

Закон Ома для участка цепи

Соберем электрическую цепь (рисунок 1, *а*), состоящую из аккумулятора *1* напряжением в 2 В, рычажного реостата *2*, двух измерительных приборов – вольтметра *3* и амперметра *4* и соединительных проводов *5*. Установим в цепи при помощи реостата сопротивление, равное 2 Ом. Тогда вольтметр, включенный на зажимы аккумулятора, покажет напряжение в 2 В, а амперметр, включенный последовательно в цепь, покажет ток, равный 1 А. Увеличим напряжение до 4 В путем включения другого аккумулятора (рисунок 1, *б*). При том же сопротивлении в цепи – 2 Ом – амперметр покажет уже ток 2 А. Аккумулятор напряжением 6 В изменит показание амперметра до 3 А (рисунок 1, *в*). Сведем наши наблюдения в таблицу 1.

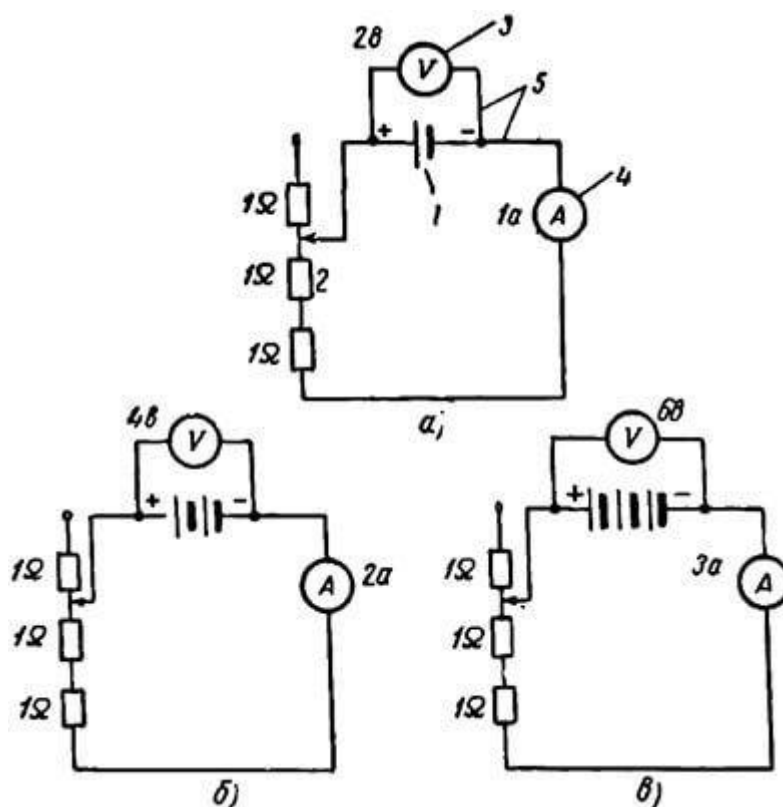


Рисунок 1. Изменение тока в электрической цепи путем изменения напряжения при неизменном сопротивлении

Таблица 1

Зависимость тока в цепи от напряжения при неизменном сопротивлении

Напряжение цепи в В	Сопротивление цепи в Ом	Ток цепи в А
2	2	1
4	2	2
6	2	3

Отсюда можно сделать вывод, что ток в цепи при постоянном сопротивлении тем больше, чем больше напряжение этой цепи, причем ток будет увеличиваться во столько раз, во сколько раз увеличивается напряжение.

Теперь в такой же цепи поставим аккумулятор с напряжением 2 В и установим при помощи реостата сопротивление в цепи, равное 1 Ом (рисунок 2, *а*). Тогда амперметр покажет 2 А. Увеличим реостатом сопротивление до 2 Ом (рисунок 2, *б*). Показание амперметра (при том же напряжении цепи) будет уже 1 А.

