



§ 22.

Электрическое сопротивление. Закон Ома для участка электрической цепи

От чего зависит сила тока, протекающего в проводнике? Почему сила тока в сварочном аппарате в десятки миллионов раз больше, чем в электронных часах?

Для ответа на эти вопросы проведем ряд несложных опытов. Подключим небольшой кусочек спирали к источнику тока, выходное напряжение между клеммами которого можно регулировать. С помощью последовательно включенного амперметра и параллельно спирали включенного вольтметра (рис. 145) будем измерять силу тока и напряжение на спирали. Установим напряжение на спирали $U_1 = 2$ В. Замкнем ключ и измерим силу тока. Она оказалась $I_1 = 0,4$ А (рис. 145). Увеличим напряжение на спирали в 2 раза (рис. 146), т. е. $U_2 = 4$ В, затем в 3 раза, т. е. $U_3 = 6$ В. Показания амперметра тоже увеличатся: $I_2 = 0,8$ А (рис. 146), $I_3 = 1,2$ А.

Опыт можно продолжать дальше. Но уже из этих данных следует, что *сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на проводнике*.

Подключим теперь к источнику тока другую спираль, например спираль осветительной лампы. Мы видим, что при напряжении $U = 2$ В сила тока в спирали лампы $I = 4$ мА (рис. 147), что в сто раз меньше, чем в предыдущей спирали. Значит, спираль

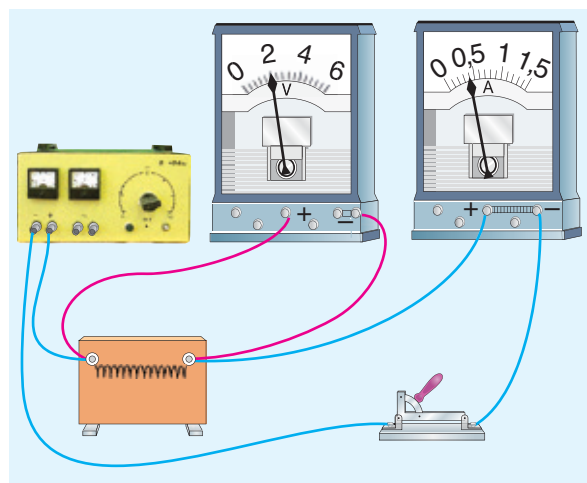


Рис. 145

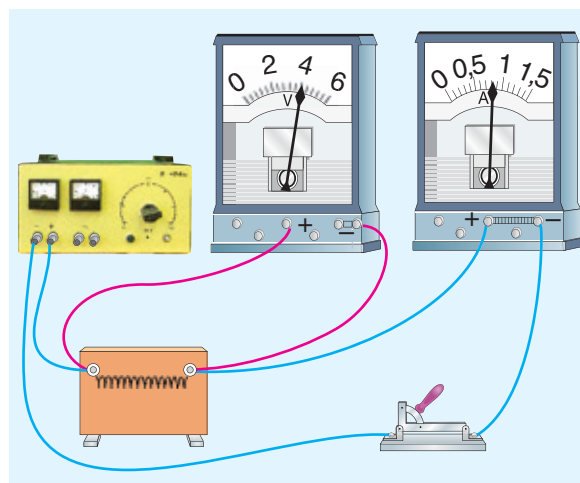


Рис. 146

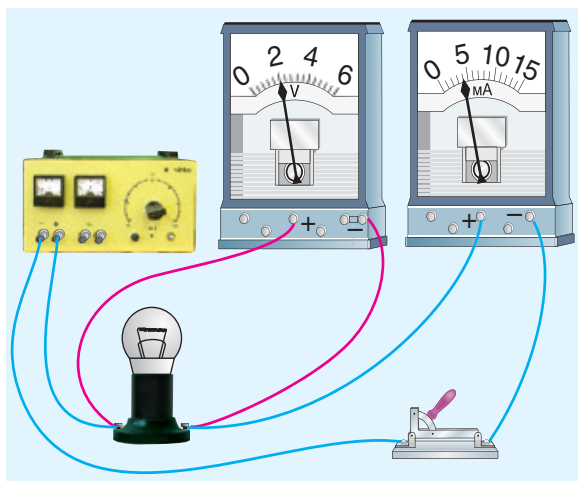


Рис. 147

лампы оказывает в 100 раз большее противодействие направленному движению заряженных частиц. То есть она обладает в 100 раз большим сопротивлением.

