

Прикладная электроника

Электротехника, ТОЭ

Уржумцев Олег

План курса

- Теория
 - Основы физики цепей
 - Электронные компоненты и приборы
- Практика
 - Проектирование схем
 - Сборка и макетирование
 - Технологии промышленного производства электронных модулей

Здесь когда-нибудь будет дизайн

<http://nb3.me/?elec101>

Электричество

В мире существует электрическое и магнитное поле

Электрическое поле характеризуется зарядом [Кл]

При наличии **замкнутой** цепи и зарядов с разным потенциалом в разных её точках в ней начинает течь **электрический ток**

Электрические цепи

В данной цепи предполагается наличие источника постоянного тока

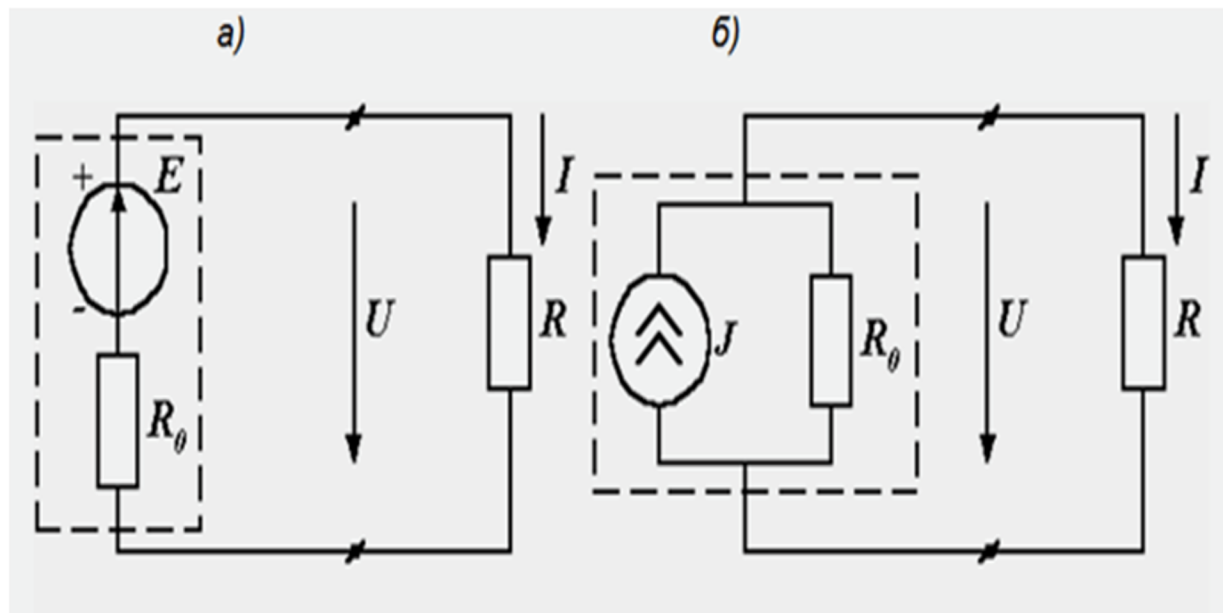


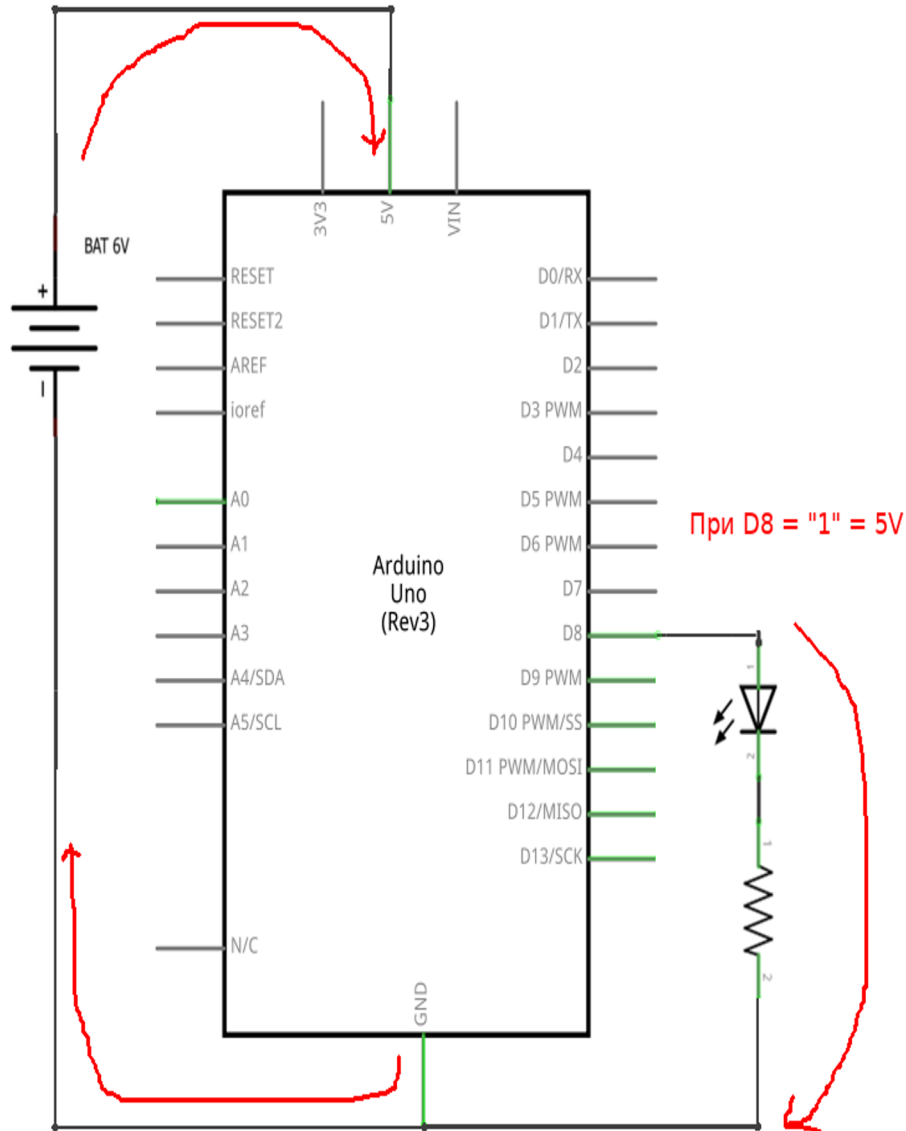
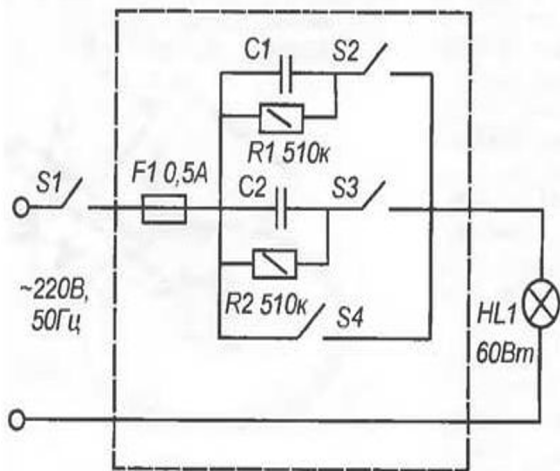
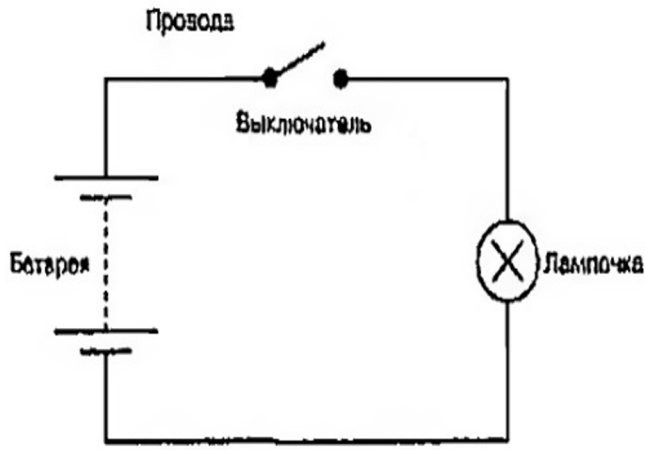
Рис. 1.1. Простейшая электрическая цепь

