

Лекция №1.

«Электроника и микроэлектроника»

Старший преподаватель кафедры «Компьютерные системы и сети» (ИУ6) Аристов Борис Константинович, аудитория 703а.

Литература:

- 1. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника, Москва, «Горячая линия – Телеком», 2002.**
- 2. Валенко В.С. Полупроводниковые приборы и основы схемотехники электронных устройств. Москва, издательский дом «Додека-XXI» 2001.**
- 3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. Москва, «Высшая школа» 1982.**
- 4. Ровдо А.А. Полупроводниковые диоды и схемы с диодами. Москва, «ЛАЙТ ЛТД», 2000.**

Дополнительная информация по дисциплине «Электроника и микроэлектроника»

<http://electronix.ru>- форум разработчиков электроники,

www.kazus.ru – электронный портал,

www.ni.com – сайт фирмы National Instruments, разработчик Multisim (Electronics Workbench),

www.spectrum-soft.com – сайт фирмы Spectrum Software, разработчик Micro-Cap.

Электроника

ЭЛЕКТРОНИКА, наука о взаимодействии заряженных частиц (электронов, ионов) с электромагнитными полями и о методах создания электронных приборов и устройств (вакуумных, газоразрядных, полупроводниковых, органических), используемых в основном для передачи, обработки, отображения и хранения информации. Возникла в начале 20 в. Первоначально развивалась главным образом вакуумная электроника, на ее основе были созданы электровакуумные приборы. С нач. 50-х гг. интенсивно развивается твердотельная электроника (прежде всего полупроводниковая); с нач. 60-х гг. одно из наиболее перспективных ее направлений - микроэлектроника. После создания квантового генератора началось развитие квантовой электроники. Электронные приборы и устройства используются в системах связи, автоматики, в вычислительной технике, измерительной технике и т. д.

Классификация электронных устройств

- 1. Аналоговые электронные устройства.**
- 2. Дискретные электронные устройства.**
- 3. Смешанные электронные устройства.**

Этапы развития электроники

1895г. Передача информации без проводов.

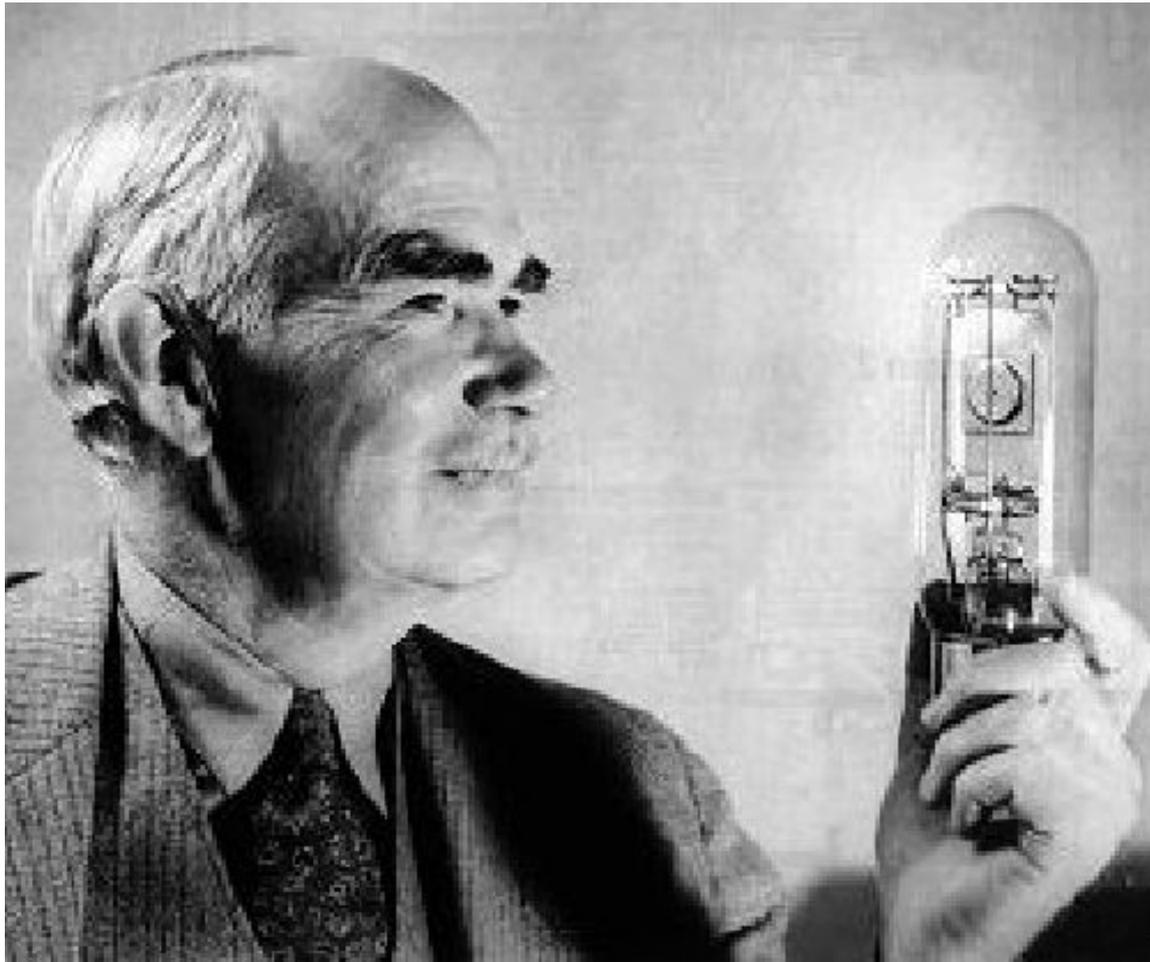
1906 г. Вакуумный триод.