Эту новую величину — **электрическое сопротивление** — мы будем приписывать всякому проводнику и обозначать буквой R (по первой букве латинского слова *resisto* — сопротивляюсь). Тогда можно утверждать: *чем больше сопротивление проводника, тем меньше сила тока в нем* (обратно пропорциональная зависимость).

Итак, из опытов следует: **сила тока в проводнике (участке цепи) прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника (участка цепи).**

Данное утверждение называется **законом Ома для участка цепи** в честь немецкого ученого Г. С. Ома (см. форзац 2), установившего закон в 1826 г. Математически закон Ома можно записать так:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Закон Ома можно представить графически. На рисунке 148 представлен такой график для спирали, использованной в первом опыте (рис. 145). График подтверждает прямую пропорциональную зависимость силы тока в проводнике от приложенного к нему напряжения. График зависимости силы тока от напряжения называется **вольт-амперной характеристикой** проводника. Проводники, имеющие значительное сопротивление, принято называть **резисторами**.

В соединительных проводах противодействие движению электрических зарядов, как правило, незначительно, что позволяет *пренебречь сопротивлением соединительных проводов при решении большинства задач*.

Определенным сопротивлением обладают и измерительные приборы. При включении последовательно в цепь амперметра его сопротивление добавляется к полному сопротивлению цепи. Это вызывает нежелательное уменьшение силы тока в цепи. Чтобы этого не случилось, сопротивление амперметра должно быть мало. Идеальным был бы

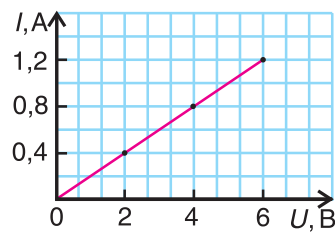


Рис. 148

амперметр без сопротивления ($R = 0$). Наоборот, добавление вольтметра параллельно некоторому прибору (резистору на рисунке 140) создает току еще один «обходной» путь. Это также резко изменяет параметры цепи. Чтобы избежать этих нежелательных последствий, надо применять вольтметры с максимально большим сопротивлением.

И еще об очень важном. При слишком малом сопротивлении цепи сила тока в ней согласно закону Ома может принять недопустимо большое значение. При замыкании цепи, изображенной на рисунке 149, ток в ней пойдет, фактически не испытывая сопротивления. Это — **короткое замыкание** цепи. В таком режиме могут быть испорчены и амперметр, и источник тока, а перегрев проводов может привести к пожару.

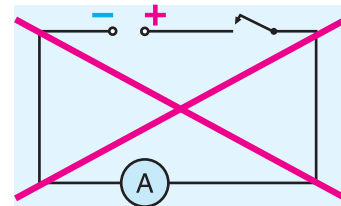


Рис. 149

■ Главные выводы

1. Сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.
2. Чем меньше сопротивление амперметра и чем больше сопротивление вольтметра, тем меньшие изменения вызывают они при подключении в цепь.
3. Вольт-амперная характеристика проводника представляет собой график зависимости силы тока в нем от напряжения.
4. Использование цепей без нагрузки приводит к недопустимо опасному росту силы тока (короткому замыканию).

? Контрольные вопросы

1. Связь между какими физическими величинами устанавливает закон Ома для участка цепи?
2. Как понимать выражение: «Сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению»?
3. Может ли в проводнике протекать ток: а) очень большой силы при малом напряжении; б) малой силы при большом напряжении?
4. Что такое короткое замыкание цепи?
5. В чем опасность короткого замыкания цепи?



§ 23.

Единица сопротивления. Расчет сопротивления

Мы ввели новую характеристику — сопротивление. Но почему проводник «сопротивляется» направленному движению заряженных частиц? В каких единицах измеряется сопротивление проводника? Можно ли его рассчитывать?

