

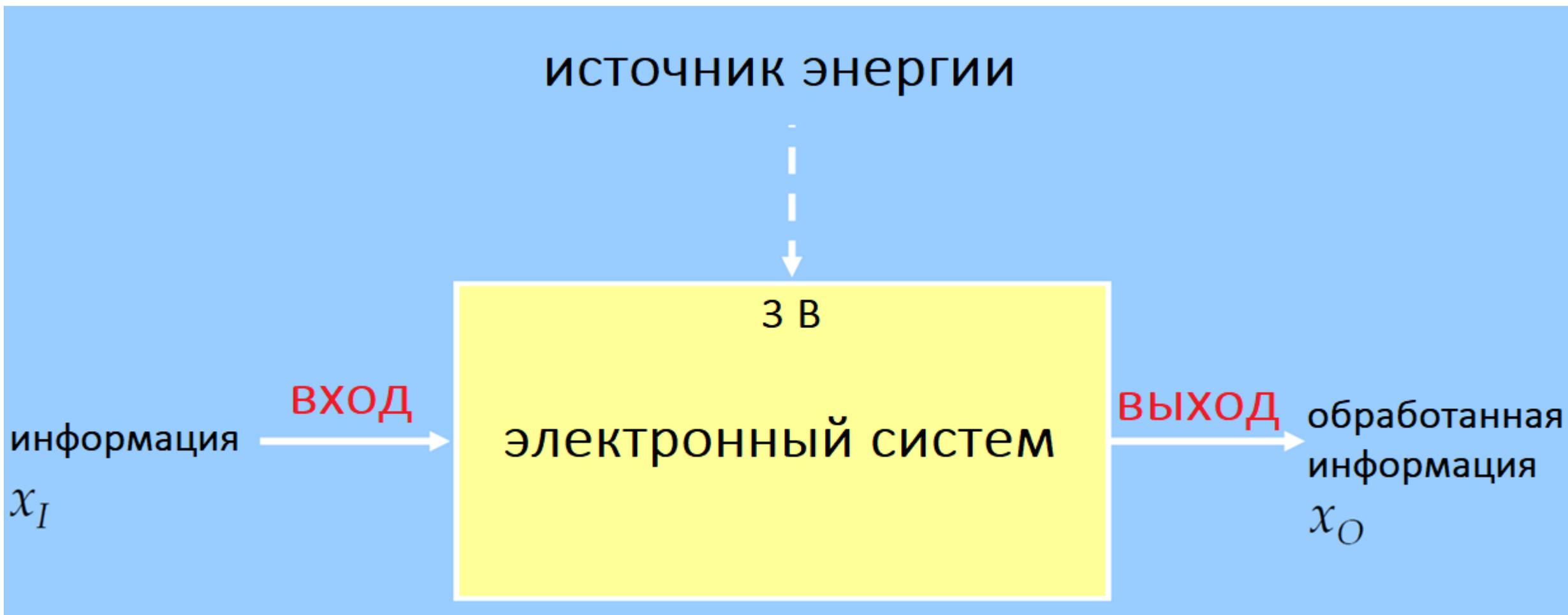
Circuite și Dispozitive Electronice

Электронные Цепи и Устройства

Тема 1 - Введение в электронику. Законы Кирхгофа. Закон Ома.
Резисторы. Катушки. Конденсаторы.

Цель: познакомиться с основными понятиями, используемыми в этом курсе, с законом Ома, с законами Кирхгофа, с базой электронных компонентов, принципами построения и работы, характеристиками и параметрами пассивных компонентов: резисторы, катушки и конденсаторы.

Представление электронной системы в виде блок-схемы

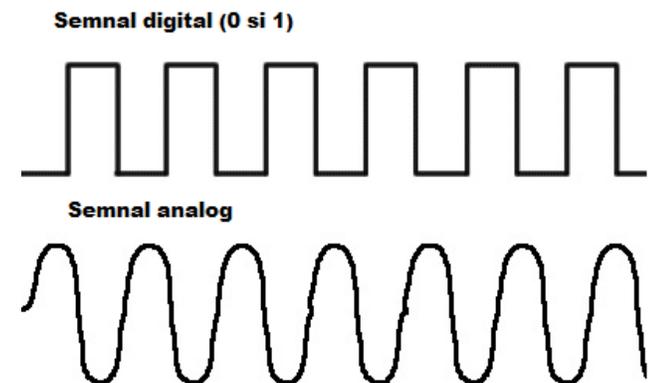


Базовые концепты

- Электрическая цепь - это последовательность проводящих сред, по которым протекает электрический ток, выполняющий определенную функцию в сложной сборке.
 - Он характеризуется параметрами цепи (сопротивление, индуктивность, емкость).

Термин схема может быть связана с:

- Интегральная схема - группа неразрывно соединенных электронных элементов, способных выполнять одну или несколько функций. Это может быть:
 - аналоговый (размер выхода зависит от размера входа);
 - числовой (в схеме используются два уровня двоичного кода, 0 и 1).
- Активная схема - это схема, содержащая хотя бы один активный элемент.
- Пассивная цепь - цепь, не содержащая источника питания.



- **Электронные компоненты. Классификация**

- В электронных схемах, в зависимости от того, как они вмещиваются, различают следующие типы компонентов:

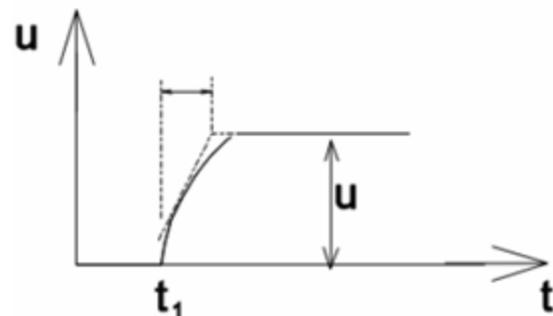
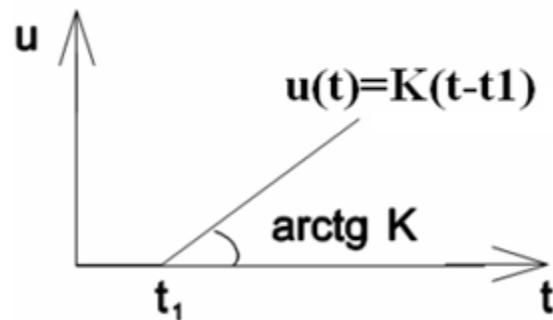
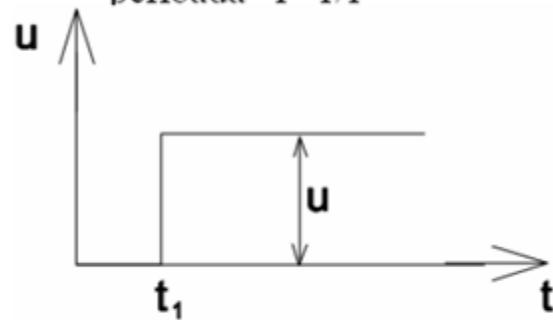
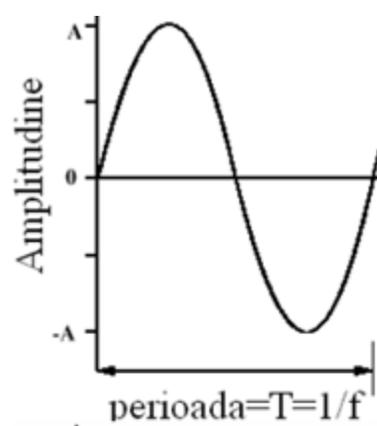
- **Пассивные электронные компоненты**

- Они представляют собой элементы схемы, которые могут выполнять функции обработки электрических сигналов, такие как фильтрация, интегрирование, вывод. Такие компоненты не могут воздействовать на энергию сигнала. Пассивные компоненты, в свою очередь, делятся на:

- Пассивные дипольные компоненты (унипортовые схемы): резисторы, катушки, конденсаторы, **полупроводниковые диоды**;
 - Пассивные компоненты досуговых цепей: длинная линия и линия задержки;
 - Пассивные компоненты n-портового типа схемы: электрические трансформаторы.

- **Активные электронные компоненты**

- В отличие от пассивных компонентов, они способны изменять энергию сигнала. Чаще всего встречаются в схемах управления, отображения, записи. Они также известны как полупроводниковые устройства. Такие компоненты работают, когда они запитаны, потребляя энергию от источника электричества. Примером таких компонентов являются транзисторы. Активные компоненты - это нелинейные компоненты схемы.



- **элементарные сигналы**

- **синусоидальный**

- $v(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi)$

- A – амплитудина, ω_0 – pulsația sau frecvența unghiulară, f_0 – frecvența, ϕ - faza

- **шаговый**

- $u(t) = U$, pt. $t \geq t_1$

- $u(t) = 0$, pt. $t < t_1$

- **линейная переменная**

- $u(t) = k \cdot (t - t_1)$, pt. $t \geq t_1$

- $u(t) = 0$, pt. $t < t_1$

- **экспоненциальный**

- $u(t) = U(1 - e^{-(t-t_1)/\tau})$, pt. $t \geq t_1$

- $u(t) = 0$, pt. $t < t_1$

- τ - constanta de timp a semnalului

- Электронные сигналы

Физические величины, которые описывают состояние цепи, - это **сила тока** и **электрические напряжения** между различными точками цепи.