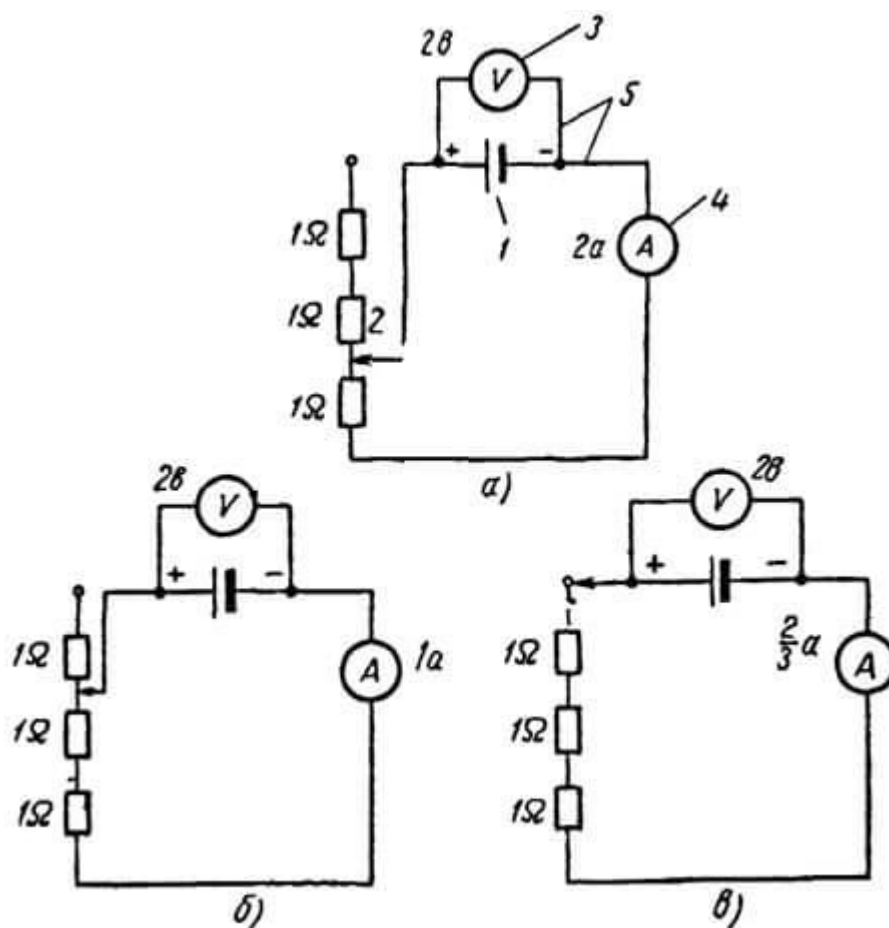


Рисунок 2. Изменение тока в электрической цепи путем изменения сопротивления при неизменном напряжении

При сопротивлении в цепи 3 Ом (рисунок 2, в) показание амперметра будет $\frac{2}{3}$ А. Результат опыта сведем в таблицу 2.

Таблица 2

Зависимость тока в цепи от сопротивления при неизменном напряжении

Напряжение цепи в В	Сопротивление цепи в Ом	Ток цепи в А
2	1	2
2	2	1
2	3	$\frac{2}{3}$

Отсюда следует вывод, что при постоянном напряжении ток в цепи будет тем больше, чем меньше сопротивление этой цепи, причем ток в цепи увеличивается во столько раз, во сколько раз уменьшается сопротивление цепи.

Как показывают опыты, ток на участке цепи прямо пропорционален напряжению на этом участке и обратно пропорционален сопротивлению того же участка. Эта зависимость известна под названием закон Ома.

Если обозначим: I – ток в амперах; U – напряжение в вольтах; r – сопротивление в омах, то закон Ома можно представить формулой:

$$I = \frac{U}{r},$$

то есть ток на данном участке цепи равен напряжению на этом участке, деленному на сопротивление того же участка.

Пример 1. Определить ток, который будет проходить по нити лампы накаливания, если нить имеет неизменное сопротивление 240 Ом, а лампа включена в сеть с напряжением 120 В.

$$I = \frac{U}{r} = \frac{120}{240} = 0,5 \text{ А.}$$

Пользуясь формулой закона Ома, можно определить также напряжение и сопротивление цепи.

$$U = I \times r,$$

то есть напряжение цепи равно произведению тока на сопротивление этой цепи и

$$r = \frac{U}{I},$$

то есть сопротивление цепи равно напряжению, деленному на ток цепи.

Пример 2. Какое нужно напряжение, чтобы в цепи с сопротивлением 6 Ом протекал ток 20 А?

$$U = I \times r = 20 \times 6 = 120 \text{ В.}$$

Пример 3. По спирали электрической плитки протекает ток в 5 А. Плитка включена в сеть с напряжением 220 В. Определить сопротивление спирали электрической плитки.

$$r = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44 \text{ Ом.}$$

Если в формуле $U = I \times r$ ток равен 1 А, а сопротивление 1 Ом, то напряжение будет равно 1 В:

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

Отсюда заключаем: напряжение в 1 В действует в цепи с сопротивлением 1 Ом при токе в 1 А.

Потеря напряжения

На рисунке 3 приведена электрическая цепь, состоящая из аккумулятора, сопротивления r и длинных соединительных проводов, имеющих свое определенное сопротивление.

Как видно из рисунка 3, вольтметр, присоединенный к зажимам аккумулятора, показывает 2 В. Уже в середине линии вольтметр показывает только 1,9 В, а около сопротивления r напряжение равно всего 1,8 В. Такое уменьшение напряжения вдоль цепи между отдельными точками этой цепи называется потерей (падением) напряжения.