Сила тока в проводнике не может иметь любое, сколь угодно большое, значение. Причиной этого являются непрерывные столкновения электронов и ионов с частицами проводника, находящимися в узлах его кристаллической решетки. Это приводит к снижению скорости направленного движения носителей заряда, уменьшает переносимый заряд, а значит, уменьшает и силу тока. Именно эти столкновения и вызывают нагревание проводника. Так электрический ток проявляет тепловое действие.

Выразив сопротивление из закона Ома $R = \frac{U}{I}$, введем основную единицу сопротивления — 1 Ом (в честь Г. Ома):

$$1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}.$$

1 Ом — это сопротивление проводника, в котором при напряжении 1 В проходит ток силой 1 А.

1 Ом — небольшое сопротивление. У ряда потребителей оно составляет сотни омов, поэтому сопротивление часто выражают в килоомах (кОм) и мегаомах (МОм):

$$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом}; \quad 1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом} = 1 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$

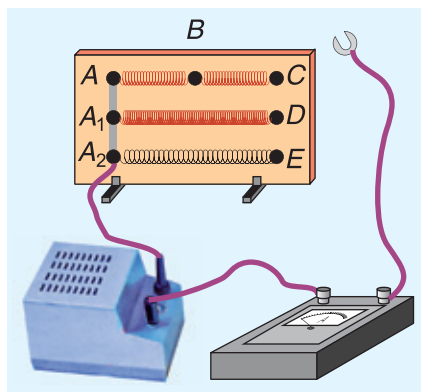


Рис. 150

Определить сопротивление проводника можно, измерив напряжение U на нем и силу тока I в нем, по формуле $R = \frac{U}{I}$. Но существует и специальный прибор для измерения сопротивления — **омметр**. С простейшим омметром вы сможете познакомиться в упражнении к этому параграфу.

Получим формулу для расчета сопротивления. Для этого используем цепь из источника тока, амперметра и панели с исследуемыми проводниками (рис. 150). На панели укреплены три проводника из нихрома и один из железа. Проводник AC

из нихрома имеет отвод от середины (клемма B , рис. 150). Два других нихромовых проводника сложены вместе и включены между точками A_1 и D (рис. 150). Все четыре проводника имеют равные длину и площадь поперечного сечения. Включим в цепь сначала целый проводник AC (цепь замыкается в точке C), а затем половину этого проводника (контакт переносится в точку B). Мы видим, что сила тока увеличивается вдвое. Значит, сопротивление уменьшается в 2 раза. Иначе говоря, *сопротивление проводника прямо пропорционально его длине*.

Подключим в цепь поочередно один проводник AC , а затем два сложенных вместе A_1D . Два проводника можно рассматривать как один, но с удвоенным поперечным сечением. Сила тока в одном проводнике AC в 2 раза меньше, чем в сложенных проводниках A_1D . Следовательно, *сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения*.

Сравним теперь силы тока в проводниках одинаковых размеров, но из различных веществ: из нихрома (AC) и из железа (A_2E). Оказывается, что сила тока в железном проводнике примерно в 10 раз больше, а сопротивление в 10 раз меньше, чем в нихромовом. Значит, *сопротивление проводника зависит еще и от рода вещества, из которого изготовлен проводник*.

Из результатов опытов следует формула для расчета сопротивления проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Сопротивление проводника прямо пропорционально длине проводника и обратно пропорционально площади его поперечного сечения.

Коэффициент ρ называют **удельным сопротивлением вещества**. Это характеристика не конкретного рассматриваемого проводника, а вещества, из которого он изготовлен. В СИ основной единицей удельного сопротивления $\rho = \frac{RS}{l}$ является Ом $\cdot$ м. Так как на практике длину проводников измеряют обычно в метрах, а площадь поперечного сечения в квадратных миллиметрах, то удельное сопротивление удобно записывать в $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Значения удельного сопротивления для различных веществ представлены в таблице 6. Смысл приведенных в таблице удельных сопротивлений прост. Если для нихрома значение $\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, то это означает, что нихромовый проводник длиной 1 м и поперечным сечением 1 мм² обладает сопротивлением 1,1 Ом.