1947г. Транзистор.

1958г. Интегральная микросхема.

1997г. INTEL CPU Pentium-II. 7500000 транзисторов. Техпроцесс – 0.35 мкм.

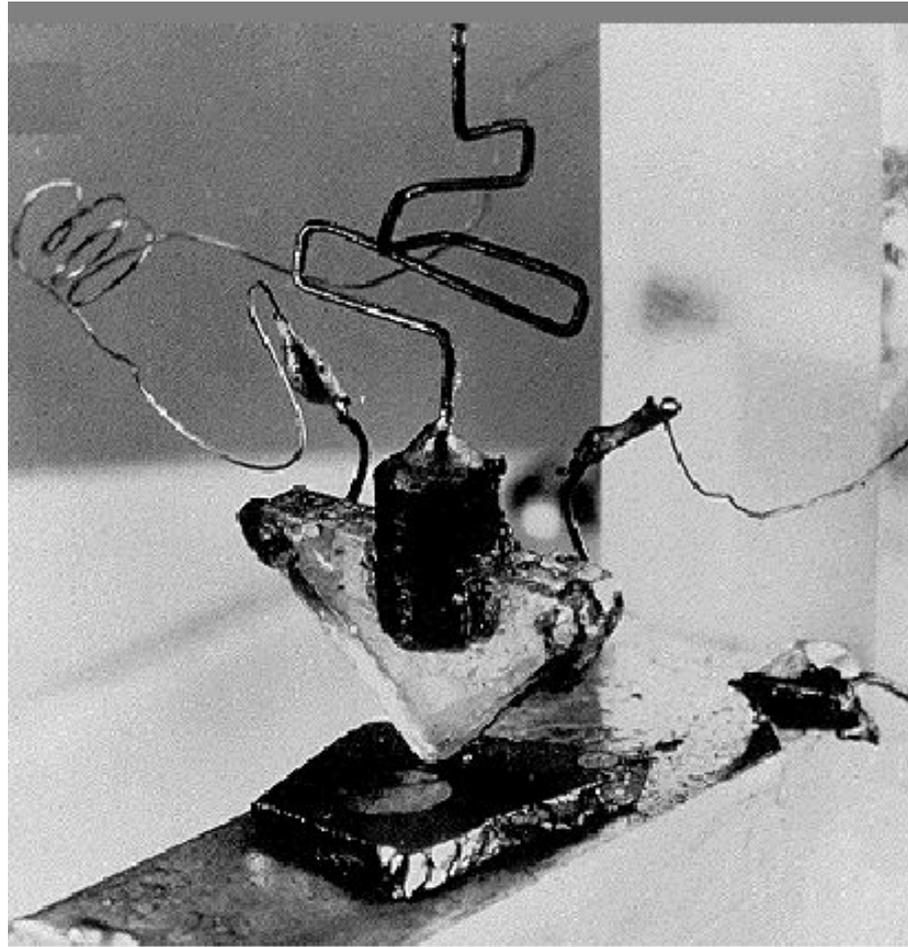
Вакуумные электронные приборы



Вакуумный триод 1906 год.