$$E = U + IR_0, \text{ отсюда } U = E - IR_0. \quad (1.1)$$

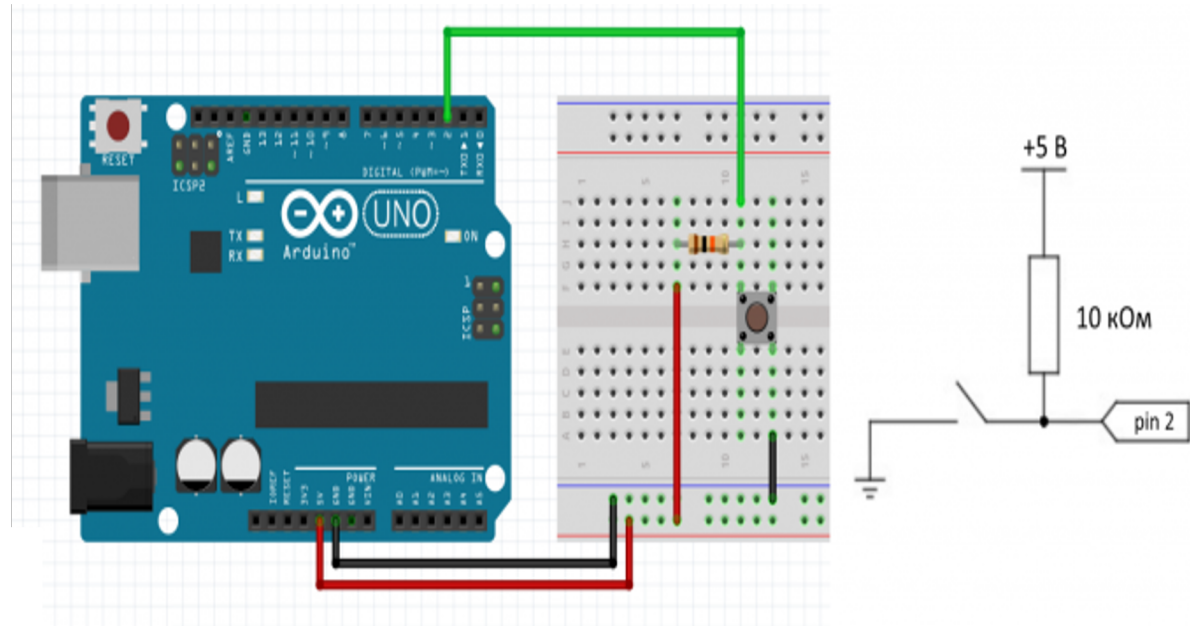
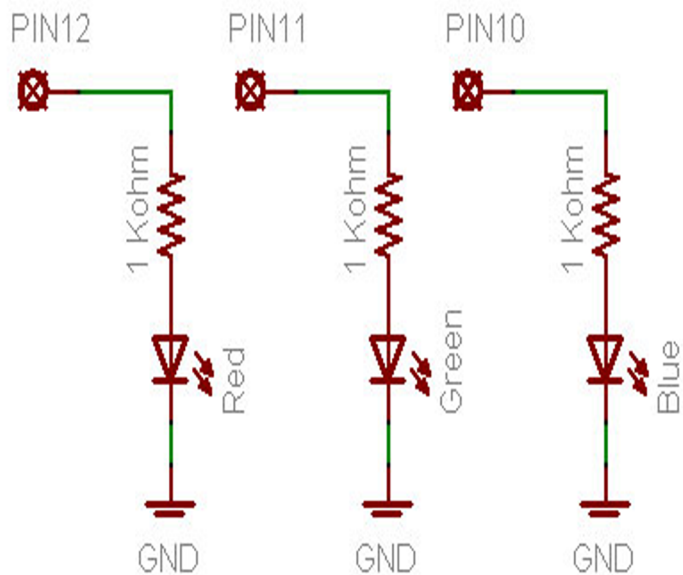
Гидродинамическая модель цепи



Электрические цепи. Примеры



Электрические цепи. Примеры



Свойства элементов цепи.

Напряжение

Напряжение (U) - характеристика источника питания, выражается в вольтах (B , V)

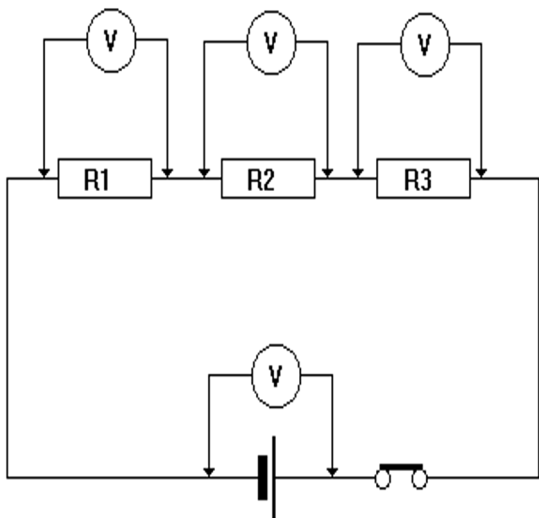
Выражает потенциал между его выводами

Измеряется **вольтметром**

Измерение напряжения

Вольтметр подключается **параллельно** точкам, между которыми измеряется напряжение. Важно выбрать нужные точки!

Мультиметр необходимо перевести в режим измерения напряжения (V, реж U). Важно также выбрать корректный род тока (в случае схем с батарейным питанием - постоянный)



Свойства элементов цепи. Ток

При наличии разницы потенциалов (напряжения) между двумя точками и наличии цепи между ними, через эту цепь начинает идти ток

Ток (I) выражается в амперах (А)

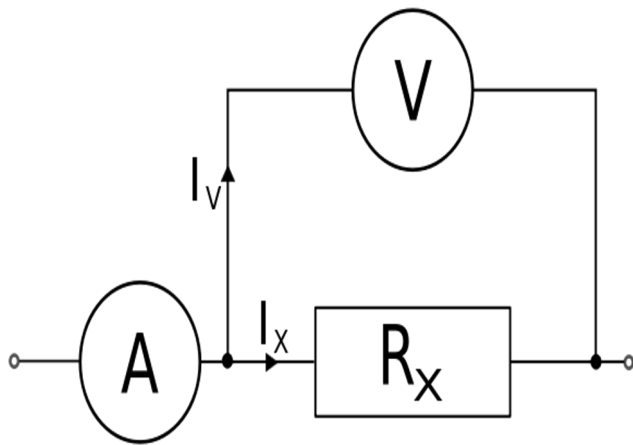
Выражает скорость передачи заряда (уравнивания потенциалов) между точками цепи

Измеряется **амперметром**

Измерение тока

Так как ток течёт только в замкнутой цепи, мы должны вклиниться в эту цепь

Это делается либо включением **в разрыв** существующей цепи, либо косвенным измерением наведённого магнитного поля (для больших токов, более 10А)



