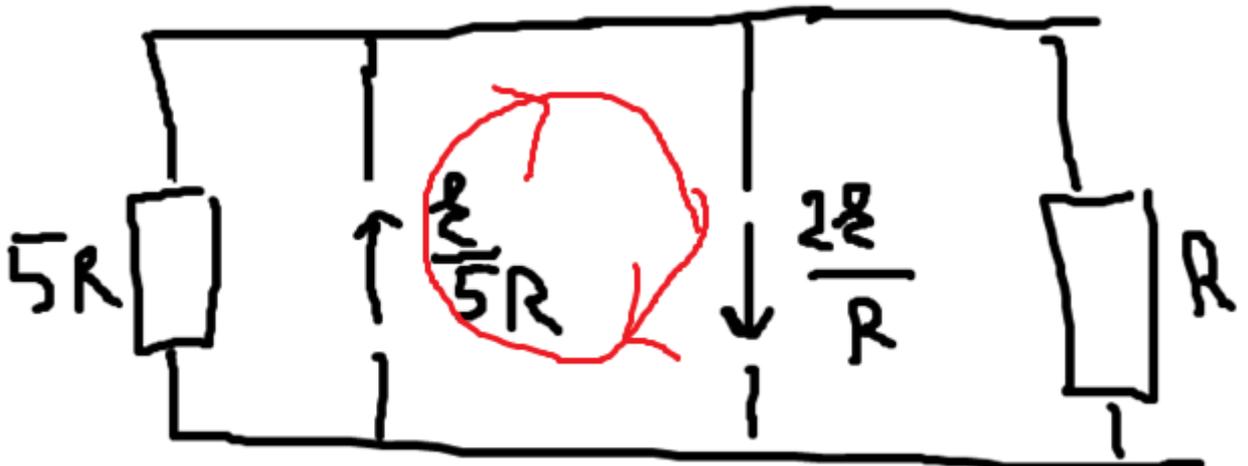
Для начала, последовательно соединённые $2R$ и $3R$ можно сложить:



У нас два параллельно соединённых неидеальных источника напряжения. Заменяем оба на эквивалентные источники тока:

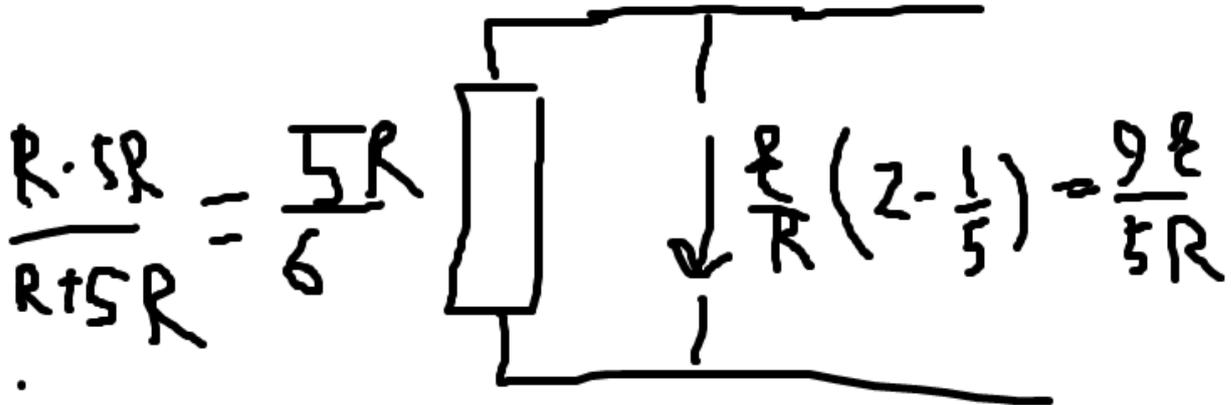


А это можно упростить. Считаем сопротивление параллельно соединённых резисторов и источников тока. Для резисторов используем формулу «произведение на сумму», для источников тока просто вычитаем. Тут, как правило, возникает вопрос «почему вычитаем, они же сонаправлены»:



Дело в том, что рассматривать идеальные источники тока надо в контексте не того, что они делают друг для друга, а что они делают для полезной

нагрузки, которая у нас где-то справа (на рисунке она не изображена, но справа к ней уходят два провода, можете мысленно дорисовать). Тогда левый идеальный источник тока пытается запустить ток через нагрузку сверху вниз, правый идеальный источник тока – снизу вверх, и они друг с другом борются. Поэтому и вычитаются.