Lee De Forest

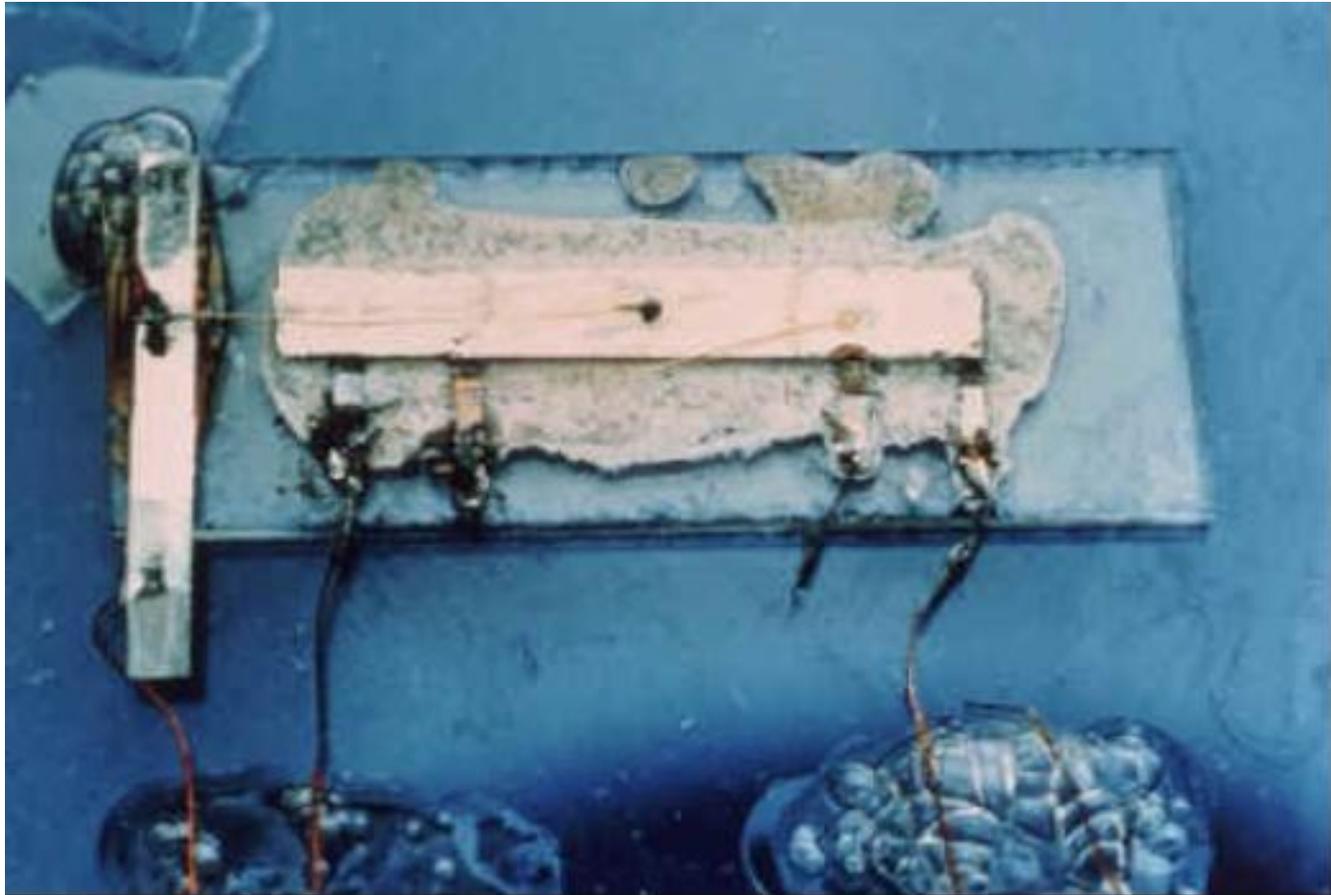
Полупроводниковые приборы



Первый точечный германиевый транзистор 1947г.