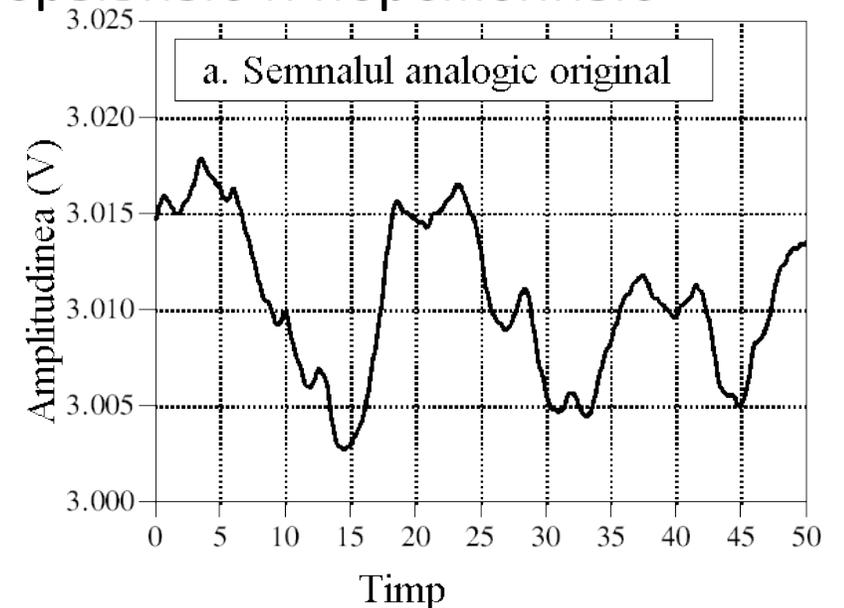
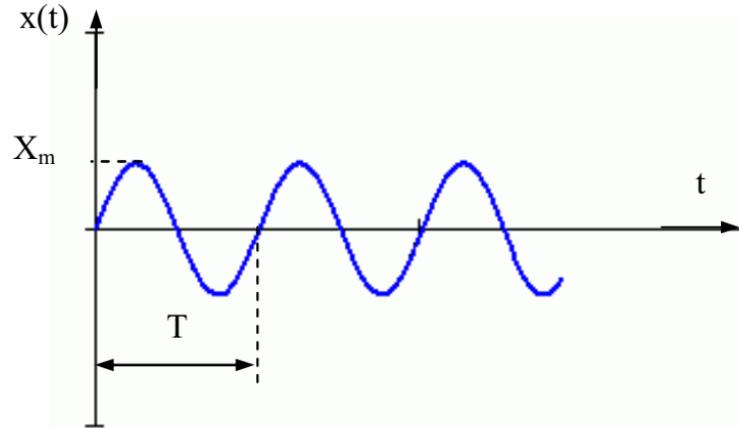
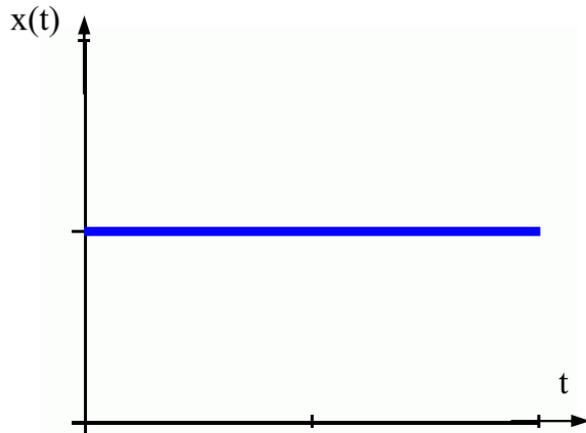
В электрических цепях сигналы проявляются в виде вариаций размеров:

- Напряжение $u(t)$;
- Ток $i(t)$.

В свою очередь они могут быть

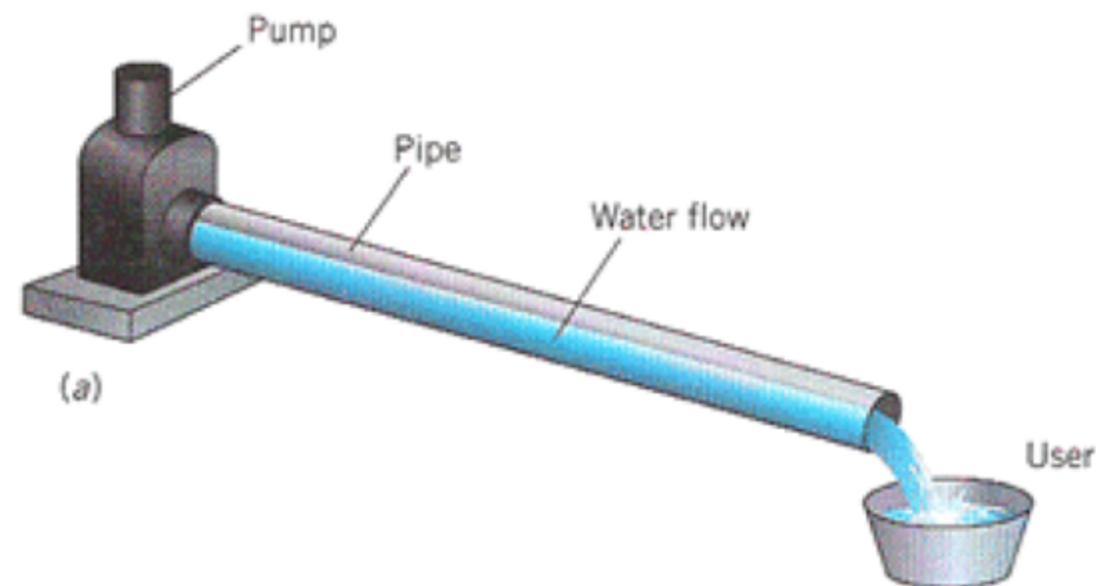
- непрерывные;
- переменный.

Наиболее распространены в электрических цепях непрерывные и переменные сигналы.



Электричество может быть таким же символическим, как жидкость

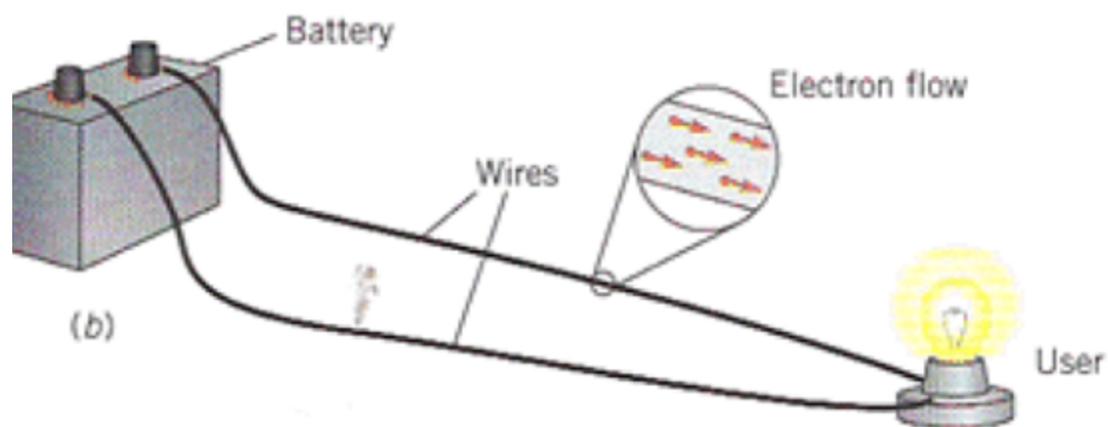
Схема очень похожа на воду, текущую по трубе



Насос работает практически на два важных принципа относительно его течения

- Есть РАЗНИЦА ДАВЛЕНИЙ, где поток начинается и заканчивается
- Определенное количество потока проходит каждую секунду.

Схема практически работает по ДВА ВАЖНЫМ ПРИНЦИПАМ



- Существует «ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РАЗНИЦА НАПРЯЖЕНИЙ» от начала нагрузки до конца.
- Величина нагрузки, протекающей в секунду называется ТОКОМ.

• Сила тока

- Сила электрического тока в точке проводника (правильнее было бы в его части, но мы не будем учитывать его физическую толщину) по определению представляет собой «поток» электрического заряда, проходящего через эту точку.

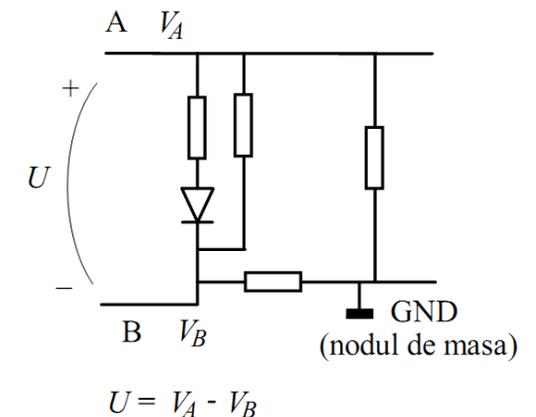
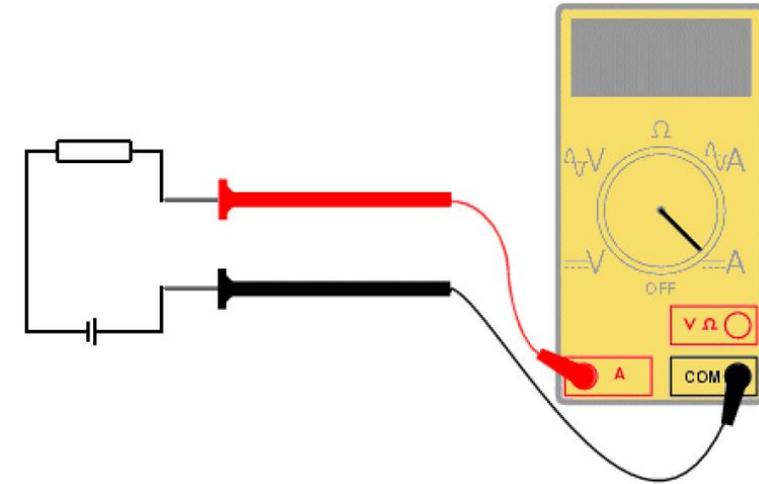
$$I(t) = dq/dt$$

- Единицей измерения является ампер, что соответствует прохождению кулона (примерно $6 \cdot 10^{18}$ элементарных зарядов) за одну секунду. Даже при очень слабых токах порядка наноампер (создаваемых некоторыми преобразователями, с помощью которых мы измеряем различные физические величины) количество элементарных зарядов, переносимых за секунду, огромно, порядка нескольких миллиардов.

• Электрическое напряжение

Между выводами элементов схемы, через которые проходит электрический ток, есть электрические напряжения, у них разный потенциал. Поскольку при измерении разности потенциалов важен порядок, мы всегда должны говорить, что мы подразумеваем под напряжением U между точками А и В, разностью $V_A - V_B$ или разностью $V_B - V_A$.

Ток можно измерить
амперметром-ammeter



- Для переменного сигнала $x(t)$ определяется следующим образом:

- Мгновенное значение (значение сигнала в любой момент времени t):

$$x(t) = X\sqrt{2}\sin(\omega t \pm \varphi)$$

- $X_m = X\sqrt{2}$ максимальное значение сигнала;
- $\omega = 2\pi f$ угловая скорость
- f частота сигнала
- φ угол сдвига фаз между двумя размерами одной и той же цепи

- Среднее значение за период:

$$X_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

- Фактическое значение (Root Mean Square)

$$X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt}$$

- фактическое значение электрического тока составляет 0,707 его пикового значения. Измерительные устройства обычно выделяют фактическое значение сигнала.