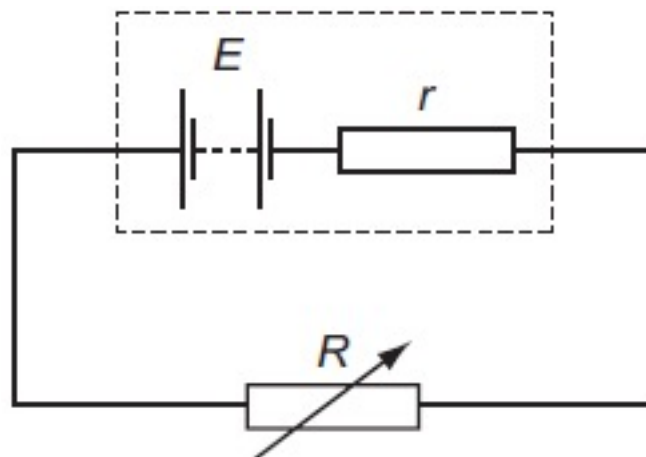
Попытка измерить ток с созданием **новой** цепи (например, подключением амперметра параллельно источнику питания) приведёт к совершенно не тому результату, который был нужен (а именно - к измерению тока КЗ батареи на измерительный прибор) и чаще всего выводит прибор из строя!

Сопротивление

В замкнутой цепи устанавливается определённый ток
Свойство цепи, отвечающее за его величину, называется
сопротивление

В простой цепи (источник + нагрузка) оно эквивалентно
сопротивлению нагрузки.

Для сложных цепей вводится
понятие **эквивалентного
сопротивления**



Сопротивление

Сопротивление - свойство любой реальной цепи

Определяет падение напряжения при протекании определённого тока

Чаще всего оно нелинейно, однако в фиксированных условиях не составляет труда его измерить

Закон Ома

- $I = U/R$
 - Эквивалентно $U = IR \sim R = U / I$
 - Сила тока в цепи пропорциональна напряжению и обратно пропорциональная полному сопротивлению цепи.

U – величина напряжения в вольтах.

R – сумма всех сопротивлений в омах.

I – протекающий по цепи ток.

Закон Ома. Пример

- $I = U/R$
Пример 1.1. Напряжение холостого хода батареи равно 16,4 В. Чему равно ее внутреннее сопротивление, если при токе во внешней цепи, равном 8 А, напряжение на ее зажимах равно 15,2 В?

Закон Ома. Пример

$I = U/R$
• **Пример 1.1.** Напряжение холостого хода батареи равно 16,4 В. Чему равно ее внутреннее сопротивление, если при токе во внешней цепи, равном 8 А, напряжение на ее зажимах равно 15,2 В?

Решение. В соответствии с уравнением (1.1) из схемы, показанной на рис. 1.4, а, следует $U = U_X = E = 16,4$ В.

Схема 1.4, б дает
$$R_0 = \frac{E - U}{I} = \frac{16,4 - 15,2}{8} = 0,15 \text{ Ом.}$$

