

## Напряжение и сопротивление. Закон Ома. Мощность и работа.

### Электрическое сопротивление

В электротехнике сопротивление есть свойство проводника оказывать более или менее большое сопротивление току. Оно зависит от природы самого проводника, т.е. от числа электронов, легкоотделяемых от его атомов. Сопротивление зависит также от длины проводника: чем больше его длина, тем больше сопротивление. Наконец, оно зависит от сечения проводника: чем больше сечение, тем больше электронов может проходить одновременно и, следовательно, сопротивление будет меньше. Сопротивление измеряется в омах (Ом), тысячах Ом, или килоом (кОм) и миллионах Ом или мегаом (Мом). 1 Ом – это приблизительно сопротивление, которое имеет медная проволока длиной 62 м и сечением 1 мм.кв.

Говоря о проводниках, мы имеем в виду вещества, материалы и прежде всего металлы, относительно хорошо проводящие ток. Однако не все вещества, называемые проводниками, одинаково хорошо проводят электрический ток, т.е. они, как говорят, обладают неодинаковой проводимостью тока. Объясняется это тем, что при своем движении свободные электроны сталкиваются с атомами и молекулами, причем разные атомы и молекулы в разной степени мешают движению электронов. Говоря иными словами, одни вещества оказывают движению электронов большее сопротивление, а другие — меньшее. Из всех материалов, широко применяемых в электротехнике и радиотехнике, наименьшее сопротивление имеет медь. Поэтому — то электрические провода и делают чаще всего из меди. Еще меньшее сопротивление имеет серебро, но это довольно дорогой металл. Железо, алюминий и разные металлические сплавы обладают большим сопротивлением, т.е. худшей электропроводимостью.

Сопротивление проводника зависит не только от свойств его материала, но и от размера самого проводника. Толстый проводник обладает меньшим сопротивлением, чем тонкий из такого же материала; короткий проводник имеет меньшее сопротивление, чем длинный; так же как широкая и короткая труба оказывает меньшее препятствие движению воды, чем тонкая и длинная. Кроме того, сопротивление металлического проводника зависит от его температуры: чем ниже температура, тем меньше сопротивление. За единицу электрического сопротивления принят ом (пишут Ом) — по имени немецкого физика Г. Ома.

Сопротивление 1 Ом — сравнительно небольшая электрическая величина. Такое сопротивление току оказывает, например, отрезок медного провода диаметром 0,15 мм и длиной 1 м. Сопротивление нити накала лампочки фонарика около 10 Ом, нагревательного элемента электроплитки — несколько десятков ом. В радиотехнике чаще приходится иметь дело с большими сопротивлениями, у высокоомного телефона, например оно, больше 2000 Ом; у полупроводникового диода, включенного в не пропускающем ток направлении — несколько сотен тысяч ом. Знаете, какое сопротивление имеет ваше тело? От 1000 до 20000 Ом. А сопротивление резисторов — специальных деталей, о которых я буду еще говорить в этой беседе, могут быть до нескольких миллионов ом и больше. Эти детали, как вы уже знаете, на схемах обозначают в виде прямоугольников.

В математических формулах сопротивление обозначают латинской буквой R. Такую же букву ставят и возле графических обозначений резисторов на схемах. Для выражения больших сопротивлений резисторов используют более крупные единицы: килоом (сокращенно пишут кОм), равный 1000 Ом, и мегаом (сокращенно пишут МОм), равный 1000000 Ом, или 1000 кОм.

Сопротивление измеряют специальными приборами — омметрами. На схемах омметр обозначают кружком с греческой буквой  $\Omega$  (омега) внутри.

### Электрическое напряжение

Напряжение — это в некотором роде давление, которое оказывает на электроны разница в электрическом состоянии концов проводника. Отношение электронов и протонов определяет электрическое состояние или потенциал атома. Представьте что у вас два атома. В первом не хватает трех электронов, во втором — пяти. Оба положительны. Но второй атом более положителен, чем первый. Но хотя оба атома положительны, можно также сказать, что относительно второго первый является отрицательным.

Другими словами. Все в жизни относительно. Например, из двух людей, имеющих деньги, тот, кто имеет 10 рублей, беден по сравнению с другим, у которого их сотни, но богат по сравнению с третьим, у которого все «богатство» — 1 000 рублей долга.