- Электрическая мощность:

- Терминальная мощность (мгновенная)

$$p(t) = u(t)i(t)$$

- Средняя мощность:

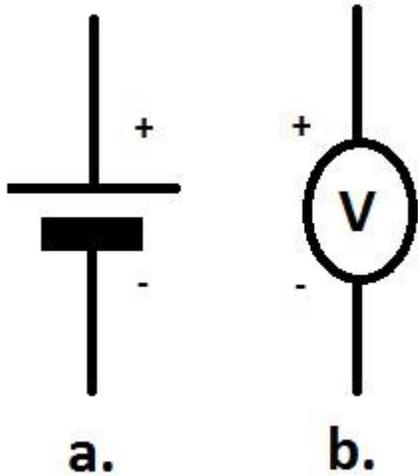
$$P_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) * i(t) dt$$

- Источники сигнала

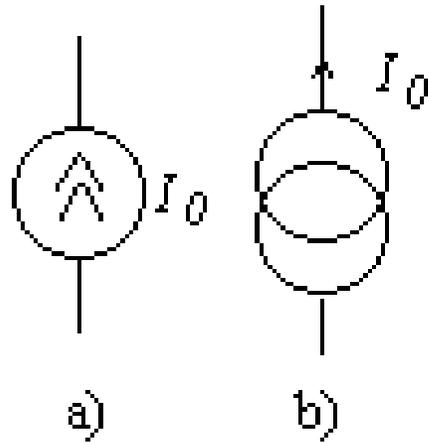
Электрические сигналы получаются путем включения в схему одного или нескольких источников сигналов. Источники подразделяются на:

1. Источники напряжения
2. Источники тока

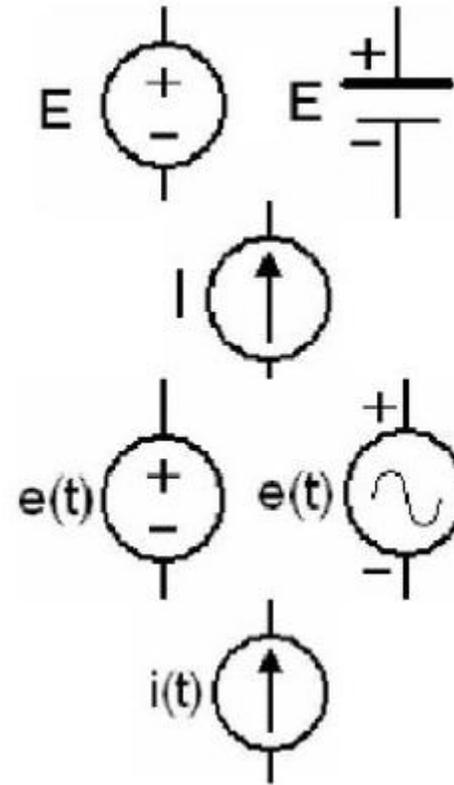
В свою очередь они могут быть: - идеальный;
- реальный.



Источники напряжения



Источники тока



Идеальные источники - это составные части схем, используемых при их математическом моделировании. В практических сборках их нет. Идеальные источники напряжения - это элементы схемы, напряжение на выводах которых не зависит от протекающего через них тока. Идеальные источники тока - это те, в которых ток, протекающий через них, не зависит от напряжения на клеммах.

- **Характеристики и параметры электронных компонентов**
 - В исследовании пассивных электронных схем участвуют:
 - Импеданс (по с.а.) или сопротивление (по с.с.) - соотношение напряжение / ток;
 - Адмитанс (по с.а.) или проводимость (по с.с.) - соотношение ток / напряжение.
В случае их представления в плоскостях $U-I$ и $I-I$ в линейном виде элементы называются линейными. Практически таких элементов не существует.
- **Электрические характеристики: графическое представление зависимости различных электрических величин. Может быть:**
 - Теоретические характеристики: приближает работу компонента или схемы;
 - Экспериментальные характеристики: графическое представление экспериментальных результатов.
- Как правило, работа компонента зависит от одной или нескольких электрических или неэлектрических переменных. Эта зависимость одного размера от другого приводит к целому ряду характеристик. Есть несколько режимов и категорий функций:
 - Статические или постоянные характеристики и параметры;
 - Характеристики и параметры переменного тока;
 - Характеристики и параметры переходного режима;
 - Характеристики и параметры воздействия окружающей среды;
 - Характеристики и параметры рассеиваемой мощности.

- **Закон Ома на участке цепи**

Для участка схемы сила тока пропорциональна напряжению, приложенному к этой части, и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению участка схемы

$$I = U/R$$

- **Закон Ома на всей цепи**

Для простой электрической схемы, состоящей из генератора с электродвижущим напряжением E и внутренним сопротивлением r , который питает потребителя электроэнергии R , мы можем записать:

$$E = U + u$$

Применяя закон Ома к каждой части схемы: $U = RI$ и $u = rI$ и после замен получаем :

$$E = I(R + r)$$

Сила электрического тока в замкнутой электрической цепи прямо пропорциональна электродвижущему напряжению E источника и обратно пропорциональна общему электрическому сопротивлению цепи.

Напряжение на выводах источника в замкнутой цепи равно:

$$U = E - rI$$

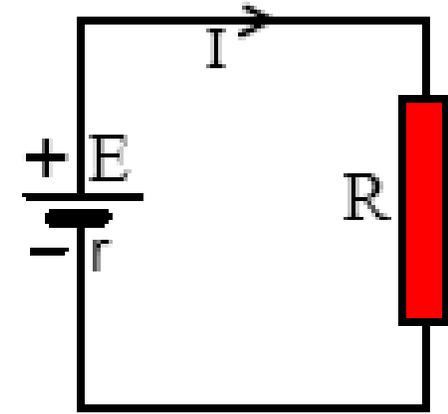
Для разомкнутой цепи электрический ток равен нулю, поэтому:

$$U = E$$

При коротком замыкании внешнее сопротивление становится равным нулю, а ток равен:

$$I_{sc} = E$$

Ток короткого замыкания - это максимальный ток, который может обеспечить электрический генератор.



• **Законы Кирхгофа**

В современной технике используются более сложные электрические цепи с множеством ответвлений, называемые электрическими сетями, которые имеют следующие элементы:

- **Узел** - представляет точки в сети, где встречаются не менее трех электрических токов;
- **Ветви сети** - это участки электрической сети между двумя последовательными узлами;
- **Контур** - представляет собой замкнутые многоугольные контуры, образованные последовательностью резисторов и источников.

- **Первый закон Кирхгофа** является выражением сохранения электрического заряда в узле электрической сети. Очевидно, что полный электрический заряд, поступающий в сетевой узел, должен быть равен электрическому заряду, выходящему из этого узла:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

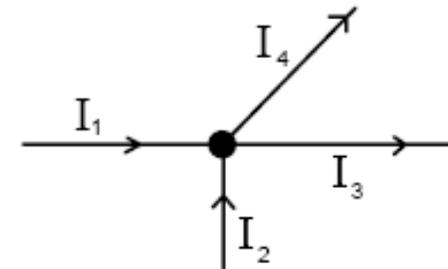
Движение электрических зарядов, происходящее одновременно, можно записать:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$
$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

или же

Алгебраическая сумма интенсивностей электрических токов, которые встречаются в узле сети, равна нулю.

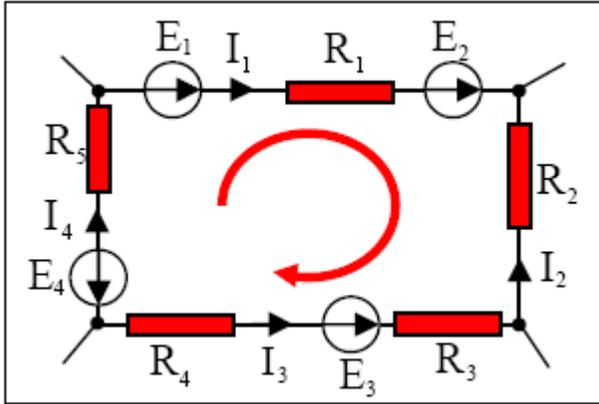
$$\sum I_k = 0$$



• Второй закон Кирхгофа

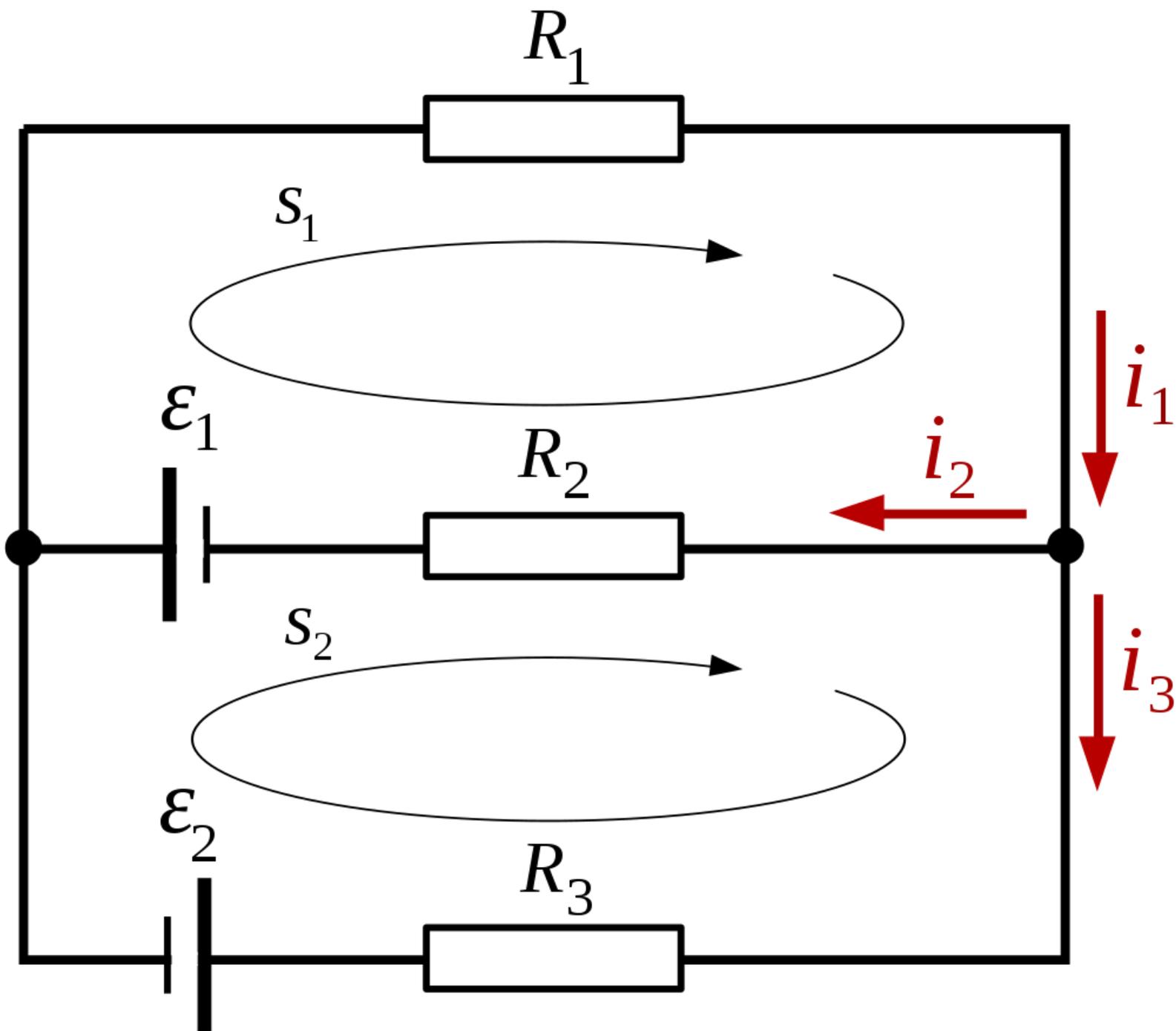
- Алгебраическая сумма электродвижущих напряжений в сети питания равна алгебраической сумме падений напряжения на резисторах в этой сети.