John Bardeen and Walter Brattain
Bell Laboratories

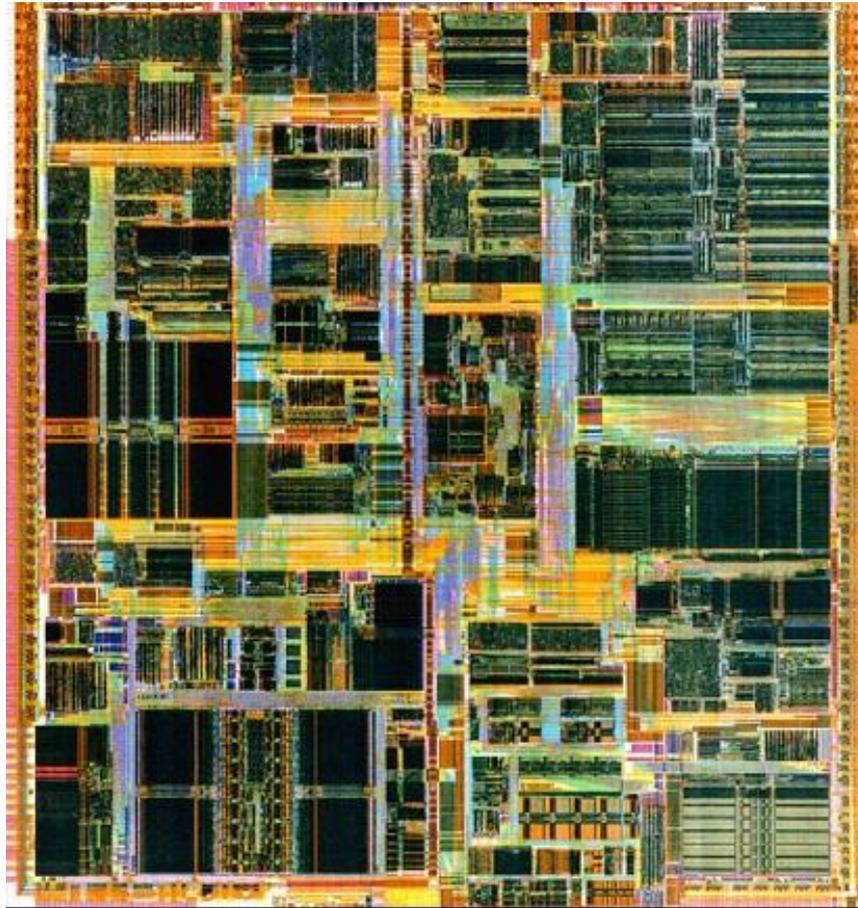
Интегральные микросхемы



**Первая интегральная микросхема (германий)
1958 год**

Jack S. Kilby, Texas Instruments

Intel Pentium II

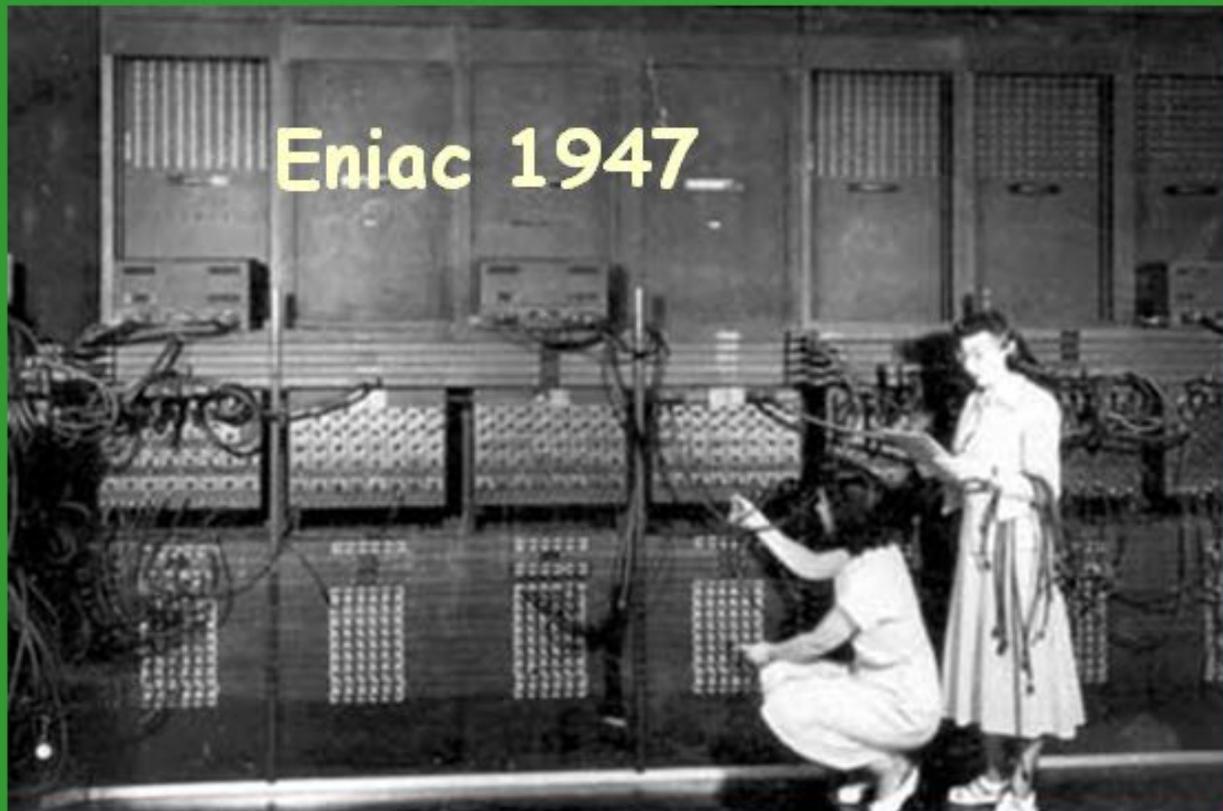


Intel Pentium II, 1997

Частота - 233 МГц. Количество транзисторов -
7.5 миллионов. Техпроцес - 0.35 мкм.

Развитие ЭВМ

ENIAC, the first stored-program electronic computer, 1947. The computer, a small section of which is shown here, contained approximately 18 000 vacuum tubes and required 174 kilowatts of power to operate. The Intel 4004 microprocessor of 1971 could perform essentially the same tasks as ENIAC, but required only a few watts of power.



ЭЦВМ УРАЛ-2



ЭЦВМ Минск-2(22)



