



§ 24.

Последовательное соединение проводников. Реостат

В простейшей цепи к источнику подключается один потребитель электроэнергии (лампочка, электродвигатель, электрорезонатор и т. д.). Но, как вы уже знаете, в цепь можно включить одновременно и несколько потребителей, соединив их определенным образом. Каким закономерностям подчиняются цепи, содержащие несколько потребителей? Как выгодно их соединять?

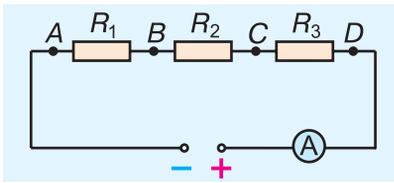


Рис. 153

Простейшим видом соединения нескольких потребителей (проводников) является последовательное, при котором соединяемые проводники имеют по одной общей точке (рис. 153): B — для проводников R_1 и R_2 , C — для проводников R_2 и R_3 . Последовательно мы включаем амперметр. Для последовательного соединения выполняются три главные закономерности.

1. Сила тока во всех проводниках одинакова:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I. \quad (1)$$

2. Напряжение на участке из последовательно соединенных проводников равно сумме напряжений на каждом из них:

$$U = U_1 + U_2 + U_3. \quad (2)$$

Эта закономерность вытекает из физического смысла напряжения. Полная работа электрических сил на участке AD равна сумме работ, произведенных на участках AB , BC и CD (рис. 153).

3. По закону Ома $U = IR$, где R — сопротивление всего участка AD , $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$, $U_3 = IR_3$. Подставив эти выражения в формулу (2), получим: $IR = I(R_1 + R_2 + R_3)$, или

$$R = R_1 + R_2 + R_3. \quad (3)$$

Полное сопротивление участка цепи из последовательно соединенных проводников равно сумме сопротивлений отдельных проводников.

Для случая одинаковых проводников расчет упрощается:

$$R = NR_1,$$

где N — число одинаковых проводников, сопротивлением R_1 каждый.

Рост сопротивления участка цепи при добавлении в него новых проводников объясняется увеличением *длины проводящей части*. Это свойство можно использовать для *уменьшения силы тока* в цепи

без снижения напряжения источника. Для практического регулирования силы тока в цепи удобно использовать специальное устройство — **реостат**.

На рисунке 154, *а* изображен ползунковый лабораторный реостат. Длинная проволока с большим удельным сопротивлением намотана на керамический цилиндр. Один конец этой проволоки выведен на клемму *А*. По металлическому стержню (рис. 154, *а*) очень малого сопротивления скользит латунный ползунок. Он плотно прижимается к виткам проволоки. Ползунок соединен с клеммой *В*. На рисунке 154, *б* схематично изображен реостат, который включается в электрическую цепь через клеммы *А* и *В*. На рисунке 155 хорошо виден принцип работы реостата. Полное сопротивление цепи состоит из сопротивления R резистора и сопротивления включенной в цепь части (на рисунке она заштрихована) реостата. Незаштрихованная часть реостата в цепь не включена. Если изменить положение ползунка, то изменится длина включенной в цепь части реостата. Это приведет к изменению силы тока. Так, если передвинуть ползунок в крайнее левое положение (точка *С*), то в цепь будет включен весь реостат. Сопротивление цепи станет наибольшим, а сила тока — наименьшей.

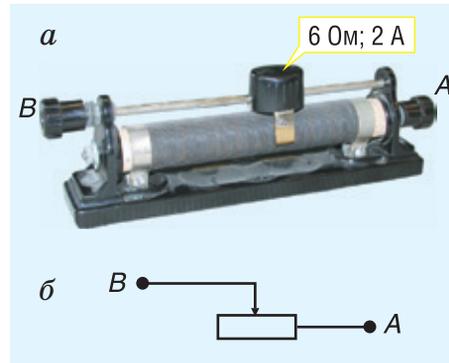


Рис. 154

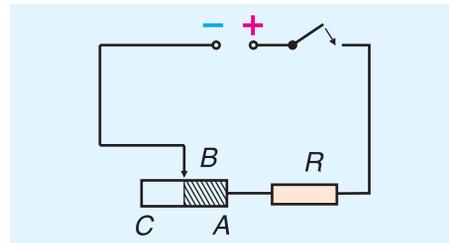


Рис. 155

▼ Для любознательных

В технике, в электротранспорте регулировка силы тока реостатами вытесняется другими, более выгодными электронными регуляторами. Дело в том, что, изменяя силу тока в цепи, реостат нагревается, на что расходуется значительная энергия. При большом значении силы тока проволока реостата может перегреться и реостат перестанет работать. В электронных регуляторах эти потери в сотни раз меньше.