$$\sum E_k = \sum R_k I_k$$



- Для того, чтобы записать уравнение, выбирается опорное направление и напряжение, которые имеют такое же значение, в качестве опорного направления считается положительным, а также для текущих интенсивностей :

$$E_1 + E_2 - E_3 - E_4 = R_1 I_1 - R_2 I_2 - R_3 I_3 - R_4 I_4 + R_5 I_5$$



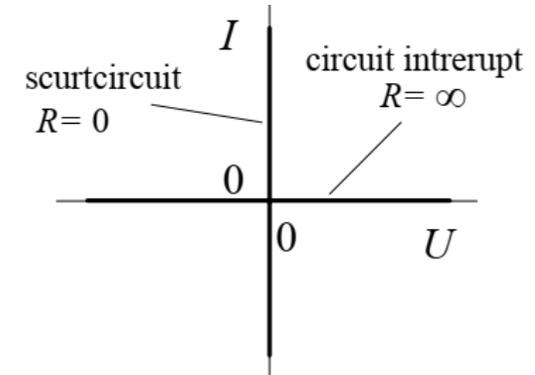
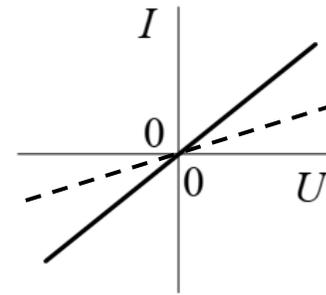
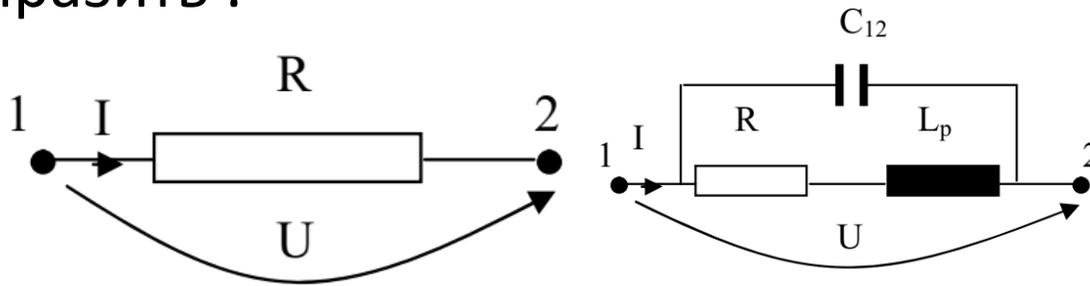
$$E_1 = i_1 * R_1 + i_2 * R_2$$

$$-E_1 - E_2 = -i_2 * R_2 + i_3 * R_3$$

РЕЗИСТОРЫ

- Резистор - это самый распространенный компонент в электрических цепях. Основным параметром резисторов является электрическое сопротивление, а единицей измерения в международной системе является ом (Ω).
- Электрическое сопротивление - это явление, препятствующее прохождению электрического тока через проводник.
- Величина, с помощью которой можно измерить явление электрического сопротивления в проводящем материале, называется удельным сопротивлением (ρ) и измеряется в Ω/m .
- Для проводника длиной l и площадью сечения S электрическое сопротивление можно выразить :

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



- Идеальный резистор характеризуется одним параметром - электрическим сопротивлением.

- Ниже действительны для идеального электрического сопротивления:

1. Закон Ома:

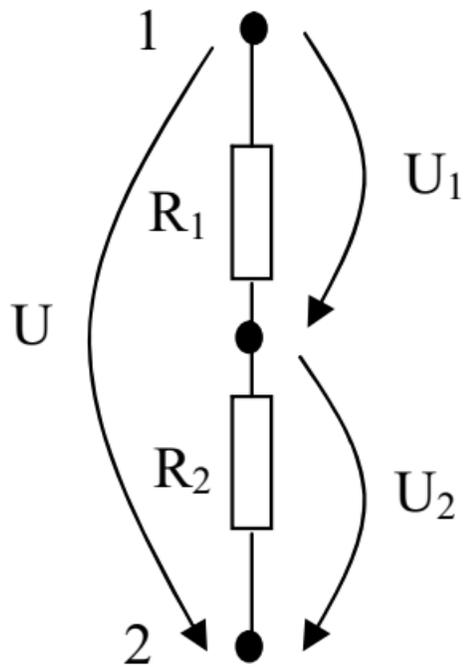
Электрическое сопротивление - это соотношение между электрическим напряжением, подаваемым на выводы резистора, и силой тока, определяемой резистором.

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

- ### 2. Когда электрический ток проходит через резистор, рассеиваемая электрическая мощность преобразуется в тепловую энергию за счет эффекта Джоуля:

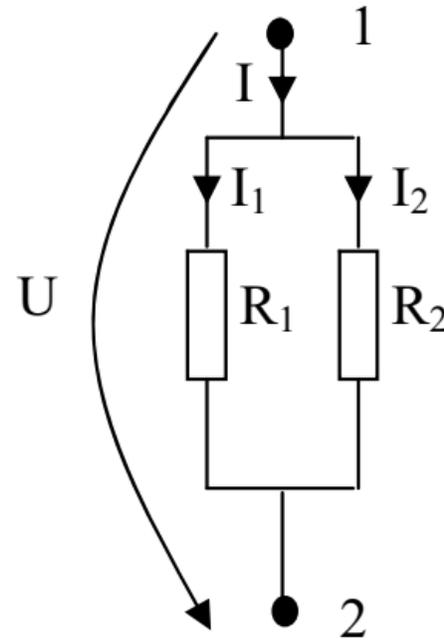
$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

Рассеиваемая мощность вызывает нагрев резистора. Этот нагрев приводит к установлению температуры теплового равновесия, зависящей от рассеиваемой мощности и температуры окружающей среды. Если температура теплового равновесия превышает максимально допустимую температуру, предписанную для соответствующего резистора, его свойства изменяются.



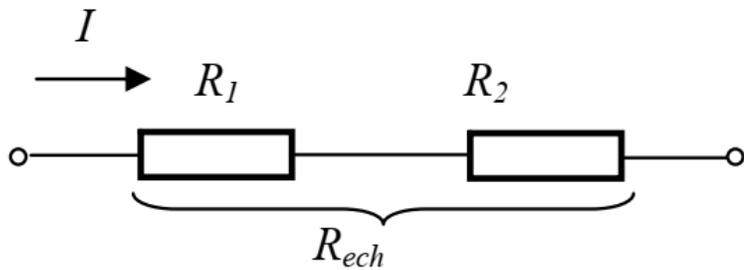
$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Делитель напряжения



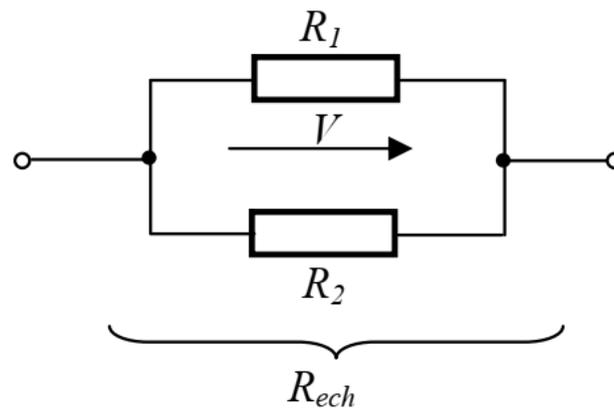
$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Делитель тока



$$R_{ech} = R_1 + R_2$$

Соединяя последовательно, мы получаем эквивалентное сопротивление выше, чем у любого из компонентных резисторов.



$$R_{ech} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

При параллельном подключении получается эквивалентное сопротивление ниже, чем у любого из резисторов компонента.

Классификация резисторов

1. По размеру тока он поддерживает:

- Резисторы на слабые токи;
- Резисторы для сильных токов.

2. С конструктивной точки зрения:

- Фиксированные резисторы;
- Переменные резисторы :
 - Регулируемый;
 - Потенциометр.

3. С точки зрения назначения:

- Резисторы общего назначения;
- Профессиональные резисторы.

4. В зависимости от формы характеристик:

- Линейные;
- Нелинейные.
 - Термисторы (сопротивление зависит от температуры);
 - Варисторы (переменное сопротивление по напряжению);
 - Фоторезисторы (переменное сопротивление от освещенности).

5. В зависимости от используемого резистивного элемента:

- Для слабых токов :
 - Плёночные;
 - Объемные.
- Для сильных токов :
 - Резисторы с проволоочной обмоткой;
 - Резисторы из листового металла;
 - Резисторы спиральные из металлических полос.