**Таблица 6. Удельное электрическое сопротивление
некоторых веществ (при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

Вещество	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Вещество	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Серебро	0,016	Манганин (сплав)	0,43
Медь	0,017	Константан (сплав)	0,50
Золото	0,024	Ртуть	0,96
Алюминий	0,028	Нихром (сплав)	1,1
Вольфрам	0,055	Фехраль (сплав)	1,3
Железо	0,10	Графит	13
Свинец	0,21	Фарфор	$1 \cdot 10^{19}$
Никелин (сплав)	0,40	Эбонит	$1 \cdot 10^{20}$

Обратите внимание на малые значения удельного сопротивления применяемых для электропроводки металлов: алюминия и меди.

▼ Для любознательных

Сенсацией начала XX в. было открытие сверхпроводимости. При очень сильном охлаждении (примерно до $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$) сопротивление некоторых металлов снижалось до нуля. Сверхпроводящие металлы не нагреваются даже при большой силе тока в них. В настоящее время найдены вещества, сверхпроводимость которых достигается при значительно меньшем охлаждении. Сверхпроводящие материалы в настоящее время используются в медицине и ускорителях частиц. Данной тематикой успешно занимаются группы исследователей из Института ядерных проблем Белорусского государственного университета и Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси.

■ Главные выводы

1. Электрическое сопротивление характеризует свойство проводника оказывать противодействие направленному движению заряженных частиц.
2. Причиной возникновения сопротивления являются непрерывные столкновения заряженных частиц с частицами вещества проводника.
3. Сопротивление проводника зависит от рода вещества и геометрических размеров проводника (длины, площади поперечного сечения).
4. Основной единицей сопротивления в СИ является 1 Ом.

Контрольные вопросы

1. Что ограничивает значение силы тока в проводнике?
2. Что принято в СИ за основную единицу сопротивления?
3. Как зависит сопротивление проводника от его геометрических размеров?
4. Что показывает удельное сопротивление вещества?
5. Как понимать выражение: «Удельное сопротивление свинца равно $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ »?
6. Почему медь не используется для изготовления спиралей в электрообогревателях?



Примеры решения задач

1. Выразите в основных единицах СИ удельное сопротивление свинца $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Решение. Заданное значение $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ указывает, что свинцовый проводник длиной $l = 1,0$ м и площадью поперечного сечения $S = 1,0 \text{ мм}^2$ имеет сопротивление $R = 0,21 \text{ Ом}$. Выразим это значение в основных единицах СИ:

$$\begin{aligned} \rho &= 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = \\ &= 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot 0,000001 \text{ м}^2}{\text{м}} = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Значение $\rho = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ означает, что проводник длиной $l = 1,0$ м и площадью поперечного сечения $S = 1,0 \text{ м}^2$ имеет сопротивление $R = 0,21 \text{ мОм}$.

Ответ закономерен: проводник, сечение которого $S = 1,0 \text{ м}^2$ в миллион раз больше сечения $S = 1,0 \text{ мм}^2$, должен иметь сопротивление в миллион раз меньше.

2. При подключении к источнику с напряжением $U = 4,5 \text{ В}$ никелинового проводника поперечным сечением $S = 0,20 \text{ мм}^2$ по нему прошел ток силой $I = 300 \text{ мА}$. Какова длина проводника?

Дано:

$$U = 4,5 \text{ В}$$

$$S = 0,20 \text{ мм}^2$$

$$\rho = 0,40 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$I = 300 \text{ мА} = 0,30 \text{ А}$$

$$l = ?$$

Решение

Выразим сопротивление проводника двумя способами: по формуле $R = \rho \frac{l}{S}$ и через закон Ома $R = \frac{U}{I}$.

Приравняем правые части обеих формул:

$$\frac{\rho l}{S} = \frac{U}{I}$$

$$\text{Отсюда } l = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot I}.$$

Так как сечение проводника задано в мм^2 , то выражать удельное сопротивление в основных единицах СИ не будем:

$$l = \frac{4,5 \text{ В} \cdot 0,20 \text{ мм}^2}{0,40 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 0,30 \text{ А}} = 7,5 \text{ м}.$$

Ответ: $l = 7,5 \text{ м}$.