В мире атомов тот атом, который лишен трех электронов, менее отрицателен по отношению к тому, к которого не хватает десяти электронов, и положителен по отношению к тому, который имеет избыток в два электрона. Потенциалы этих трех атомов различны. Практически разность потенциалов, или, что равнозначно, напряжение, измеряется в вольтах (В).

**За единицу электрического напряжения, электродвижущей силы (ЭДС) принят вольт (в честь итальянского физика А. Вольты). В формулах напряжение обозначают латинской буквой U (читается «у»), а саму единицу — вольт — буквой В.** Например, пишут:  $U = 4,5 \text{ В}$ ;  $U = 220 \text{ В}$ . Единица вольт характеризует напряжение на концах проводника, участке электрической цепи или полюсах источника тока. Напряжение 1 В — это такая электрическая величина, которая в проводнике сопротивлением 1 Ом создает ток, равный 1 А. Батарея 3336Л, предназначенная для плоского карманного электрического фонаря, состоит из трех элементов, соединенных последовательно. На этикетке

батареи можно прочитать, что ее напряжение 4,5 В. Значит, напряжение каждого из элементов батареи 1,5 В. Напряжение батареи «Крона» 9 В, а напряжение электроосветительной сети может быть 127 или 220 В. **Напряжение измеряют (вольтметром), подключая прибор одноименными зажимами к полюсам источника тока или параллельно участку цепи, резистору или другой нагрузке, на которой необходимо измерить действующее на ней напряжение. На схемах вольтметр обозначают латинской буквой  $V$  в кружке, а рядом —  $PV$ .**

Для оценки напряжения применяют и более крупную единицу — киловольт (пишут кВ), соответствующую 1000 В, а также более мелкие единицы — милливольт (пишут мВ), равный 0,001 В, и микровольт (пишут мкВ), равный 0,001 мВ. Эти напряжения измеряют соответственно **кило — вольтметрами, милливольтметрами и микровольтметрами.** Такие приборы, как и вольтметры, подключают параллельно источникам тока или участкам цепей, на которых надо измерить напряжение. Выясним теперь, в чем разница понятий «напряжение» и «электродвижущая сила». Электродвижущей силой называют напряжение, действующее между полюсами источника тока, пока к нему не подключена внешняя цепь-нагрузка, например лампочка накаливания или резистор. Как только будет подключена внешняя цепь и в ней возникнет ток, напряжение между полюсами станет меньше. Так, например, новый не бывший еще в употреблении гальванический элемент имеет ЭДС не менее 1,5 В. При подключении к нему нагрузки напряжение на его полюсах становится равным примерно 1,3-1,4 в. По мере расходования энергии элемента на питание внешней цепи его напряжение постепенно уменьшается. Элемент считается разрядившимся и, следовательно, негодным для дальнейшего применения, когда напряжение снижается до 0,7 В, хотя, если отключить внешнюю цепь, его ЭДС будет больше этого напряжения. А как оценивают переменное напряжение? Когда говорят о переменном напряжении, например о напряжении электроосветительной сети, то имеют в виду его действующее значение, составляющее примерно, как и действующее значение переменного тока, 0,7 амплитудного значения напряжения.

### Закон Ома

На рисунке показана схема знакомой вам простейшей электрической цепи. Эта замкнутая цепь состоит из трех элементов: источника напряжения — батареи GB, потребителя тока — нагрузки R, которой может быть, например, нить накала электрической лампы или резистор, и проводников, соединяющих источник напряжения с нагрузкой. Между прочим, если эту цепь дополнить выключателем, то получится полная схема карманного электрического фонаря.

Нагрузка R, обладающая определенным сопротивлением, является участком цепи. Значение тока на этом участке цепи зависит от действующего на нем напряжения и его сопротивления: чем больше напряжение и меньше сопротивление, тем большим ток будет идти по участку цепи. Эта зависимость тока от напряжения и сопротивления выражается следующей формулой:

$$I = U/R$$

где  $I$  — ток, выраженный в амперах,  $A$ ;  $U$  — напряжение в вольтах,  $B$ ;  $R$  — сопротивление в омах,  $Om$ . Читается это математическое выражение так: ток на участке цепи прямо пропорционален напряжению на нем и обратно пропорционален его сопротивлению. Это основной закон электротехники, именуемый законом Ома (по фамилии Г. Ома), для участка электрической цепи. Используя закон Ома, можно по двум известным электрическим величинам узнать неизвестную третью. Вот несколько примеров практического применения закона Ома.