6. По возможности подключения в схему :

- С осевыми выводами;
- С радиальными выводами;
- Гибридные интегральные схемы;
- Области резисторов.

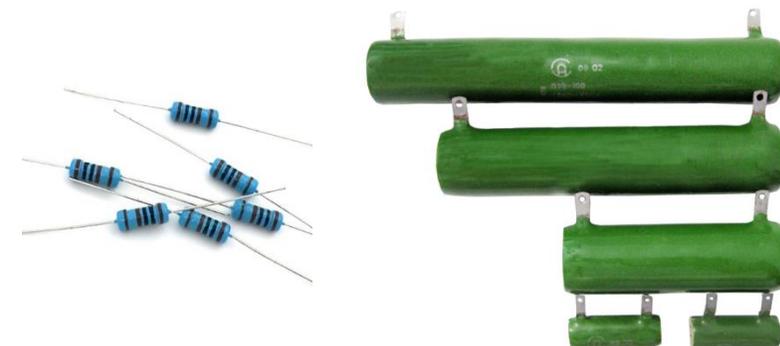
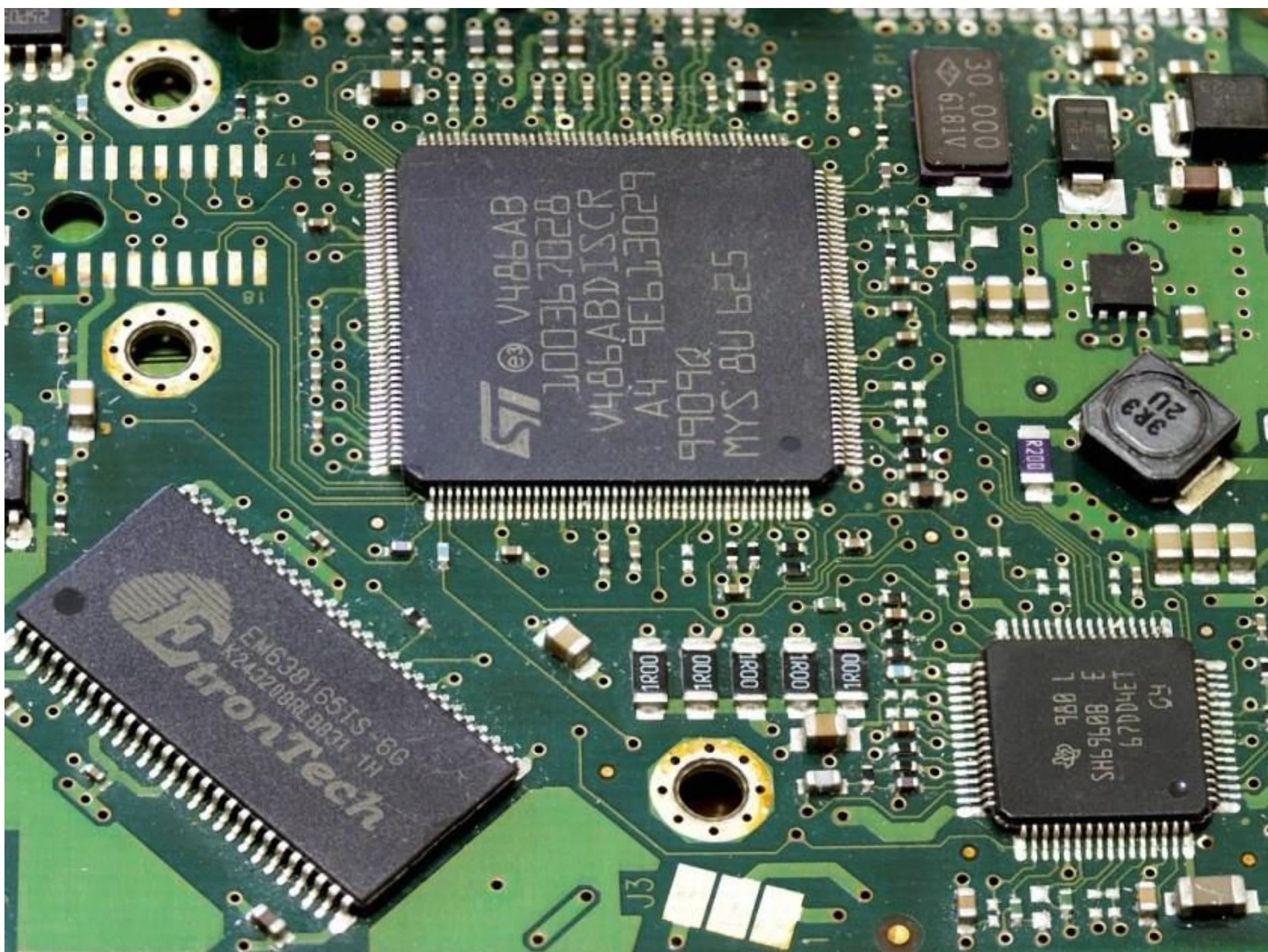
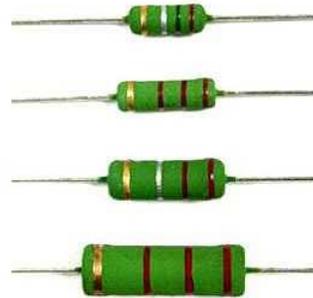


Рис.1. Внешний вид некоторых постоянных резисторов импортного и отечественного производства, обозначения на принципиальной схеме: а - отечественные МЛТ; б - стечественные, устаревшие; в - с цветной маркировкой; г - ЧИП-резисторы; д - мощные, проволоочные.





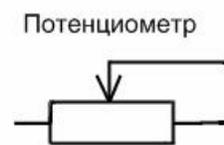
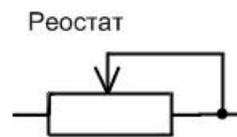
постоянный