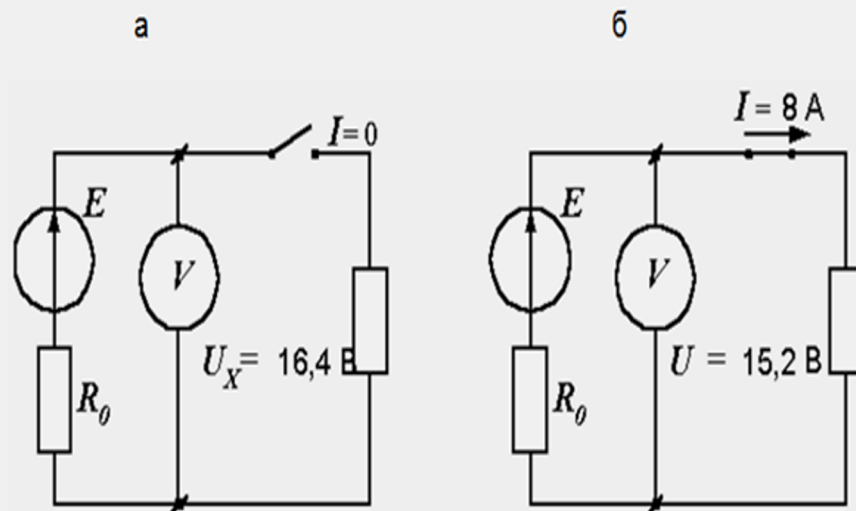


Рис. 1.4. Разомкнутая (а) и замкнутая (б) цепи

Ток и напряжение на источнике питания

При повышении тока нагрузки, напряжение источника падает

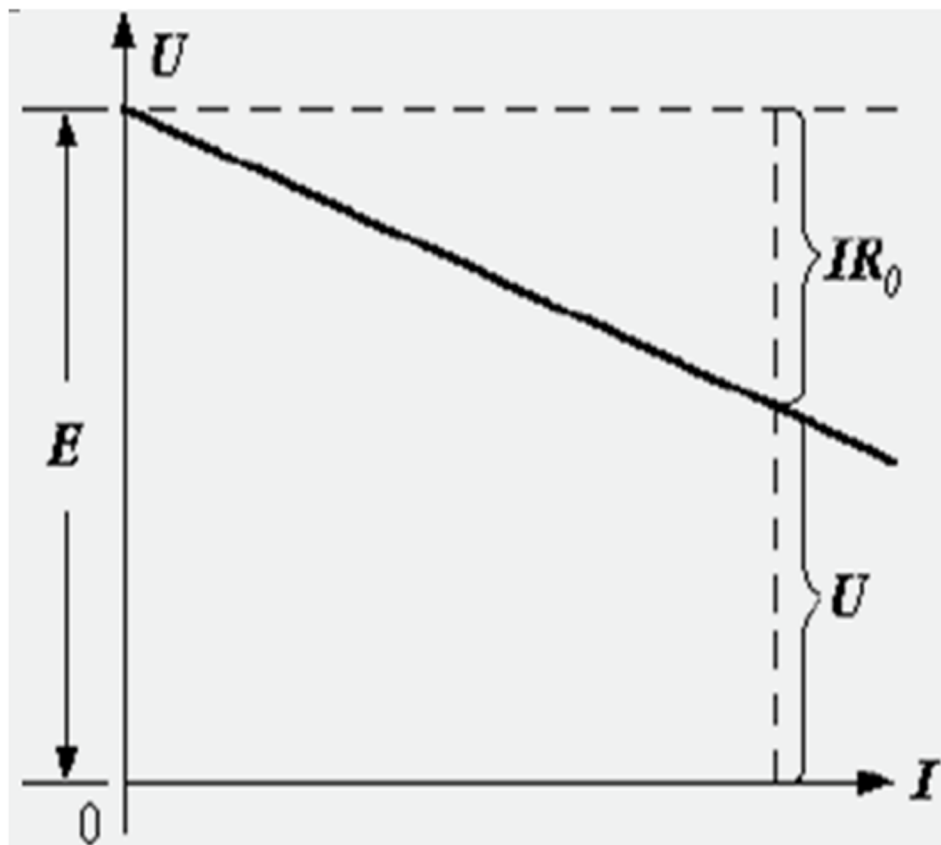


Рис. 1.2. Внешняя характеристика генератора

Последовательное соединение элементов

Исходя из 1го правила Кирхгофа, в цепи, содержащей несколько последовательно соединённых элементов, ток в каждом узле одинаков.

- $R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3$

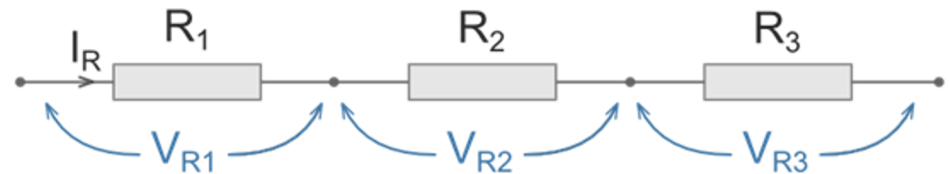


Последовательное соединение резисторов

Напряжение при последовательном соединении

Напряжение при последовательном соединении распределяется на каждый резистор согласно закону Ома:

$$U_{R_x} = I * R_x = U * R_x / R_{\text{общ}}$$



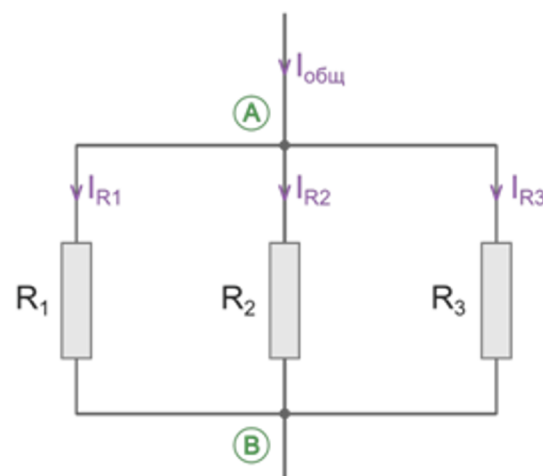
Напряжение при последовательном соединении

Как следствие, последовательное соединение резисторов хорошо подходит для соединения светодиодов, поскольку ток ограничивается для всей цепи сразу, в то время как точное значение U_x на диодах может немного различаться: их точное сопротивление “плавает” в зависимости от множества причин.

Параллельное соединение элементов

Параллельное подключение предполагает подключение к двум точкам нескольких элементов. => образуется несколько ветвей, по которым течёт ток.