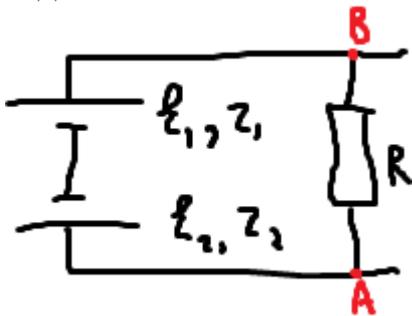
И возвращаемся к привычному неидеальному источнику напряжения.

$$\frac{9I}{5R} \cdot \frac{5R}{6} = \frac{3I}{2}$$

Его ЭДС будет
А сопротивление $5R/6$.

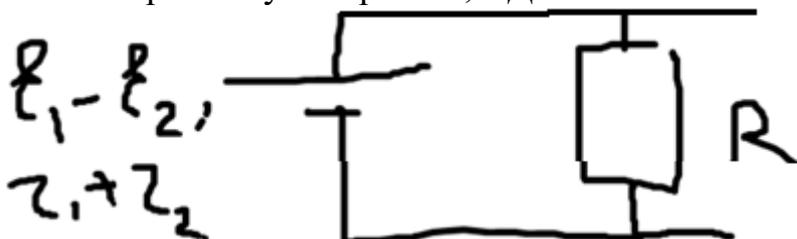
Ответ: $\begin{matrix} \boxed{3I/2} \\ \boxed{5R/6} \end{matrix}$

Задача 2:



Задание: найти U_{AB} . На всякий случай: это не просто ЭДС₁-ЭДС₂, т.к. источники напряжения неидеальные.

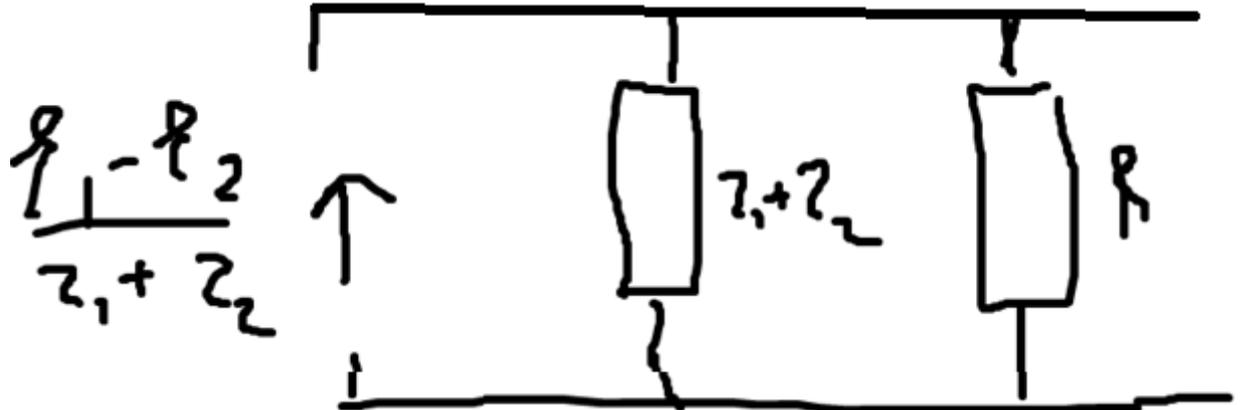
Складываем два последовательно соединённых источника напряжения. Т.к. полярность у них разная, ЭДС вычитаются:



А вот когда мы *параллельно* что-то к неидеальному источнику напряжения подключаем, лучше его перевести в неидеальный источник тока, что и мы делаем:



Два параллельно соединённых резистора можно объединить в один.



И вернуться к неидеальному источнику напряжения. Внутреннее сопротивление его будет таким же, как у неидеального источника тока

$$\frac{(z_1 + z_2)R}{z_1 + z_2 + R}$$

А вот напряжение U_{AB} , которое с нас и спрашивают:

$$U_{\text{иск}} = \frac{E_1 - E_2}{z_1 + z_2} \cdot \frac{(z_1 + z_2)R}{z_1 + z_2 + R} = \frac{(E_1 - E_2)z}{R + z_1 + z_2}$$