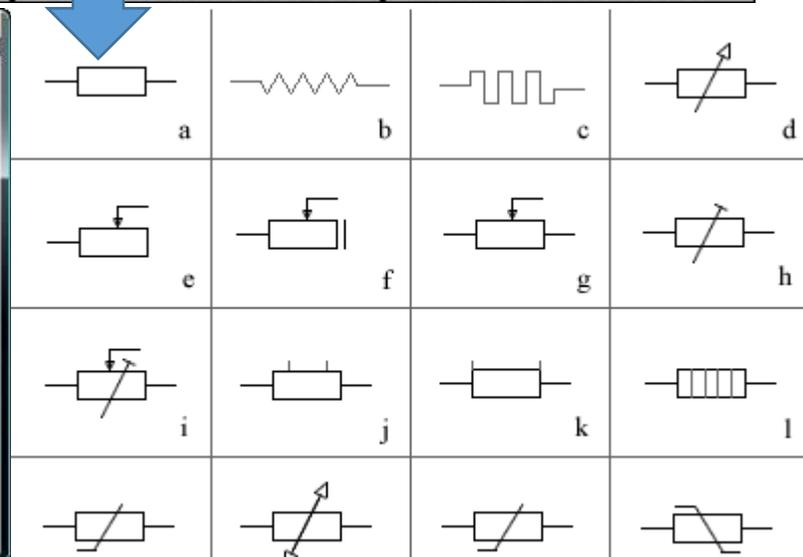
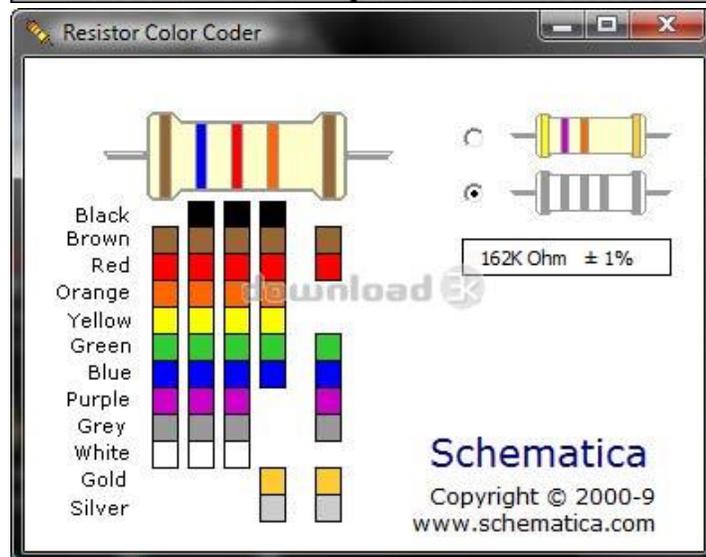
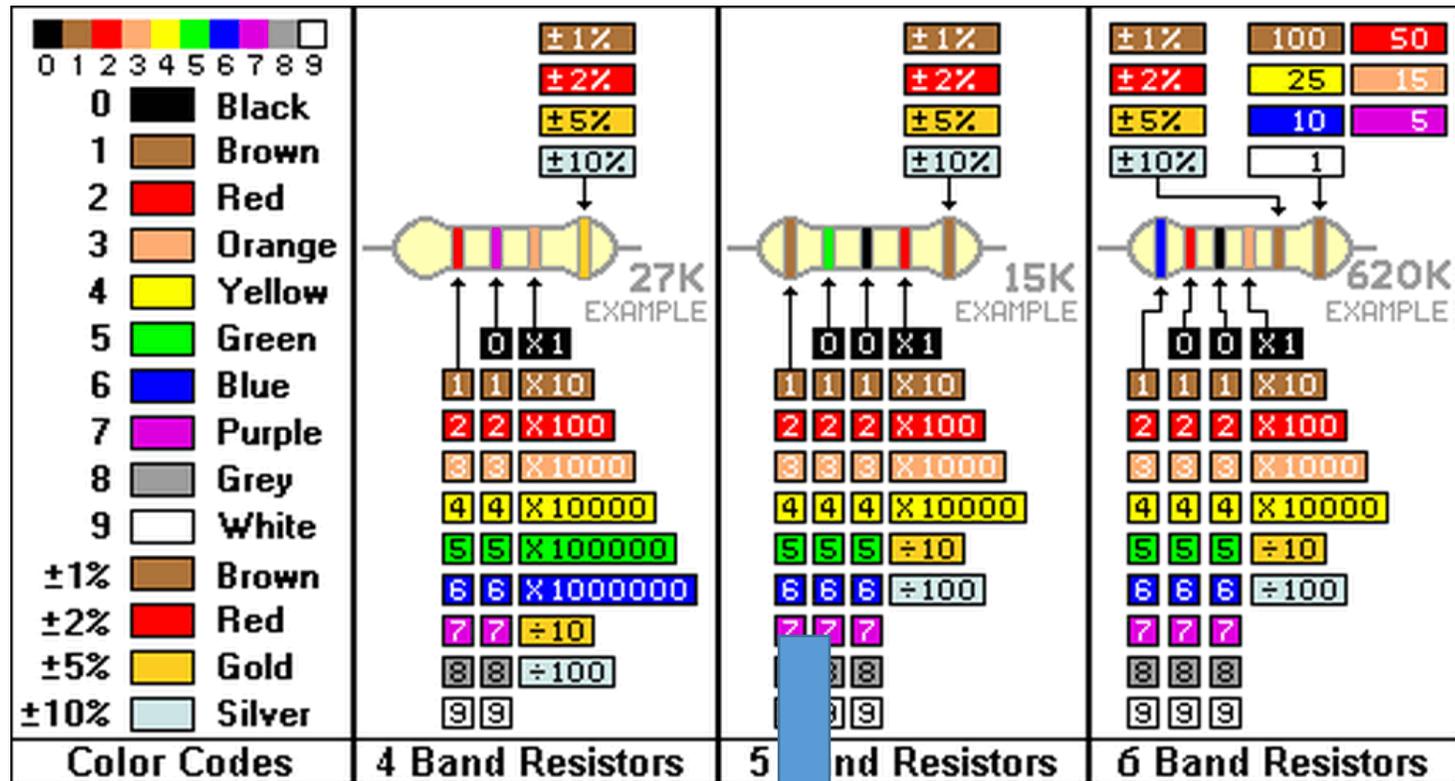
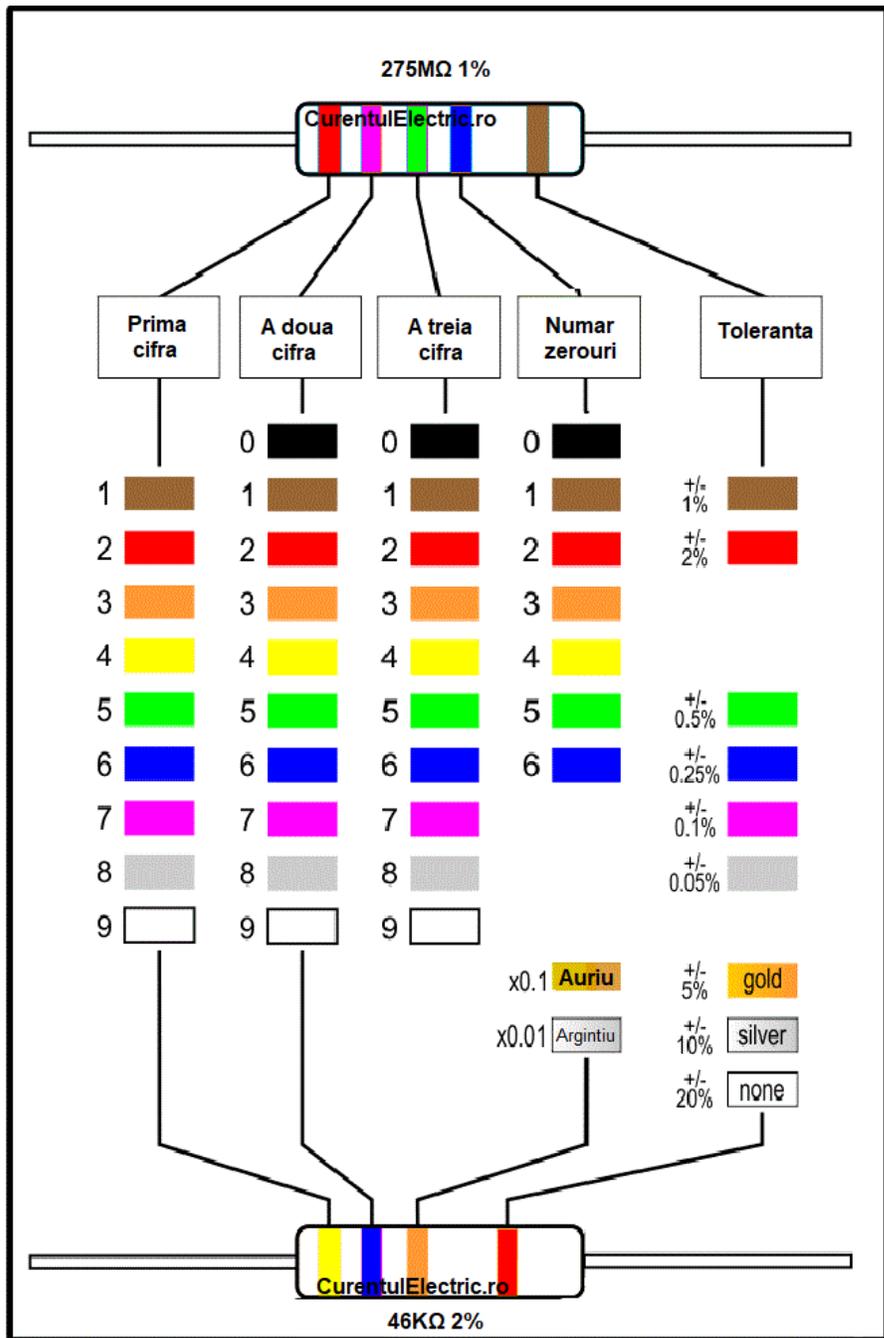


переменный резистор



Переменные резисторы





Их нужно искать в специализированных каталогах.:

- Номинальное сопротивление, R_N , значение сопротивления, записанное на резисторе
- Диапазон значений, представляющий собой набор номинальных значений, доступных или достижимых для определенного типа
- Допуск, выражает в процентах максимально допустимое отклонение реального значения от номинального (указано на корпусе резистора):

$$t = \pm \max \left| \frac{R - R_n}{R} \right| * 100[\%]$$

- Номинальная рассеиваемая мощность, $P_n [W]$, мощность, которую резистор может развивать во время работы при температуре окружающей среды без изменения своих свойств.
- Номинальное предельное напряжение, $U_{nlim} [V]$, Напряжение постоянного тока или фактическое значение напряжения переменного тока, приложенного к клеммам резистора:

$$U_{nlim} = \sqrt{P_n R_N}$$

- Критическое сопротивление, максимальное значение сопротивления, к которому может применяться номинальное предельное напряжение. Температурный коэффициент сопротивления, соотношение между фактическим изменением сопротивления и изменением температуры, которое определило эту разницу:

$$\alpha_R = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\Delta T} [^{\circ}K^{-1}]$$

- Коэффициент изменения сопротивления под действием внешнего фактора :

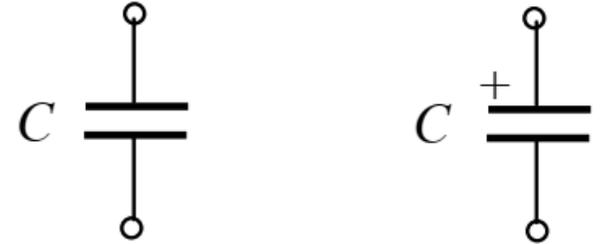
$$K_k = \frac{\Delta R}{R_0} * 100 [\%]$$

Также присутствуют: температура окружающей среды, номинальный диапазон температур, электрическая прочность, сопротивление изоляции, климатическая категория и сопротивление резисторов.

КОНДЕНСАТОРЫ

- Конденсатор представляет собой систему из двух проводников, разделенных диэлектриком. Два проводника называются якорями. Конденсатор характеризуется емкостью (C). Единица измерения емкости - F (Фарад).
- Когда на клеммы конденсатора подается напряжение (разность потенциалов), он накапливает электрический заряд (Q), пропорциональный приложенному напряжению, в соответствии с соотношением :

$$Q = C * U$$



- С энергетической точки зрения конденсатор емкостью C накапливает энергию электрического поля между якорями в соответствии с соотношением :

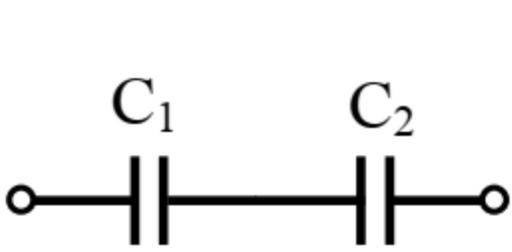
$$W = \frac{1}{2} C U^2 \text{ Joule (J)}$$

Для конденсатора с двумя якорями с поверхностью S , с расстоянием между ними d и диэлектрической проницаемостью ϵ , емкость можно рассчитать по соотношению:

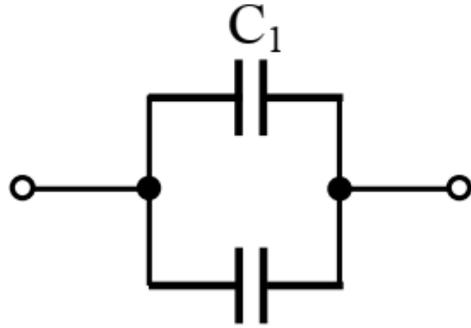
$$C = \frac{\epsilon * S}{d}$$



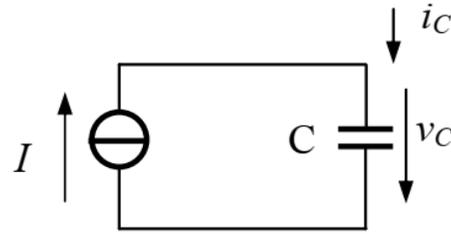
Подключение конденсаторов



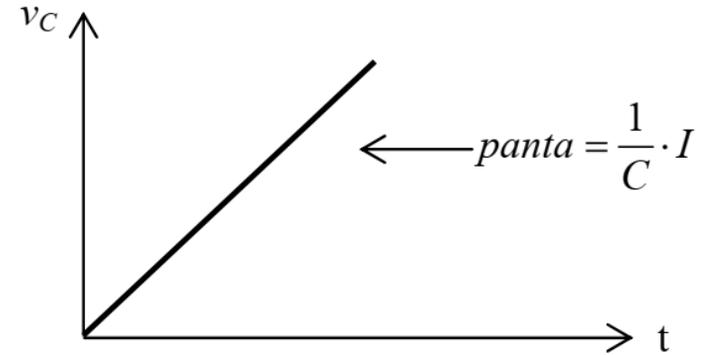
$$C_{ech} = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2}$$



$$C_{ech} = C_1 + C_2$$



a)



b)

В начальный момент конденсатор считается разряженным $u_c(0) = 0V$. Ток через конденсатор постоянен во времени $i_c(t) = I$, так что у нас есть

$$u_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i_c(t) dt \implies u_c(t) = \frac{1}{C} I * t$$

Напряжение на конденсаторе линейно увеличивается. Если схема работает в течение определенного периода времени, напряжение постоянно увеличивается с риском повреждения конденсатора или источника.