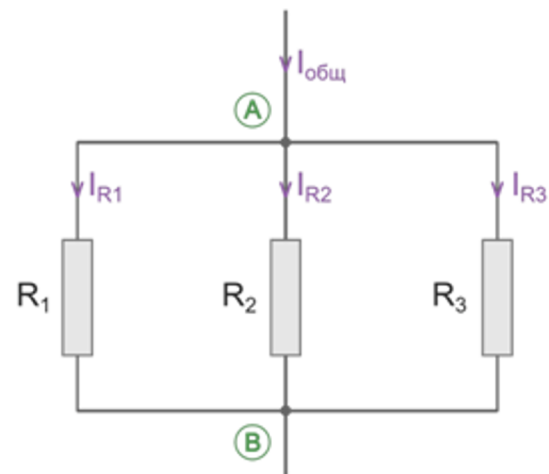
$$R_{\text{общ}} = \frac{1}{G_{\text{общ}}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$$



Параллельное соединение резисторов

Параллельное соединение элементов

При параллельном соединении напряжение на всех элементах одинаково; ток через каждую ветвь определяется сопротивлением ветви независимо



Параллельное соединение резисторов

Делитель напряжения

Служит для снижения напряжения (из-за низкого КПД и/или стабильности при изменении нагрузки - преимущественно в целях измерения напряжения)

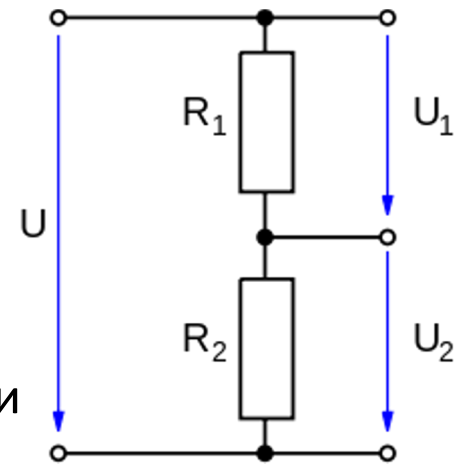
U - входное напряжение

U_2 - выходное напряжение

$$U_2 = U * (R_2 / (R_1 + R_2))$$

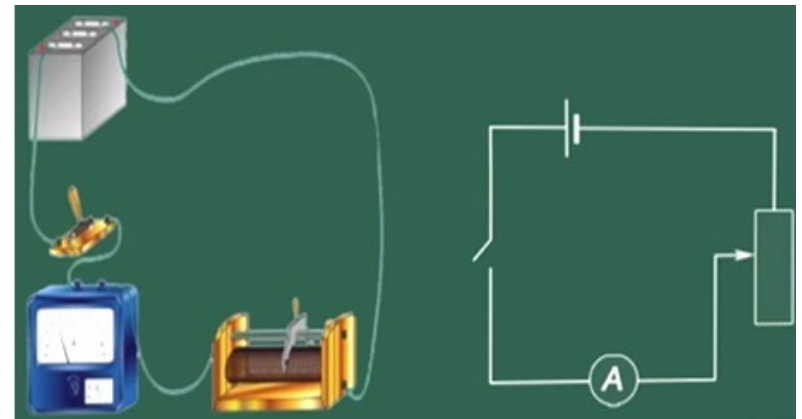
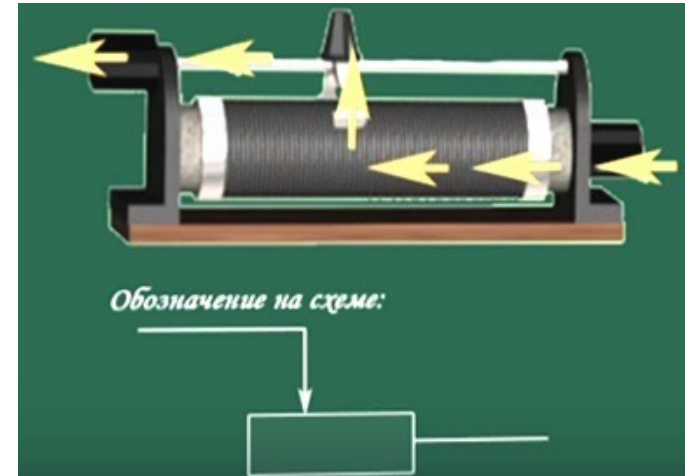
Нестабильность: при подключении нагрузки R_n изменяет R_2 и напряжение “уходит” (чем меньше $R_1 + R_2$ - тем меньше влияет R_n)

КПД: через $R_1 + R_2$ всегда течёт ток (чем меньше их R , тем больший)



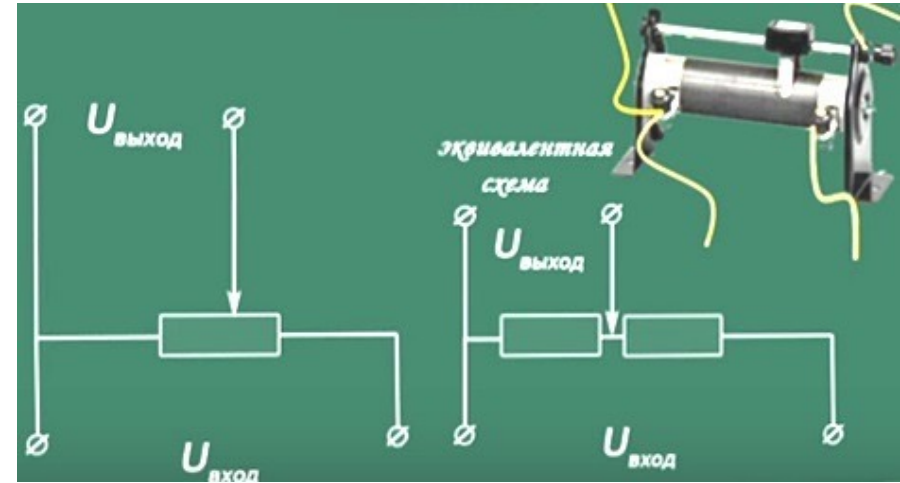
Реостат

- Переменный резистор
- Подсоединен в цепь через две клеммы: один край обмотки и верхнюю подвижную клемму.
- Таким образом, в цепи задействована только часть обмотки реостата. Когда ползунок перемещается, то меняется сопротивление той части обмотки реостата, которая находится в цепи. Изменяется длина обмотки, сопротивление и сила тока в цепи.