Последовательное соединение электроприборов в быту практически не применяется. Ответьте самостоятельно почему.

□ Главные выводы

1. Сила тока в последовательно соединенных проводниках одинакова.
2. Напряжение на участке из последовательно соединенных проводников равно сумме напряжений на каждом проводнике.
3. Сопротивление участка из последовательно соединенных проводников равно сумме сопротивлений отдельных проводников.
4. Реостат позволяет регулировать силу тока в цепи.

? Контрольные вопросы

1. Как связано напряжение на участке из последовательно соединенных проводников и на отдельных проводниках? Почему?
2. Как и почему изменяется сопротивление участка из последовательно соединенных проводников при добавлении в него новых проводников?
3. Каков принцип регулирования силы тока в цепи с помощью реостата?
4. Как понимать надписи «6 Ом; 2 А» на лабораторном реостате?



Пример решения задачи

Определите показания приборов в цепи, представленной на рисунке 156. Сопротивления резисторов $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = 40 \text{ Ом}$. Сопротивление амперметра пренебрежимо мало. Сопротивление вольтметра считать бесконечно большим.

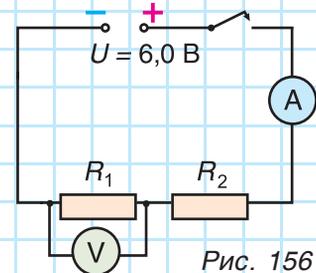


Рис. 156

Дано:

$$U = 6,0 \text{ В}$$

$$R_1 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 40 \text{ Ом}$$

$$I = ? \quad U_1 = ?$$

Решение

Полное сопротивление цепи: $R = R_1 + R_2 = 60 \text{ Ом}$.

Сопротивление вольтметра не учитываем, так как ток через него практически не идет. Сила тока:

$$I = I_1 = I_2 = \frac{U}{R} = \frac{6,0 \text{ В}}{60 \text{ Ом}} = 0,10 \text{ А}, \text{ т. е. показания амперметра } I = 0,10 \text{ А}.$$

Показание вольтметра равно напряжению на первом резисторе:

$$U_1 = IR_1 = 0,10 \text{ А} \cdot 20 \text{ Ом} = 2,0 \text{ В}.$$

Ответ: $I = 0,10 \text{ А}$; $U_1 = 2,0 \text{ В}$.

Упражнение 16

1. Чему равно полное сопротивление участка цепи, состоящего из последовательно соединенных резисторов $R_1 = 200 \text{ Ом}$, $R_2 = 0,40 \text{ кОм}$, $R_3 = 500 \text{ Ом}$?

2. К источнику с напряжением $U = 12 \text{ В}$ подключены последовательно резисторы сопротивлением $R_1 = 8,0 \text{ Ом}$ и $R_2 = 16 \text{ Ом}$. Чему равно полное сопротивление цепи? Какова сила тока в каждом резисторе? Каково напряжение на каждом резисторе?

3. Участок электрической цепи состоит из последовательно соединенных резистора сопротивлением $R = 8,0 \text{ Ом}$ и нихромовой проволоки сечением $S = 0,22 \text{ мм}^2$ и длиной $l = 80 \text{ см}$. Определите силу тока в участке цепи при подаче на него напряжения $U = 12 \text{ В}$. Каким будет напряжение на резисторе и на проволоке?

4. К источнику, дающему напряжение $U = 4,0 \text{ В}$, присоединили резистор сопротивлением $R_1 = 8,0 \text{ Ом}$ и последовательно с ним второй резистор с неизвестным сопротивлением. Определите сопротивление второго резистора, если сила тока в цепи $I = 0,20 \text{ А}$.

5. Лампочку сопротивлением $R_1 = 4,0 \text{ Ом}$, рассчитанную на номинальное напряжение $U_1 = 12 \text{ В}$, нужно подключить к источнику, имеющему напряжение $U = 15 \text{ В}$. Какое дополнительное сопротивление нужно включить в цепь? Подойдет ли для этой цели школьный лабораторный реостат?