Упражнение 15

1. Провод сопротивлением $R_0 = 16 \text{ Ом}$ разрезали на две равные части. Сравните сопротивления и удельные сопротивления новых проводников и исходного. Каким будет сопротивление двужильного проводника, полученного из двух половин исходного провода?

2. Чему равна сила тока в проводнике сопротивлением $R = 2,0 \text{ кОм}$ при напряжении на нем $U = 4,0 \text{ В}$?

3. Выполняя практическую работу, ученик измерил силу тока в резисторе сопротивлением $R = 4,0 \text{ Ом}$ и напряжение на этом резисторе. Определите показания вольтметра, если амперметр показал $I = 0,30 \text{ А}$. Нарисуйте схему такой цепи.

4. Каким сопротивлением обладает моток железной проволоки длиной $l = 200 \text{ м}$ и площадью поперечного сечения $S = 2,0 \text{ мм}^2$?

5. Через поперечное сечение вольфрамовой проволоки за время $t = 5,0 \text{ мин}$ прошел заряд $q = 480 \text{ Кл}$. Определите сопротивление проволоки, если к ней приложено напряжение $U = 8,0 \text{ В}$.

6. Свинцовая проволока плавкого предохранителя имеет сечение $S = 0,50 \text{ мм}^2$ и длину $l = 2,0 \text{ см}$. При каком напряжении сила тока в проволоке приняла бы предельно допустимое значение $I_{\text{пред}} = 10 \text{ А}$?

7. Какова длина серебряной проволоки площадью поперечного сечения $S = 1,2 \text{ мм}^2$, если напряжение на ней $U = 0,80 \text{ В}$, а сила тока, протекающего в проволоке, $I = 5,0 \text{ А}$?

8. Постройте график зависимости силы тока в проводнике сопротивлением $R = 5,0 \text{ Ом}$ от напряжения, которое изменяется от 0 до 20 В. От чего зависит угол наклона графика?

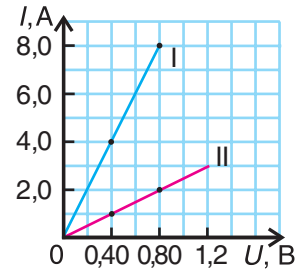


Рис. 151

9. Для проведения эксперимента использовали две медные проволоки равного поперечного сечения. По результатам исследований построили вольт-амперные характеристики этих проволок (рис. 151). Определите длину первой проволоки, если длина второй проволоки $l_2 = 3,6 \text{ м}$.
10. Каким сопротивлением обладает вольфрамовая проволока поперечным сечением $S = 0,10 \text{ мм}^2$ и массой $m = 7,72 \text{ г}$?
11. Проволоку сопротивлением $R = 8,0 \text{ Ом}$ нагрели и протащили через узкое отверстие (фильеру), что привело к удвоению ее длины. Каким стало сопротивление проволоки?
12. На рисунке 152 изображены омметр и его шкала. Главными частями устройства являются батарейка и гальванометр (чувствительный прибор для измерения тока). Резистор, сопротивление которого нужно измерить, подключается к зажимам, замыкая таким образом электрическую цепь. Объясните принцип работы такого прибора и расположение делений на его шкале.

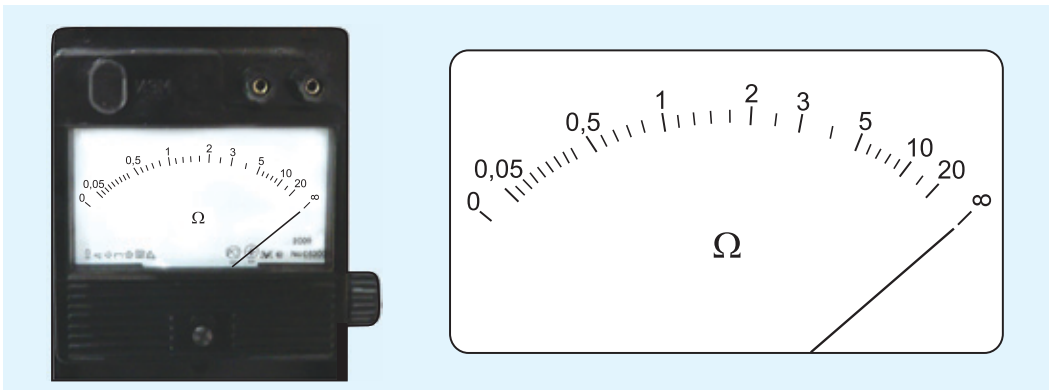


Рис. 152



§ 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?