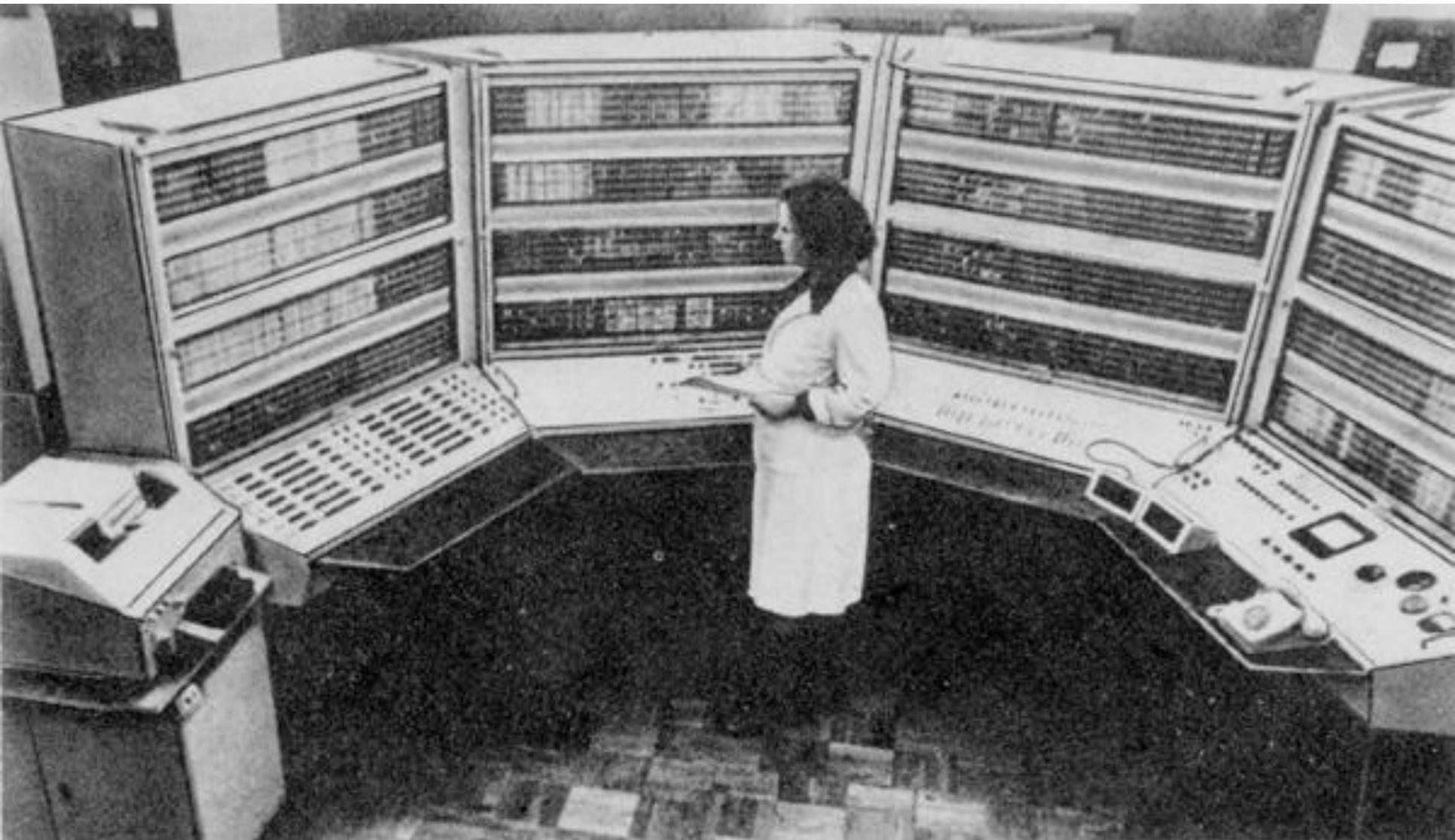
ЭВМ М222



ЭВМ М222



ЭВМ БЭСМ-6



Основные элементы электрических цепей

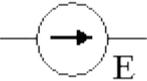
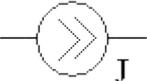
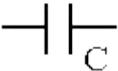
Все элементы можно разделить на две группы:

1. Активные элементы или источники электрической энергии.
2. Пассивные элементы или потребители электрической энергии.

К первой группе относятся источники тока и напряжения.

Ко второй группе относятся активные и реактивные потребители.

Графические изображения элементов и их основные параметры показаны в таблице.

Элемент	Графическое изображение	Параметр	Ед. измерения	Дополнительные ед. измерения
1	2	3	4	5
Источник ЭДС		ЭДС	Вольт (В)	-
Источник тока		Ток	Ампер (А)	-
Резистивный элемент (резистор)		Сопротивление	Ом (Ом)	1 кОм=10 ³ Ом 1 мОм=10 ⁶ Ом 1 гОм=10 ⁹ Ом