6. Резистор сопротивлением $R = 12 \text{ Ом}$ подключен последовательно с лабораторным реостатом (рис. 154, 155) к источнику напряжением $U = 4,5 \text{ В}$. Какой будет сила тока в цепи при крайних положениях ползунка реостата и при установке его на середину?

7. Измеряя напряжение на лампочке, учащийся по ошибке включил вольтметр не параллельно, а последовательно с ней (рис. 157). Как отразится такое включение на свечении лампочки и на показаниях амперметра?

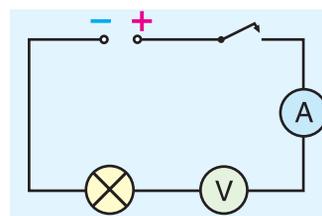


Рис. 157



§ 25.

Параллельное соединение проводников

Последовательно в цепь можно соединять только потребители (проводники), рассчитанные на одинаковую силу тока. Кроме того, если в такой цепи выключить ток в одном потребителе, то разрывается вся цепь. Этих недостатков лишена цепь, в которой потребители соединены параллельно.

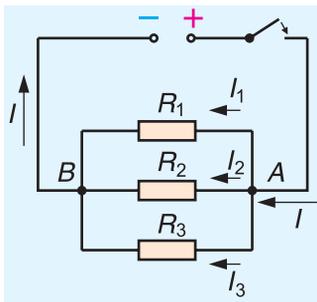


Рис. 158

При параллельном соединении проводников они имеют по две общие точки — точки A и B на рисунке 158. Следствием этого является то, что напряжение U между точками A и B есть напряжение на каждом из проводников, т. е.

$$U_1 = U_2 = U_3 = U. \quad (1)$$

Это первая закономерность параллельного соединения. **Напряжение на каждом из параллельно соединенных проводников одинаково и равно напряжению на всем участке параллельно соединенных проводников.**

Вторая закономерность параллельного соединения вытекает из того, что движущийся направленно в цепи электрический заряд не исчезает и не возникает из ничего. Он только делится на части (в точке A , рис. 158) с последующим объединением (в точке B). Следовательно,

$$I = I_1 + I_2 + I_3. \quad (2)$$

Сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил тока в ее ветвях (в каждом из параллельно соединенных проводников). Обратите внимание на принятую терминологию: «ветви цепи», «неразветвленная часть». Самостоятельно определите, будут ли силы тока I_1 , I_2 , I_3 в ветвях (рис. 158) одинаковыми, если сопротивления ветвей различны.

Третья закономерность параллельного соединения определяет общее сопротивление разветвленного участка (участка AB на рисунке 158). Учтем, что сила тока $I = I_1 + I_2 + I_3$, а напряжение $U = U_1 = U_2 = U_3$. Используя закон Ома, получим: $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$, откуда

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (3)$$

Величина, обратная сопротивлению участка параллельно соединенных проводников, равна сумме величин, обратных сопротивлению отдельных проводников.

▼ Для любознательных

Величину $\frac{1}{R}$, обратную сопротивлению проводника, называют проводимостью проводника. Такое название логично. Оно подчеркивает, что если проводник имеет большое сопротивление, то у проводника малая проводимость. С учетом этого третья закономерность можно сформулировать так: проводимость разветвленного участка цепи равна сумме проводимостей ветвей.

Из формулы (3) следует, что добавление к параллельному участку новых проводников уменьшает сопротивление R участка. Это объясняется тем, что включение параллельно дополнительного проводника не меняет длину участка электрической цепи, но увеличивает площадь поперечного сечения цепи. Сопротивление $R = \rho \frac{l}{S}$ обратно пропорционально площади.

Если соединяемые проводники одинаковые ($R_1 = R_2 = \dots = R_N$), то расчет сопротивления участка упрощается: $\frac{1}{R} = N \cdot \frac{1}{R_1}$, или

$$R = \frac{R_1}{N}. \quad (4)$$

Параллельное соединение позволяет подключать к источнику и отключать от него *независимо* друг от друга различные потребители (рис. 159). Именно поэтому параллельно соединены все электроприборы в наших квартирах, в автомобилях, на предприятиях и т. д. При отключении одной ветви остальная часть цепи работает.