Потеря напряжения вдоль электрической цепи происходит потому, что часть приложенного напряжения расходуется на преодоление сопротивления цепи. При этом потеря напряжения на участке цепи будет тем больше, чем больше ток и чем больше сопротивление этого участка цепи. Из закона Ома для участка цепи следует, что потеря напряжения в вольтах на участке цепи равно току в амперах, протекающему по этому участку, умноженному на сопротивление в омах того же участка:

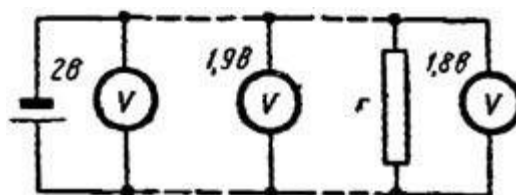


Рисунок 3. Потеря напряжения вдоль электрической цепи

$$U = I \times r .$$

Пример 4. От генератора, напряжение на зажимах которого 115 В, электроэнергия передается электродвигателю по проводам, сопротивление которых 0,1 Ом. Определить напряжение на зажимах двигателя, если он потребляет ток в 50 А.

Очевидно, что на зажимах двигателя напряжение будет меньше, чем на зажимах генератора, так как в линии будет потеря напряжения. По формуле определяем, что потеря напряжения равна:

$$U = I \times r = 50 \times 0,1 = 5 \text{ В.}$$

Если в линии потеря напряжения равна 5 В, то напряжение у электродвигателя будет $115 - 5 = 110 \text{ В}$.

Пример 5. Генератор дает напряжение 240 В. Электроэнергия по линии из двух медных проводов длиной по 350 м, сечением 10 мм² передается к электродвигателю, потребляющему ток в 15 А. Требуется узнать напряжение на зажимах двигателя.

Напряжение на зажимах двигателя будет меньше напряжения генератора на величину потери напряжения в линии. Потеря напряжения в линии $U = I \times r$.

Так как сопротивление r проводов неизвестно, определяем его по формуле:

$$r = \frac{\rho \times l}{S} = \frac{0,0175 \times 700}{10} = 1,22 \text{ Ом,}$$

где ρ – удельное сопротивление меди (таблица 1, в статье "[Электрическое сопротивление и проводимость](#)"); длина l равна 700 м, так как току приходится идти от генератора к двигателю и оттуда обратно к генератору.

Подставляя r в формулу, получим:

$$U = I \times r = 15 \times 1,22 = 18,3 \text{ В}$$

Следовательно, напряжение на зажимах двигателя будет $240 - 18,3 = 221,7 \text{ В}$

Пример 6. Определить поперечное сечение алюминиевых проводов, которое необходимо применить, чтобы подвести электрическую энергию к двигателю, работающему при напряжении в 120 В и токе в 20 А. Энергия к двигателю будет подаваться от генератора напряжением 127 В по линии длиной 150 м.

Находим допустимую потерю напряжения:

$$127 - 120 = 7 \text{ В .}$$

Сопротивление проводов линии должно быть равно:

$$r = \frac{U}{I} = \frac{7}{20} = 0,35 \text{ Ом.}$$

Из формулы

$$r = \frac{\rho \times l}{S}$$

определим сечение провода:

$$S = \frac{\rho \times l}{r} = \frac{0,03 \times 300}{0,35} = 25,7 \text{ мм}^2$$

где ρ – удельное сопротивление алюминия (таблица 1, в статье "[Электрическое сопротивление и проводимость](#)").

По справочнику выбираем имеющееся сечение 25 мм².

Если ту же линию выполнить медным проводом, то сечение его будет равно:

$$S = \frac{\rho \times l}{r} = \frac{0,0175 \times 300}{0,35} = 15 \text{ мм}^2$$

где ρ – удельное сопротивление меди (таблица 1, в статье "[Электрическое сопротивление и проводимость](#)").

Выбираем сечение 16 мм².

Отметим еще, что иногда приходится умышленно добиваться потери напряжения, чтобы уменьшить величину приложенного напряжения.

Пример 7. Для устойчивого горения электрической дуги требуется ток 10 А при напряжении 40 В. Определить величину добавочного сопротивления, которое нужно включить последовательно с дуговой установкой, чтобы питать ее от сети с напряжением 120 В.

Потеря напряжения в добавочном сопротивлении составит:

$$120 - 40 = 80 \text{ В} .$$

Зная потерю напряжения в добавочном сопротивлении и ток, протекающий через него, можно по закону Ома для участка цепи определить величину этого сопротивления:

$$r = \frac{U}{I} = \frac{80}{10} = 8 \text{ Ом} .$$

Закон Ома для полной цепи

При рассмотрении электрической цепи мы до сих пор не принимали в расчет того, что путь тока проходит не только по внешней части цепи, но также и по внутренней части цепи, внутри самого элемента, аккумулятора или другого источника напряжения.