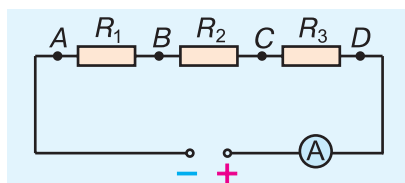


Рис. 153

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.

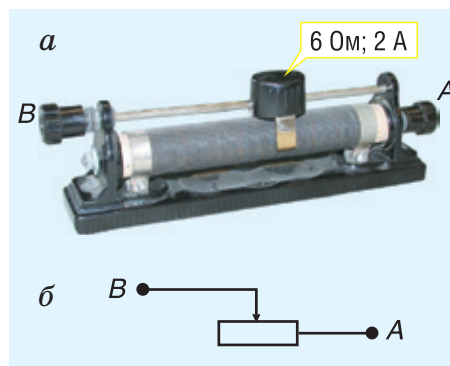


Рис. 154

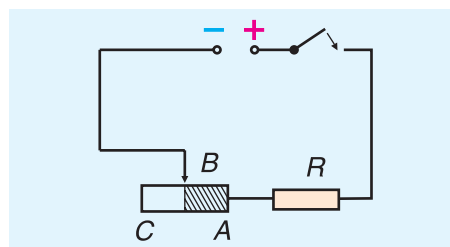


Рис. 155

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.

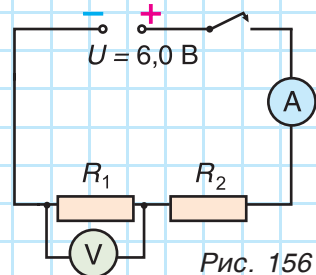


Рис. 156

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 $R_l = 4,0 \text{ Ом}$, 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?

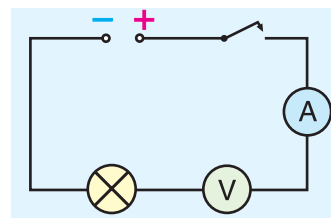


Рис. 157



§ 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.

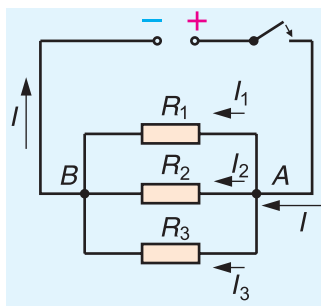


Рис. 158

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 направленнo 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 третью 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:

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

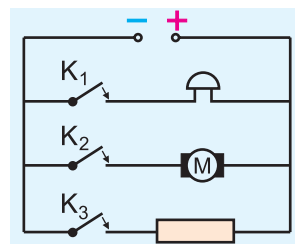


Рис. 159

■ 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 $R_1 = 60 \text{ Ом}$. Амперметр A показывает силу тока $I = 0,50 \text{ А}$. Найдите показания амперметра A_1 ; полное сопротивление участка BC ; сопротивление резистора R_2 .

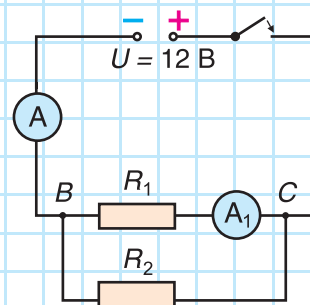


Рис. 160

Дано:

$$U = 12 \text{ В}$$

$$R_1 = 60 \text{ Ом}$$

$$I = 0,50 \text{ А}$$

$$I_1 = ?$$

$$R_{BC} = ?$$

$$R_2 = ?$$

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)?

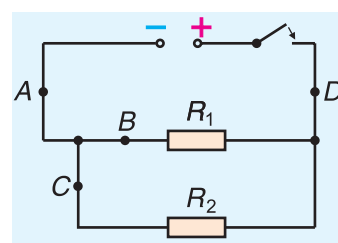


Рис. 161

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