**Первый пример:** На участке цепи, обладающем сопротивлением 5 Ом, действует напряжение 25 В. Надо узнать значение тока на этом участке цепи.

Решение:  $I = U/R = 25 / 5 = 5$  А.

**Второй пример:** На участке цепи действует напряжение 12 В, создавая в нем ток, равный 20 мА. Каково сопротивление этого участка цепи? Прежде всего ток 20 мА нужно выразить в амперах. Это будет 0,02 А. Тогда  $R = 12 / 0,02 = 600$  Ом.

**Третий пример:** Через участок цепи сопротивлением 10 кОм течет ток 20 мА. Каково напряжение, действующее на этом участке цепи? Здесь, как и в предыдущем примере, ток должен быть выражен в амперах (20 мА = 0,02 А), сопротивление в омах (10кОм = 10000Ом). Следовательно,  $U = IR = 0,02 \times 10000 = 200$  В. На цоколе лампы накаливания плоского карманного фонаря выштамповано: 0,28 А и 3,5 В. О чем говорят эти сведения? О том, что лампочка будет нормально светиться при токе 0,28 А, который обуславливается напряжением 3,5 В. Пользуясь законом Ома, нетрудно подсчитать, что накаленная нить лампочки имеет сопротивление  $R = 3,5 / 0,28 = 12,5$  Ом. Это, подчеркиваю, сопротивление накаленной нити лампочки. А сопротивление остывшей нити значительно меньше. Закон Ома справедлив не только для участка, но и для всей электрической цепи. В этом случае в значение R подставляется суммарное сопротивление всех элементов цепи, в том числе и внутреннее сопротивление источника тока. Однако при простейших расчетах цепей обычно пренебрегают сопротивлением соединительных проводников и внутренним сопротивлением источника тока.

**В связи с этим приведу еще один пример:** Напряжение электроосветительной сети 220 В. Какой ток потечет в цепи, если сопротивление нагрузки равно 1000Ом? Решение:  $I = U/R = 220 / 1000 = 0,22$  А. Примерно такой ток потребляет электрический паяльник.

**Всеми этими формулами, вытекающими из закона Ома, можно пользоваться и для расчета цепей переменного тока, но при условии, если в цепях нет катушек индуктивности и конденсаторов.**

**Закон Ома и производные от него расчетные формулы, достаточно легко запомнить, если пользоваться вот этой графической схемой, т. н. треугольник закона Ома:**

> **Пользоваться этим треугольником легко, достаточно четко запомнить, что горизонтальная линия в треугольнике означает знак деления (по аналогии дробной черты), а вертикальная линия в треугольнике означает знак умножения.**

Теперь рассмотрим такой вопрос: как влияет на ток резистор, включаемый в цепь последовательно с нагрузкой или параллельно ей? **Разберем такой пример.** У нас имеется лампочка от круглого электрического, фонаря, рассчитанная на напряжение 2,5 В и ток 0,075 А. Можно ли питать эту лампочку от батареи 3336Л, начальное напряжение которой 4,5 В? Нетрудно подсчитать, что накаливаемая нить этой лампочки имеет сопротивление немногим больше 30 Ом. Если же питать ее от свежей батареи 3336Л, то через нить накала лампочки, по закону Ома, пойдет ток, почти вдвое превышающий тот ток, на который она рассчитана. Такой перегрузки нить не выдержит, она перекалится и разрушится. Но эту лампочку все же можно питать от батареи 336Л, если последовательно в цепь включить добавочный резистор сопротивлением 25 Ом, как это показано на рис..

В этом случае общее сопротивление внешней цепи будет равно примерно 55 Ом, т.е. 30 Ом — сопротивление нити лампочки Н плюс 25 Ом — сопротивление добавочного резистора R. В цепи, следовательно, потечет ток, равный примерно 0,08 А, т.е. почти такой же, на который рассчитана нить накала лампочки. Эту лампочку можно питать от батареи и с более высоким напряжением и даже от электроосветительной сети, если подобрать резистор соответствующего сопротивления. В этом примере добавочный резистор ограничивает ток в цепи до нужного нам значения. Чем больше будет его сопротивление, тем меньше будет и ток в цепи. В данном случае в цепь было включено последовательно два сопротивления: сопротивление нити лампочки и сопротивление резистора. А при последовательном соединении сопротивлений ток одинаков во всех точках цепи. Можно включать амперметр в любую точку цепи, и всюду он будет показывать одно значение. Это явление можно сравнить с потоком воды в реке. Русло реки на различных участках может быть широким или узким, глубоким или мелким. Однако за определенный промежуток времени через поперечное сечение любого участка русла реки всегда проходит одинаковое количество воды.