Электрический ток, проходя по внутренней части цепи, преодолевает ее внутреннее сопротивление и потому внутри источника напряжения также происходит падение напряжения.

Следовательно, электродвижущая сила (э. д. с.) источника электрической энергии идет на покрытие внутренних и внешних потерь напряжения в цепи.

Если обозначить E – электродвижущую силу в вольтах, I – ток в амперах, r – сопротивление внешней цепи в омах, r_0 – сопротивление внутренней цепи в омах, U_0 – внутреннее падение напряжения и U – внешнее падение напряжения цепи, то получим, что

$$E = U_0 + U = I \times r_0 + I \times r = I \times (r_0 + r),$$

$$I = \frac{E}{r_0 + r} .$$

Это и есть формула закона Ома для всей (полной) цепи. Словами она читается так: **ток в электрической цепи равен электродвижущей силе, деленной на сопротивление всей цепи**(сумму внутреннего и внешнего сопротивлений).

Пример 8. Электродвижущая сила E элемента равна 1,5 В, его внутреннее сопротивление $r_0 = 0,3$ Ом. Элемент замкнут на сопротивление $r = 2,7$ Ом. Определить ток в цепи.

$$I = \frac{E}{r_0 + r} = \frac{1,5}{0,3 + 2,7} = 0,5 \text{ А.}$$

Пример 9. Определить э. д. с. элемента E , замкнутого на сопротивление $r = 2 \text{ Ом}$, если ток в цепи $I = 0,6 \text{ А}$. Внутреннее сопротивление элемента $r_0 = 0,5 \text{ Ом}$.

Вольтметр, включенный на зажимы элемента, покажет напряжение на них, равное напряжению сети или падению напряжения во внешней цепи.

$$U = I \times r = 0,6 \times 2 = 1,2 \text{ В.}$$

Следовательно, часть э. д. с. элемента идет на покрытие внутренних потерь, а остальная часть – $1,2 \text{ В}$ отдается в сеть.

Внутреннее падение напряжения

$$U_0 = I \times r_0 = 0,6 \times 0,5 = 0,3 \text{ В.}$$

Так как $E = U_0 + U$, то

$$E = 0,3 + 1,2 = 1,5 \text{ В}$$

Тот же ответ можно получить, если воспользоваться формулой закона Ома для полной цепи:

$$I = \frac{E}{r_0 + r}$$

откуда

$$E = I \times (r_0 + r) = 0,6 \times (0,5 + 2) = 1,5 \text{ В.}$$

Вольтметр, включенный на зажимы любого источника э. д. с. во время его работы, показывает напряжение на них или напряжение сети. При размыкании электрической цепи ток по ней проходить не будет. Ток не будет проходить также и внутри источника э. д. с., а следовательно, не будет и внутреннего падения напряжения. Поэтому вольтметр при разомкнутой цепи покажет э. д. с. источника электрической энергии.

Таким образом, вольтметр, включенный на зажимы источника э. д. с. показывает:

а) при замкнутой электрической цепи – напряжение сети;

б) при разомкнутой электрической цепи – э. д. с. источника электрической энергии.

Пример 10. Электродвижущая сила элемента $1,8 \text{ В}$. Он замкнут на сопротивление $r = 2,7 \text{ Ом}$. Ток в цепи равен $0,5 \text{ А}$. Определить внутреннее сопротивление r_0 элемента и внутреннее падение напряжения U_0 .

$$r_0 + r = \frac{E}{I} = \frac{1,8}{0,5} = 3,6 \text{ Ом.}$$

Так как $r = 2,7 \text{ Ом}$, то

$$r_0 = 3,6 - 2,7 = 0,9 \text{ Ом ;}$$

$$U_0 = I \times r_0 = 0,5 \times 0,9 = 0,45 \text{ В .}$$

Из решенных примеров видно, что показание вольтметра, включенного на зажимы источника э. д. с., не остается постоянным при различных условиях работы электрической цепи. При увеличении тока в цепи увеличивается также внутреннее падение напряжения. Поэтому при неизменной э. д. с. на долю внешней сети будет приходиться все меньшее и меньшее напряжение.

В таблице 3 показано, как меняется напряжение электрической цепи (U) в зависимости от изменения внешнего сопротивления (r) при неизменных э. д. с. (E) и внутреннем сопротивлении (r_0) источника энергии.

Таблица 3

Зависимость напряжения цепи от сопротивления r при неизменных э. д. с. и внутреннем сопротивлении r_0

E	r_0	r	$I = \frac{E}{r_0 + r}$	$U_0 = I \times r_0$	$U = I \times r$
2	0,5	2	0,8	0,4	1,6
2	0,5	1	1,33	0,67	1,33
2	0,5	0,5	2	1	1