Если параллельно соединены только два проводника, то $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$, что приводит к простому выражению для сопротивления такого участка:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (5)$$

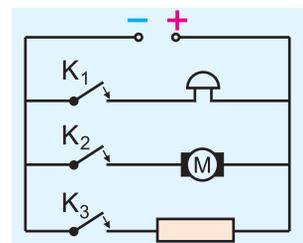


Рис. 159

■ Главные выводы

1. Напряжение на параллельно соединенных проводниках одинаково.
2. Сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил тока в ветвях.
3. Величина, обратная сопротивлению разветвленного участка цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлению отдельных ветвей.
4. Параллельно можно соединять проводники, рассчитанные на одинаковое напряжение.
5. Чем больше параллельно соединенных проводников входит в участок цепи, тем меньше его сопротивление.

? Контрольные вопросы

1. Почему напряжение на параллельно соединенных проводниках одинаково?
2. Почему сопротивление участка цепи уменьшается при параллельном подключении дополнительных проводников?
3. Почему в квартирной и автомобильной проводках практически всегда используется параллельное соединение потребителей?
4. Равны ли силы тока в параллельно соединенных проводниках? От чего зависят их значения?



Пример решения задачи

В цепи, представленной на рисунке 160, сопротивление резистора $R_1 = 60$ Ом. Амперметр А показывает силу тока $I = 0,50$ А. Найдите показания амперметра A_1 ; полное сопротивление участка BC ; сопротивление резистора R_2 .

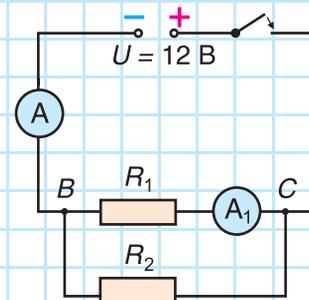


Рис. 160

Дано:

$U = 12$ В
 $R_1 = 60$ Ом
 $I = 0,50$ А

I_1 — ?
 R_{BC} — ?
 R_2 — ?

Решение

Так как резисторы подключены к точкам B и C , напряжение на них равно напряжению источника:

$$U_1 = U_2 = U_{BC} = U = 12 \text{ В.}$$

Отсюда сила тока в первом резисторе:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12 \text{ В}}{60 \text{ Ом}} = 0,20 \text{ А.}$$

Сила тока во втором резисторе:

$$I_2 = I - I_1 = 0,50 \text{ А} - 0,20 \text{ А} = 0,30 \text{ А}.$$

Сопротивление этого резистора:

$$R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{12 \text{ В}}{0,30 \text{ А}} = 40 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление участка BC :

$$R_{BC} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \text{ Ом} \cdot 40 \text{ Ом}}{100 \text{ Ом}} = 24 \text{ Ом}.$$

Этот ответ можно было найти и сразу, применив закон Ома к участку BC в целом: $R_{BC} = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ В}}{0,50 \text{ А}} = 24 \text{ Ом}.$

Ответ: $I_1 = 0,20 \text{ А}$; $R_{BC} = 24 \text{ Ом}$; $R_2 = 40 \text{ Ом}.$

Упражнение 17

1. Определите сопротивление участка электрической цепи, состоящего из двух параллельно соединенных резисторов сопротивлениями $R_1 = 200 \text{ Ом}$, $R_2 = 300 \text{ Ом}$.

2. Участок электрической цепи общим сопротивлением $R = 20 \text{ Ом}$ содержит четыре одинаковых резистора, соединенных параллельно. Каким станет общее сопротивление участка цепи при замене параллельного соединения резисторов на последовательное?

3. Какой резистор и как нужно подключить к резистору сопротивлением $R_1 = 20 \text{ Ом}$, чтобы их общее сопротивление стало равным $R = 16 \text{ Ом}$?

4. Резисторы сопротивлениями $R_1 = 4,0 \text{ кОм}$ и $R_2 = 6,0 \text{ кОм}$ подключены к источнику напряжением $U = 12 \text{ В}$. Какими будут показания амперметра, если его включить в цепь, сделав разрыв в одной из точек A , B , C , D (рис. 161)?

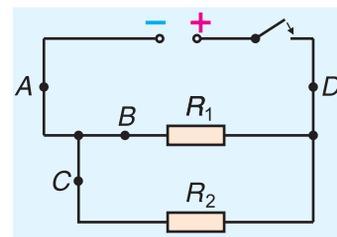


Рис. 161

5. Кусок провода сопротивлением R разрезали на 3 равные части. Затем их соединили параллельно. Как и во сколько раз изменилось сопротивление при таком соединении?