**Добавочный резистор**, включаемый в цепь последовательно с нагрузкой (как, например, на рис. выше), можно рассматривать как резистор, «гасящий» часть напряжения, действующего в цепи. Напряжение, которое гасится добавочным резистором или, как говорят, падает на нем, будет тем большим, чем больше сопротивление этого резистора. Зная ток и сопротивление добавочного резистора, падение напряжения на нем легко подсчитать все по той же знакомой вам формуле  $U = IR$ , Здесь  $U$  — падение напряжения, В;  $I$  — ток в цепи, А;  $R$  — сопротивление добавочного резистора, Ом. Применительно к нашему примеру резистор R (на рис.) погасил избыток напряжения:  $U = IR = 0,08 \times 25 = 2$  В. Остальное напряжение батареи, равное приблизительно 2,5 В, упало на нити лампочки. Необходимое сопротивление резистора можно найти по другой знакомой вам формуле  $R = U/I$ , где  $R$  — искомое сопротивление добавочного резистора, Ом;  $U$  — напряжение, которое необходимо погасить, В;  $I$  — ток в цепи, А. Для нашего примера сопротивление добавочного резистора равно:  $R = U/I = 2/0,075 = 27$  Ом. Изменяя сопротивление, можно уменьшать или увеличивать напряжение, которое падает на добавочном резисторе, и таким образом регулировать ток в цепи. Но добавочный резистор R в такой цепи может быть переменным, т.е. резистором, сопротивление которого можно изменять (см. рис. ниже).

В этом случае с помощью движка резистора можно плавно изменять напряжение, подводимое к нагрузке Н, а значит, плавно регулировать ток, протекающий через эту нагрузку. Включенный таким образом переменный резистор называют реостатом, С помощью реостатов регулируют токи в цепях приемников, телевизоров и усилителей. Во многих кинотеатрах реостаты использовали для плавного гашения света в зрительном зале. Есть, однако, и другой способ подключения нагрузки к источнику тока с избыточным напряжением — тоже с помощью переменного резистора, но включенного потенциометром, т.е. делителем напряжения, как показано на рис..

Здесь  $R_1$  — резистор, включенный потенциометром, а  $R_2$  — нагрузка, которой может быть та же лампочка накаливания или какой — то другой прибор. На резисторе  $R_1$  происходит падение напряжения источника тока, которое частично или полностью может быть подано к нагрузке  $R_2$ . Когда движок резистора находится в крайнем нижнем положении, к нагрузке напряжение вообще не подается (если это лампочка, она гореть не будет). По мере перемещения движка резистора вверх мы будем подавать все большее напряжение к нагрузке  $R_2$  (если это лампочка, ее нить будет накаливаться). Когда же движок резистора  $R_1$  окажется в крайнем верхнем положении, к нагрузке  $R_2$  будет подано все напряжение источника тока (если  $R_2$  — лампочка карманного фонаря, а напряжение источника тока большое, нить лампочки перегорит). Можно опытным путем найти такое положение движка переменного резистора, при котором к нагрузке будет подано необходимое ей напряжение. Переменные резисторы, включаемые потенциометрами, широко используют для регулирования громкости в приемниках и усилителях. Резистор может быть непосредственно подключен параллельно нагрузке. В таком случае ток на этом участке цепи разветвляется и идет двумя параллельными путями: через добавочный резистор и основную нагрузку. Наибольший ток будет в ветви с наименьшим сопротивлением. Сумма же токов обеих ветвей будет равна току, расходуемому на питание внешней цепи. К параллельному соединению прибегают в тех случаях, когда надо ограничить ток не во всей цепи, как при последовательном включении добавочного резистора, а только на каком — то участке. Добавочные резисторы подключают, например, параллельно миллиамперметрам, чтобы ими можно было измерять большие токи. Такие резисторы называют **шунтирующими или шунтами**. Слово шунт означает **ответвление**.

## Мощность и работа

На нагрев нити накала электрической или электронной лампы, электропаяльника, электроплитки или иного прибора затрачивается некоторое количество электроэнергии. Эту энергию, отдаваемую источником тока (или получаемую от него нагрузкой) в течение 1 с, называют **мощностью тока**.