Индуктивный элемент (катушка индуктивности)		Индуктивность	Генри (Гн)	1 мГн=10 ⁻³ Гн 1 мкГн=10 ⁻⁶ Гн
Емкостной элемент (конденсатор)		Емкость	Фарада (Ф)	1 мкФ=10 ⁻⁶ Ф 1 нФ=10 ⁻⁹ Ф 1 пФ=10 ⁻¹² Ф

Приставки СИ

Кратные приставки	Дольные приставки
дека (10^1)	деци (10^{-1})
гекто (10^2)	санци (10^{-2})
кило (10^3)	милли (10^{-3})
мега (10^6)	микро (10^{-6})
гига (10^9)	нано (10^{-9})
тера (10^{12})	пико (10^{-12})
пета (10^{15})	фемто (10^{-15})
экса (10^{18})	атто (10^{-18})
зета (10^{21})	зепто (10^{-21})
иотта (10^{24})	иокто (10^{-24})

Анализ цепей постоянного тока

Закон Ома $U = R * I$

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

U - напряжение (В);

I - ток (А);

R – сопротивление резистора (Ом).

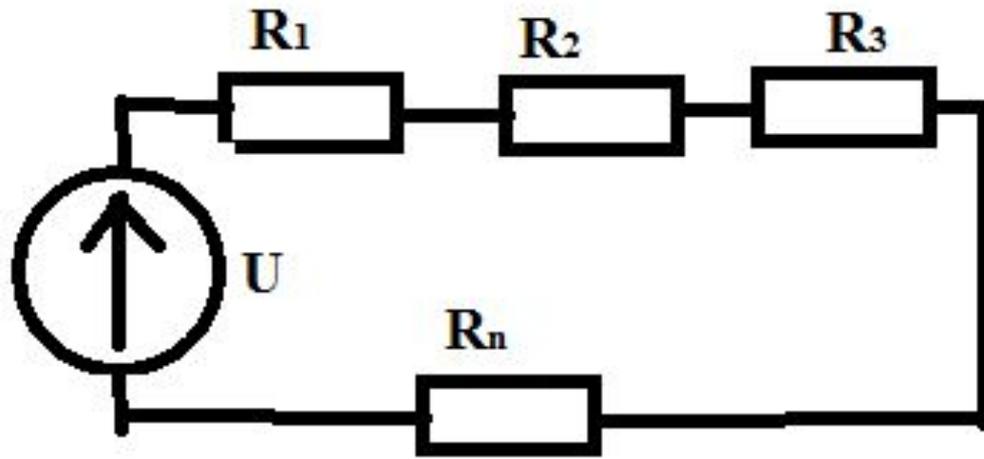
Проводимость $G = \frac{1}{R}$ (См).