Конденсатор и катушка известны как реактивные элементы цепи. Для этих элементов схемы определено реактивное сопротивление X :

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \text{ для конденсатора}$$

Единица измерения реактивного сопротивления такая же, как и у сопротивления $[\Omega]$

$\omega = 2\pi f$ f - частота $f = 1/T$ T - период

Другой термин, используемый в схемах, содержащих реактивные элементы, - это импеданс, который обозначается буквой Z . Импеданс - это общий термин, это «обобщенное сопротивление». Реактивное сопротивление - это мнимая часть импеданса.

$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

Емкостный импеданс $Z_C = R - jX_C$ где $j = \sqrt{-1}$

Для идеального конденсатора и катушки ($R = 0$) импедансы являются комплексными числами:

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

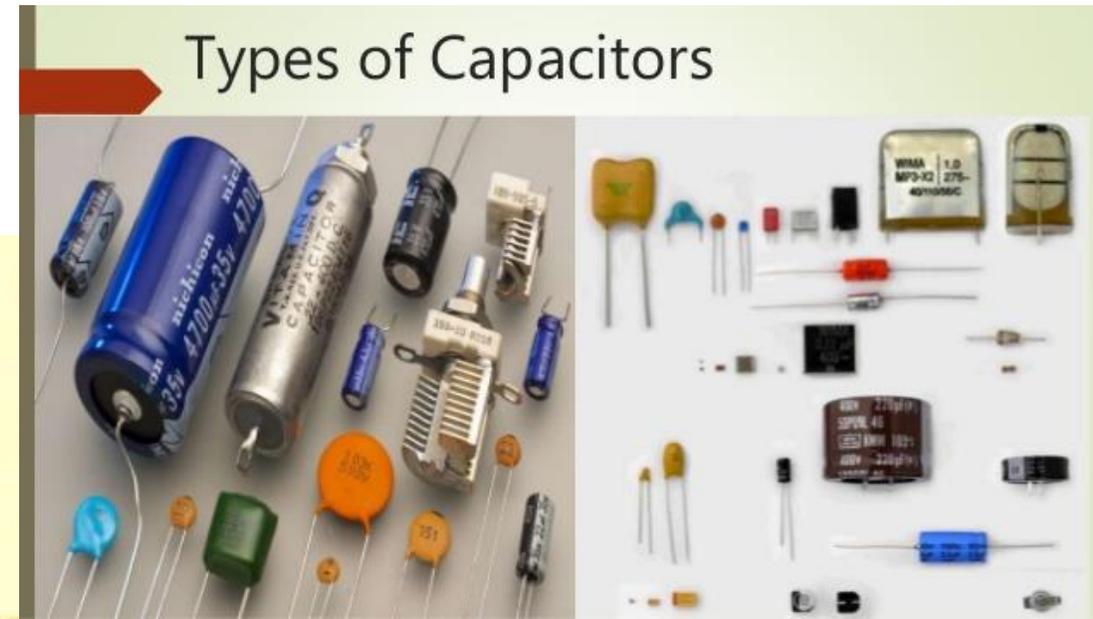
Реактивное сопротивление конденсатора (катушки) уменьшается (увеличивается) с увеличением частоты f . Таким образом, при постоянном токе ($f = 0$ Гц) конденсатор эквивалентен прерыванию ($X_C \rightarrow \infty$)

Конденсаторы можно классифицировать :

- В зависимости от типа диэлектрика, используемого в конденсаторах :
 - с слюдой,
 - с бумагой;
 - с пластиковыми пленками;
 - электролитические.
- Существует еще один тип конденсаторов, керамический, который изготавливается из керамических материалов со спонтанной или временной поляризацией.
- С конструктивной точки зрения :
 - фиксированные;
 - переменные;
 - полурегулируемые;
 - проходимые.



Types of Capacitors by EEEPROJECT.COM



Types of Capacitors

Основные электрические характеристики конденсаторов:

- Номинальная мощность (C_n) и его толерантность, указано на определенной частоте (50, 800 или 1000 Hz);
- Номинальное напряжение (U_n) который представляет собой максимальное значение постоянного или эффективного напряжения, которое не вызывает поломки конденсатора при длительной работе;
- Сопротивление изоляции (R_{iz}), которая представляет собой величину отношения напряжения постоянного тока одной минуты после того, как напряжение подается;
- Тангенс угла потерь, который представляет собой соотношение между активной и реактивной мощностью, измеренное на той же частоте, на которой была измерена номинальная мощность;
- Толерантность - это максимальное относительное отклонение емкости от номинального значения. Как и в случае резисторов, номинальные значения включены в серию значений в зависимости от толерантность конденсатора. Для больших емкостей (электролитические конденсаторы) возможно изготовление вне серии. В конденсаторах этого типа толерантности, как правило, асимметричны. Пр. $-20\% \dots +80\%$;
- Коэффициент вариации с температурой [K^{-1}]

$$\alpha = \frac{1}{C} * \frac{dC}{dT}$$

- Минимальная емкость (C_{min});
- Закон изменения емкости, задаваемый функцией: $C = f(C_{min}, C_{max}, \phi)$, где ϕ - угол поворота, переменный от 0 до ϕ_{max} .

Катушки

- Катушка - это элемент схемы, основным параметром которого является электрическая индуктивность $[L]$. В Международной системе он измеряется в Генри $[H]$..
- Катушка - это элемент, в котором ток, протекающий через компонент, и напряжение на его выводах соответствуют соотношению :

$$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

- Катушка переменного тока характеризуется индуктивным сопротивлением (X_L), определяемым соотношением :

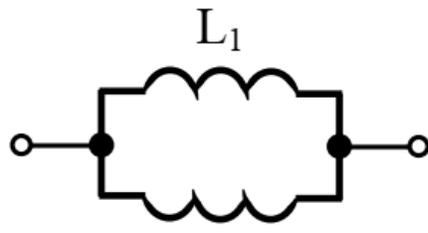
$$X_L = \omega L$$

- Скорость изменения тока определяет напряжение на его выводах, соотношение между напряжением и током равно:

$$u = L \frac{di}{dt}$$



$$L_{ech} = L_1 + L_2$$



$$L_{ech} = \frac{L_1 * L_2}{L_1 + L_2}$$

реактивное
сопротивление
 $X_L = \omega L$

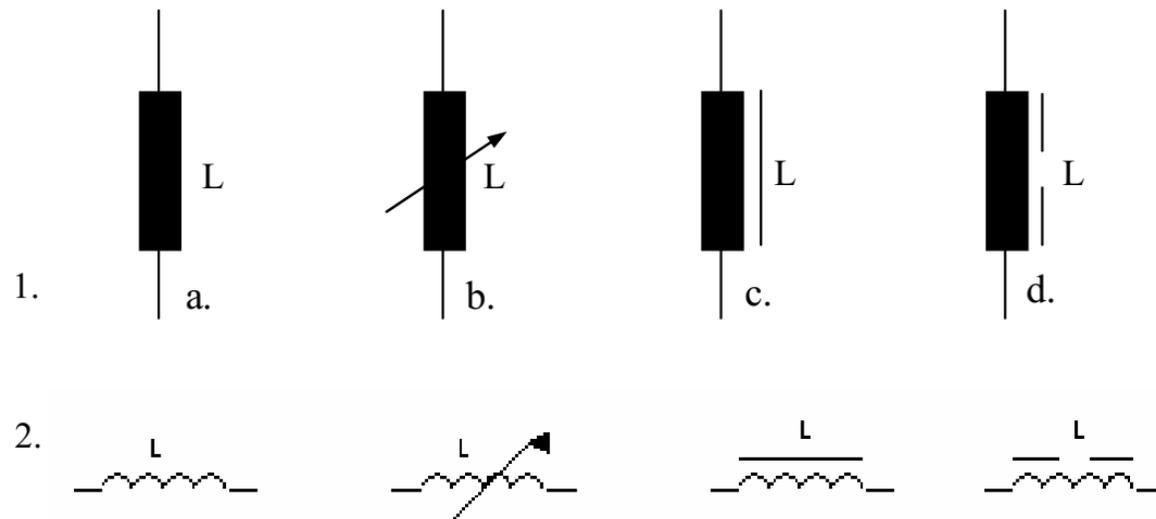
Индуктивный импеданс
 $Z_L = R + jX_L$ где $j = \sqrt{-1}$

Для идеальной катушки $R = 0$

Реактивное сопротивление катушки увеличивается с увеличением частоты f , таким образом, при постоянном токе катушка эквивалентна короткому замыканию.

Катушки классифицируются следующим образом:

- Фиксированные катушки (постоянная индуктивность во время работы), Если они без сердечника, то они сделаны для малых индуктивностей.
- Переменные катушки (путем размещения магнитного сердечника).
- Фиксированные катушки с магнитным сердечником. Магнитные сердечники катушек могут иметь разную форму (стержень, горшок и другие замкнутые формы).