Потенциометр

- Переменный резистор
- Реостат, у которого используется второй крайний контакт
- Работает в режиме делителя напряжения (регулируемого)



Мощность

Мощность (P) выражается в ваттах (W, Вт)

- $P = U * I$

Эквивалентна энергии, которая выделяется за единицу времени на элементе (которую элемент потребляет)

Для известного тока и напряжения можно посчитать мощность, рассеиваемую на элементе

- Если сопротивление элемента изменяется, максимум выделяемой мощности может находиться не на крайнем значении сопротивления
- Все элементы имеют пределы рассеиваемой мощности
- Провода также имеют (паразитное) сопротивление и максимальную рабочую температуру

Мощность

Потому чем больше ток или напряжение, тем больше мощность. Т.к. резистор (или провода) не выполняет какой либо полезной нагрузки, то мощность, выпадающая него это потери в чистом виде. В данном случае мощность можно через закон Ома выразить так:

$$P = R * I^2$$

Увеличение сопротивления вызывает увеличение мощности расходуемое на потери, а если возрастает ток, то потери увеличиваются в квадратичной зависимости. В резисторе вся моща уходит в нагрев. По этой же причине, кстати, аккумуляторы нагреваются при работе – у них тоже есть внутреннее сопротивление, на котором и происходит рассеяние части энергии

Мощность. Производные

- $P = U * I$

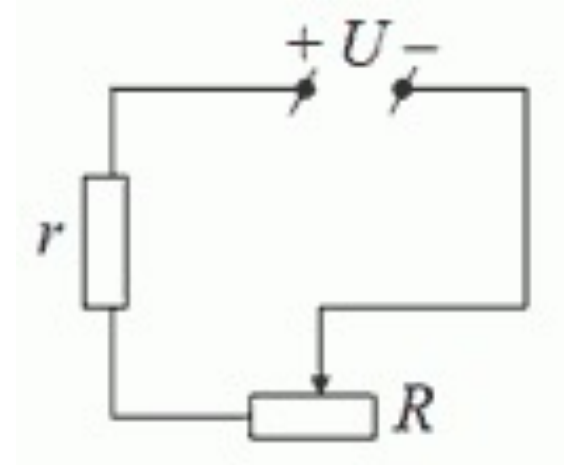
- $U = I * R \quad \Rightarrow \quad P = \frac{U^2}{R}$

- $I = U / R \quad \Rightarrow \quad P = I^2 R$

- Мощность имеет квадратичную зависимость от напряжения и тока при неизменном сопротивлении нагрузки!
- NB: Для получения той же мощности на нагрузке при повышении напряжения в n раз ток падает в такое же количество раз.
Как следствие, при напряжении в 220 вольт в сетях происходит в два раза меньше падение напряжения на проводах и в четыре раза меньше теряется мощность по сравнению с сетями на 110 вольт!

Реостат. Мощность

- Резистор, сопротивление которого постоянно, и реостат подсоединены к источнику постоянного напряжения, как показано на рисунке. При силе тока в цепи $I_1 = 2 \text{ A}$ на реостате выделяется мощность $P_1 = 48 \text{ Вт}$, а при силе тока $I_2 = 5 \text{ A}$ на нем выделяется мощность $P_2 = 30 \text{ Вт}$. Определите напряжение источника и сопротивление резистора.
- Найдите силу тока в цепи, когда сопротивление реостата равно нулю.
- Найдите максимальную мощность, которая может выделяться на реостате. Чему равно сопротивление R_m реостата в этом случае?



Реостат. Мощность

- Пусть в первом случае сопротивление реостата равно R_1 , во втором — равно R_2 . По закону Ома имеем систему:

$$\begin{aligned} I_1(r + R_1) &= U, \\ I_2(r + R_2) &= U, \end{aligned} \quad (1)$$

где:

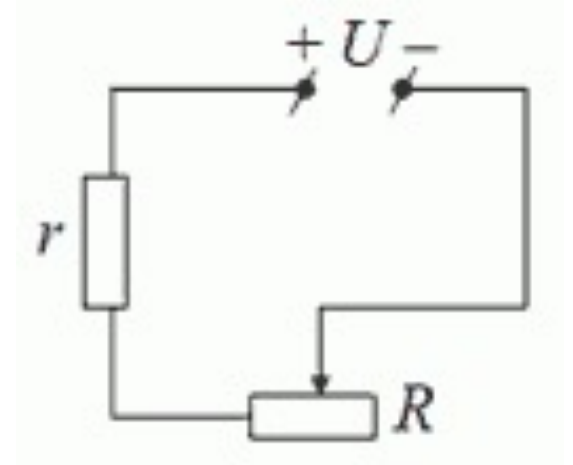
$$\begin{aligned} R_1 &= P_1 / I_1^2 = 12 \text{ Ом}, \\ R_2 &= P_2 / I_2^2 = 6 / 5 = 1.2 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