Мощность (Вт)

$$P = U * I = I^2 * R = \frac{I^2}{G} = \frac{U^2}{R} = U^2 * G$$

Эквивалентное сопротивление

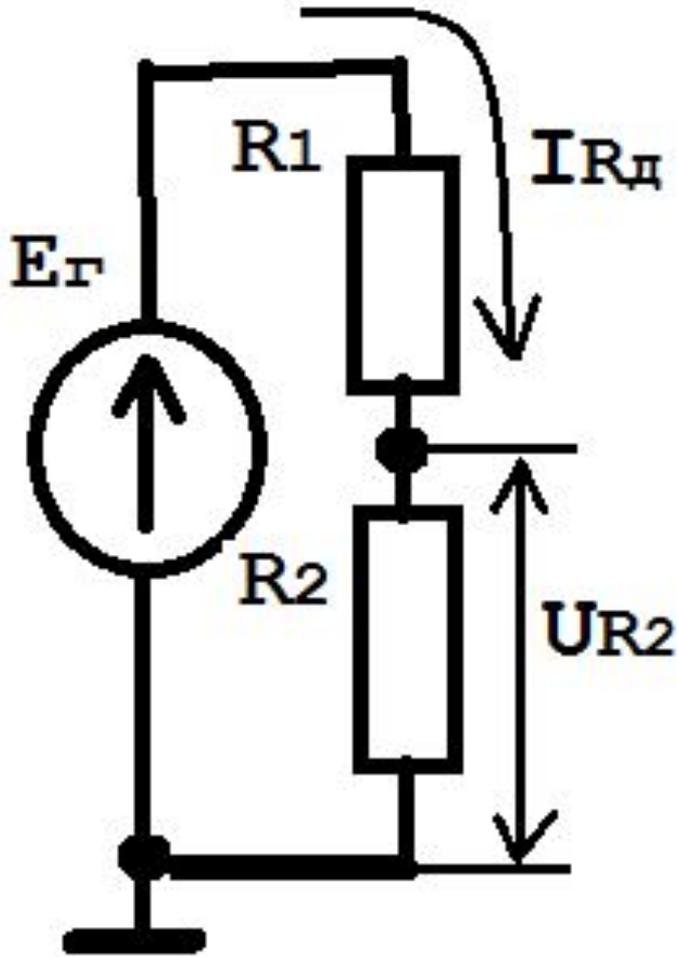
Последовательное соединение компонентов.



$$R_{\text{Э}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

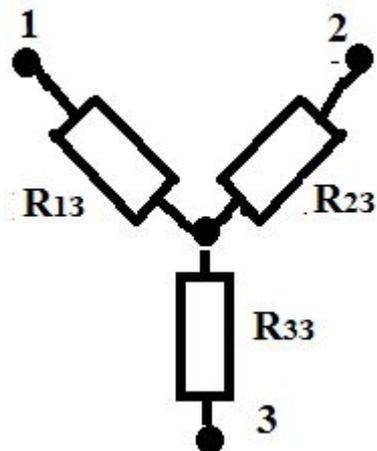
$$R_{\text{Э}} = \sum_{i=1}^n R_i$$

Делитель напряжения



$$I_{R_D} = \frac{E_2}{R_1 + R_2}$$
$$U_{R_2} = R_2 * I_{R_D} =$$
$$= E_2 * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

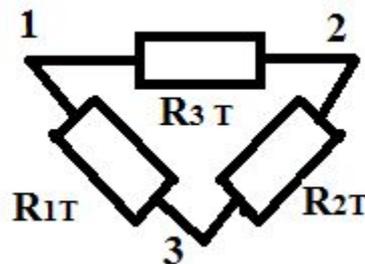
Преобразование звезда – треугольник и треугольник - звезда