За единицу мощности тока принят **ватт (Вт)**. **Ватт — это мощность, которую развивает постоянный ток 1А при напряжении 1В. В формулах мощность тока обозначают латинской буквой P (читается «пэ»).** Электрическую мощность в ваттах получают умножением напряжения в вольтах на ток в амперах, т.е.  $P = UI$ .

Если, например, источник постоянного тока напряжением 4,5 В создает в цепи ток 0,1 А, то мощность тока будет:  $p = 4,5 \times 0,1 = 0,45$  Вт. Пользуясь этой формулой, можно, например, подсчитать мощность, потребляемую лампочкой карманного фонаря, если 3,5 В умножить на 0,28 А. Получим около 1 Вт. Изменив эту формулу так:  $I = P/U$ , можно узнать ток, протекающий через электрический прибор, если известны потребляемая им мощность и подводимое к нему напряжение. Каков, например, ток, идущий через электрический паяльник, если известно, что при напряжении 220 В он потребляет мощность 40 Вт?  $I = P/U = 40/220 = 0,18$  А. Если известны ток и сопротивление цепи, но неизвестно напряжение, мощность можно подсчитать по такой формуле:  $P = I^2R$ . Когда же известны напряжение, действующее в цепи, и сопротивление этой цепи, то для подсчета мощности используют такую формулу:  $P = U^2/R$ . Но ватт — сравнительно небольшая единица мощности.

Когда приходится иметь дело с электрическими устройствами, приборами или машинами, потребляющими токи в десятки, сотни ампер, используют единицу мощности киловатт (пишут кВт), равную 1000 Вт. Мощности электродвигателей заводских станков, например, могут составлять от нескольких единиц до десятков киловатт.

Количественный расход электроэнергии оценивают ватт — секундой, характеризующей единицу энергии — джоуль.

Расход электроэнергии определяют умножением мощности, потребляемой прибором, на время его работы в секундах.

Если, например, лампочка электрического фонарика (ее мощность, как мы уже знаем, около 1 Вт) горела 25 с, значит, расход энергии составил 25 ватт — секунд. Однако ватт — секунда величина очень малая. Поэтому на практике используют более крупные единицы расхода электроэнергии: ватт — час, гектоватт — час и киловатт — час. Чтобы расход энергии был выражен в ватт — часах или киловатт — часах, нужно соответственно мощность в ваттах или киловаттах умножить на время в часах. Если, например, прибор потребляет мощность 0,5 кВт в течение 2 ч, то расход энергии составит  $0,5 \times 2 = 1$  кВт ч; 1 кВт ч энергии будет также израсходован, если цепь будет потреблять (или расходовать) мощность 2 кВт в течение получаса, 4 кВт в течение четверти часа и т.д. Электрический счетчик, установленный в доме или квартире, где вы живете, учитывает расход электроэнергии в киловатт — часах. Умножив показания счетчика на стоимость 1 кВт-ч (сумма в коп.), вы узнаете, на какую сумму израсходовано энергии за неделю, месяц.

При работе с гальваническими элементами или батареями говорят об их электрической емкости в ампер — часах, которая выражается произведением значения разрядного тока на длительность работы в часах. Начальная емкость батареи 3336Л, например 0,5 Ач. Подсчитай: сколько времени будет батарея непрерывно работать, если разряжать ее током 0,28 А (ток лампочки фонаря)? Примерно один и три четверти часа. Если же эту батарею разряжать более интенсивно, например, током 0,5 А, она будет работать меньше 1 ч. Таким образом, зная емкость гальванического элемента или батареи и токи, потребляемые их нагрузками, можно подсчитать примерное время, в течение которого будут работать эти химические источники тока. Начальная емкость, а также рекомендуемый разрядный ток или сопротивление внешней цепи, определяющее разрядный ток элемента или батареи, указывают иногда на их этикетках или в справочной литературе.

В этом уроке я попытался систематизировать и выложить максимум необходимой для начинающего радиолобителя информации по основам электротехники, без которых дальше нет смысла, что то, продолжать изучать. Урок, получился пожалуй самый продолжительный, но и самый важный. Советую отнестись к этому уроку более серьезно, обязательно заучить выделенные определения, если что то, непонятно, перечитывайте несколько раз, что бы вникнуть в суть сказанного. В качестве практической работы, можете поэкспериментировать со схемами изображенными на рисунках, т. е. с батарейками лампочками и переменным резистором. Это пойдет вам на пользу. А вообще, в этом уроке, конечно же, весь упор нужно сделать не на практику, а на усвоение теории.