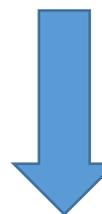
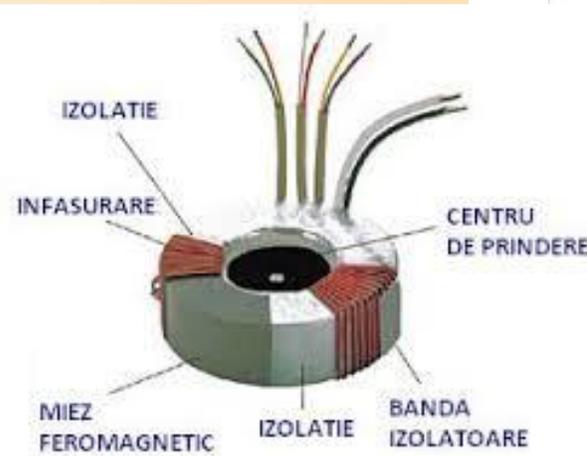
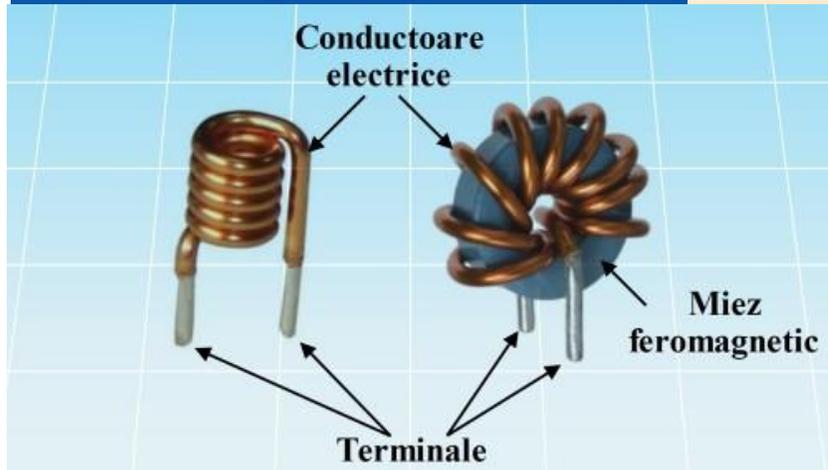
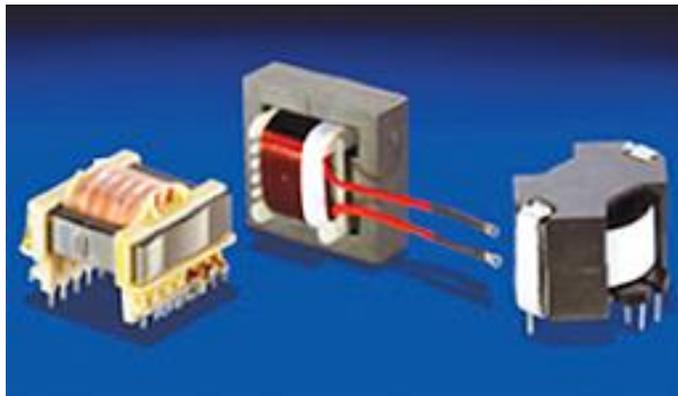
Индуктивность катушки может иметь несколько интерпретаций. :

- Свойство цепи противодействовать изменению электрического тока, протекающего через нее. Таким образом, индуктивность катушки - это коэффициент пропорциональности между магнитным потоком и электрическим током:

$$L = \frac{\Phi(t)}{i(t)} \quad \rightarrow \quad H = \frac{Wb}{A}$$

- Свойство катушки накапливать магнитную энергию. При подключении катушки к источнику электрического тока появляется электродвижущее напряжение, которое препятствует увеличению тока через катушку. Это делается не полностью, поэтому требуется дополнительная энергия, чтобы преодолеть сопротивление катушки, выраженного в отношении:

$$W_L = \frac{LI^2}{2}$$



ИНДУКТИВНОСТИ

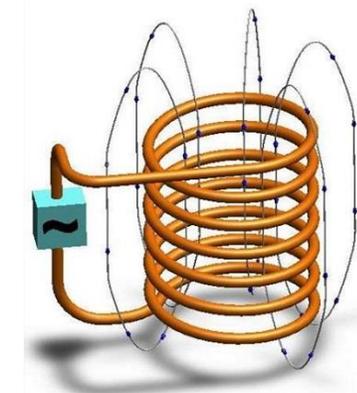


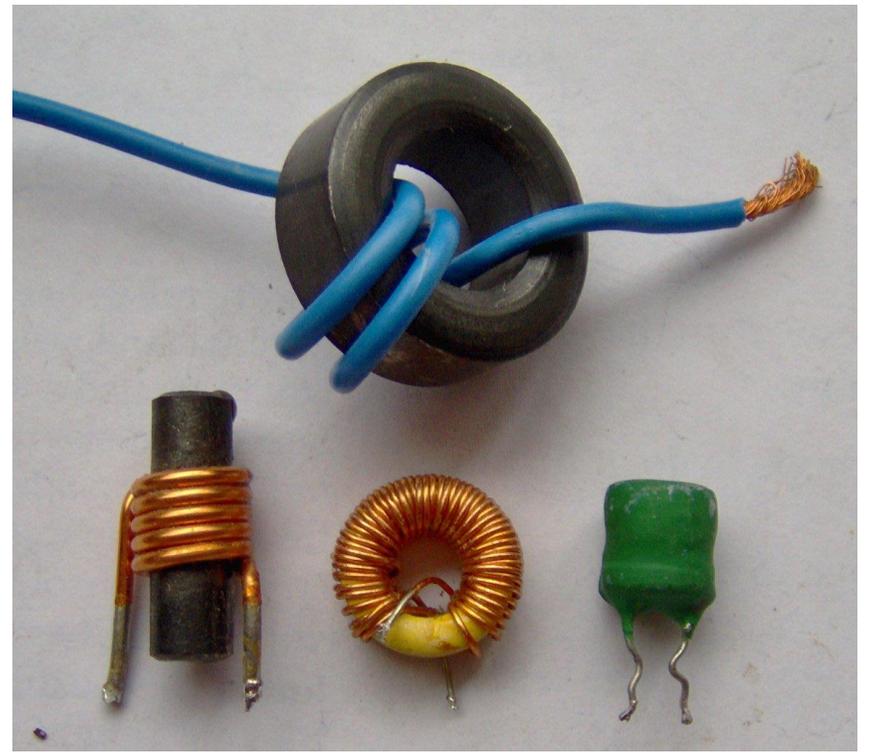
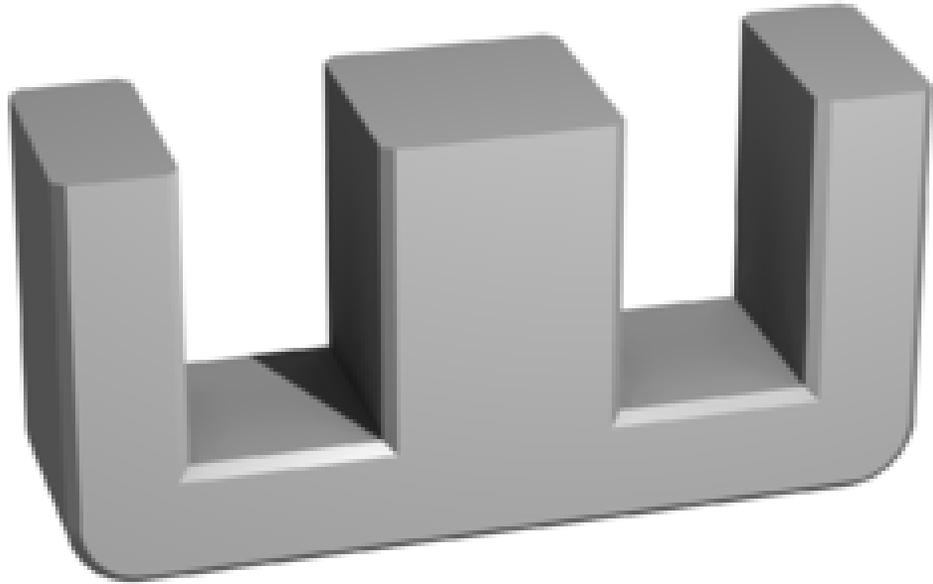
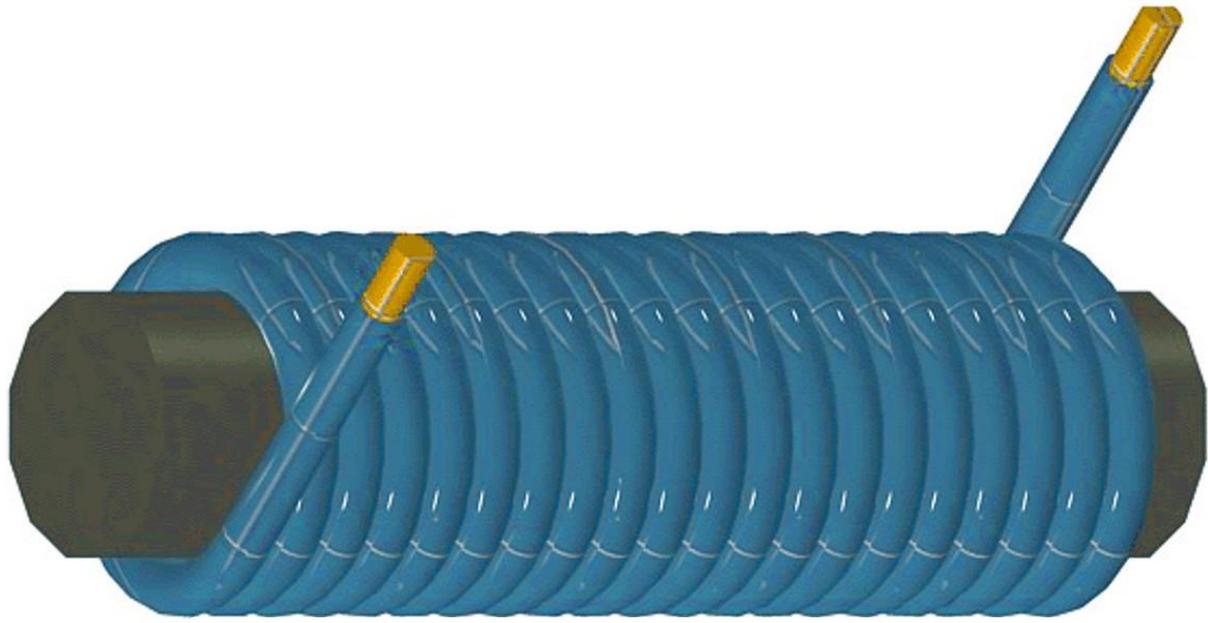
Edgewise Wire Inductor



litone
Li Tone Electronics Co Ltd

litone
Li Tone Electronics Co Ltd





Для катушек основные характеристики указаны в каталоге:

- Индуктивность (L)
- Собственное сопротивление (R_L);
- Добротность (Q_L) или тангенс угла потерь ($\operatorname{tg}\delta$), представляет собой соотношение между активной мощностью, рассеиваемой в катушке, и реактивной мощностью;
- Паразитная емкость катушки;
- Температурный коэффициент характеризует относительное изменение индуктивности под действием температуры;
- Максимальная мощность, напряжение и ток позволяют избежать необратимых преобразований в катушке;
- Диапазон регулировки индуктивности.