- Решая систему (1), получим:

$$U = (P_1 I_2^2 - P_2 I_1^2) / (I_1 I_2 (I_2 - I_1)) = 36 \text{ В},$$

$$r = (P_1 I_2 - P_2 I_1) / (I_1 I_2 (I_2 - I_1)) = 6 \text{ Ом}.$$

- Если сопротивление реостата равно нулю, то $I_0 = U / r = 6 \text{ А}$



- при $I_1 = 2 \text{ А}$ на реостате $P_1 = 48 \text{ Вт}$;
при $I_2 = 5 \text{ А}$ $P_2 = 30 \text{ Вт}$.
 $U = ?$ $r = ?$
- $I_0 = ?$ при $R = 0$
- Найдите P_{max} , которая может выделяться на реостате. R_m реостата в этом случае?

Реостат. Мощность

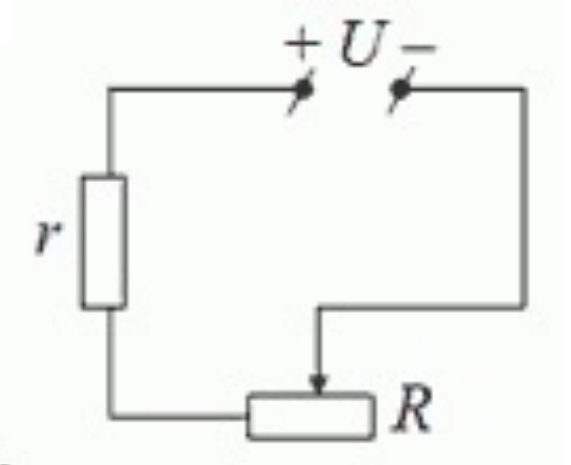
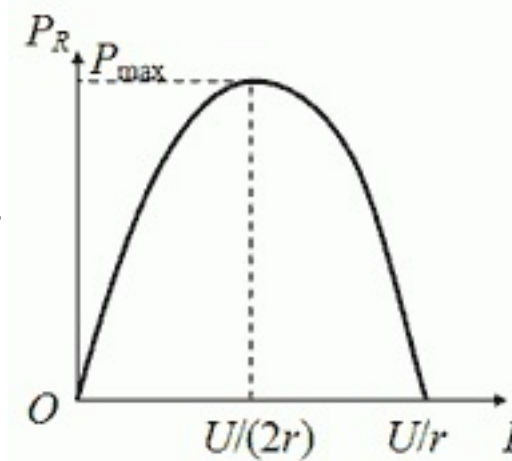
- В общем случае мощность, выделяемая на переменном резисторе R , представима в виде:

$$PR = I^2 R = U^2 / (R + r)^2 R,$$

или

$$PR = IU - I^2 r,$$

где IU — мощность, развиваемая источником. На рисунке представлена зависимость $P_R(I)$. Эта парабола, вершина которой соответствует $P_{\max}$ при силе тока $I = U / 2r$.



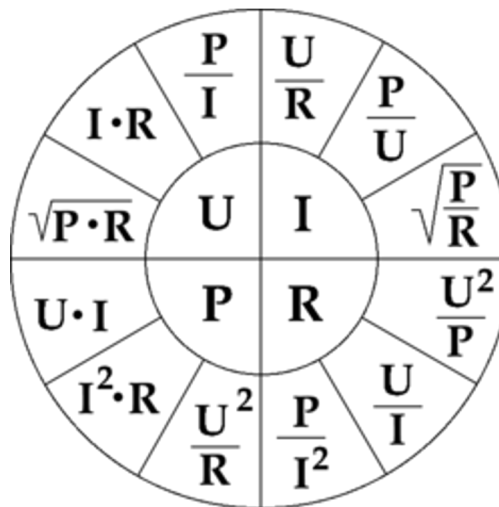
- Следовательно,
$$P_{\max} = \frac{U^2}{4r} = \frac{U^2 R_M}{(R_M + r)^2} \Rightarrow R_M = r.$$

- Итак,
$$P_{\max} = \frac{U^2}{4r} = 54 \text{ Вт},$$

$$R_M = 6 \text{ Ом}.$$

- Найдите $P_{\max}$, которая может выделяться на реостате. R_M реостата в этом случае?

Обобщение



U – Напряжение

I – Сила тока

P – Мощность

R – Сопротивление

Электрические свойства источника питания

- Напряжение холостого хода
- Напряжение под номинальной нагрузкой
- Максимальный долговременный ток нагрузки
- Максимальный ток нагрузки (пиковый)
- Ёмкость источника ($A \cdot \text{ч}$, $Вт \cdot \text{ч}$)
- Внутреннее сопротивление

Неэлектрические свойства - удельная плотность ($Вт/кг$, $Вт/см^3$, масса, габариты, температурный режим...)