$$R_{1T} = \frac{R_{13}R_{23} + R_{13}R_{33} + R_{23}R_{33}}{R_{23}}$$

$$R_{2T} = \frac{R_{13}R_{23} + R_{13}R_{33} + R_{23}R_{33}}{R_{13}}$$

$$R_{3T} = \frac{R_{13}R_{23} + R_{13}R_{33} + R_{23}R_{33}}{R_{33}}$$

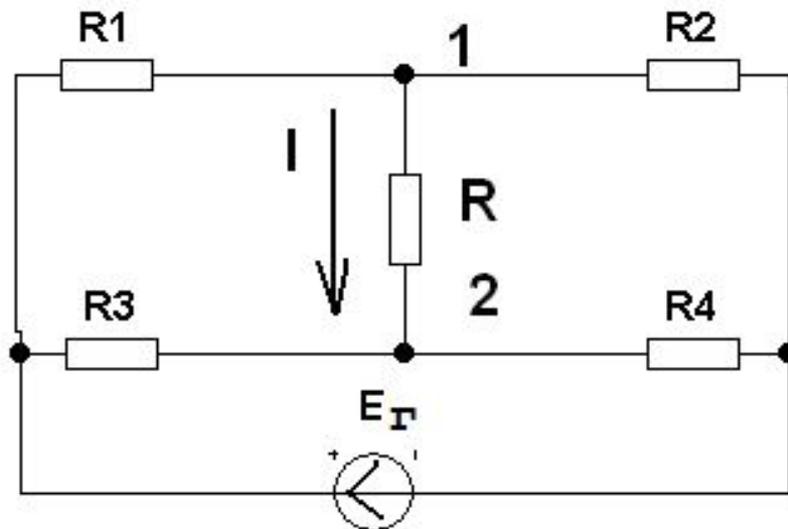
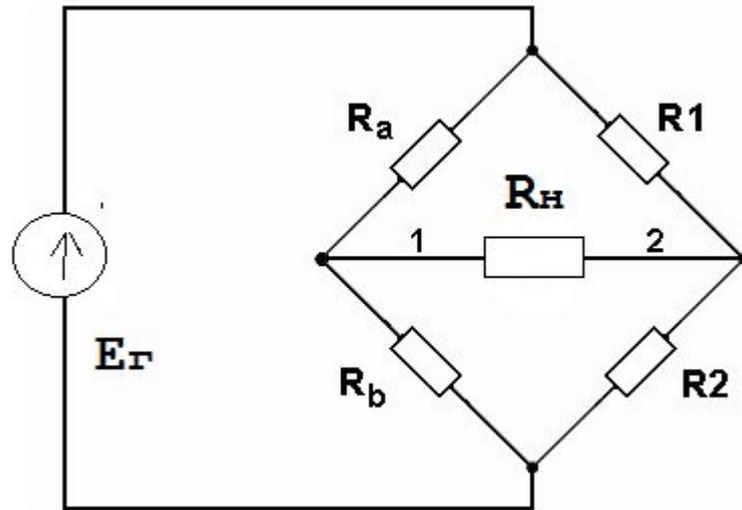


$$R_{13} = \frac{R_{1T}}{R_{1T} + R_{2T} + R_{3T}}$$

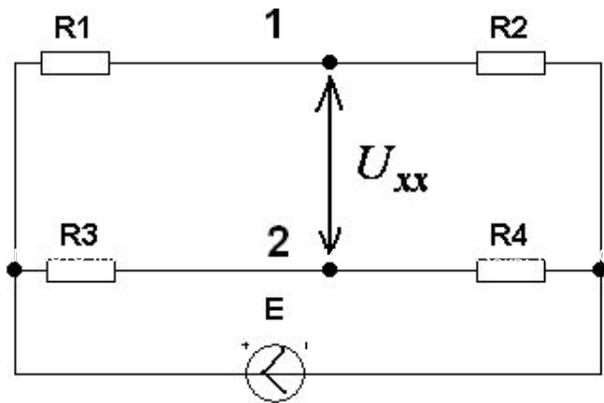
$$R_{23} = \frac{R_{2T}R_{3T}}{R_{1T} + R_{2T} + R_{3T}}$$

$$R_{33} = \frac{R_{2T}R_{1T}}{R_{1T} + R_{2T} + R_{3T}}$$

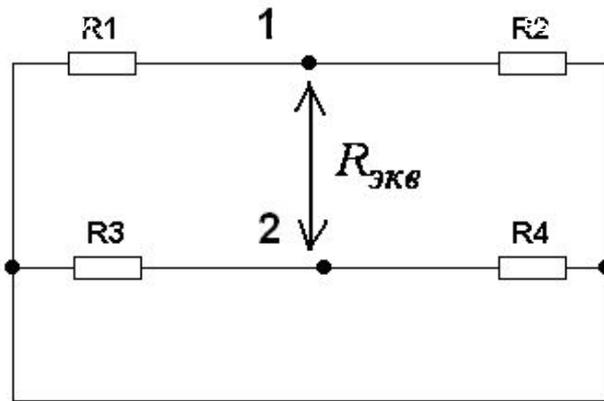
Мостиковая схема



Мостиковая схема

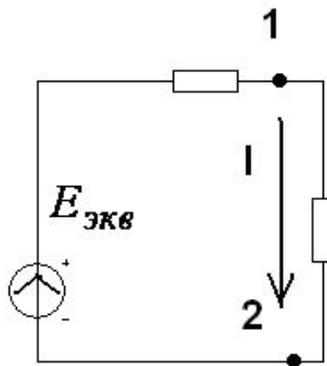


$$I = \frac{E_{\text{экв}}}{R_{\text{экв}} + R}$$



$$U_{xx} = R_3 * I_2 - R_1 * I_1 = E \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

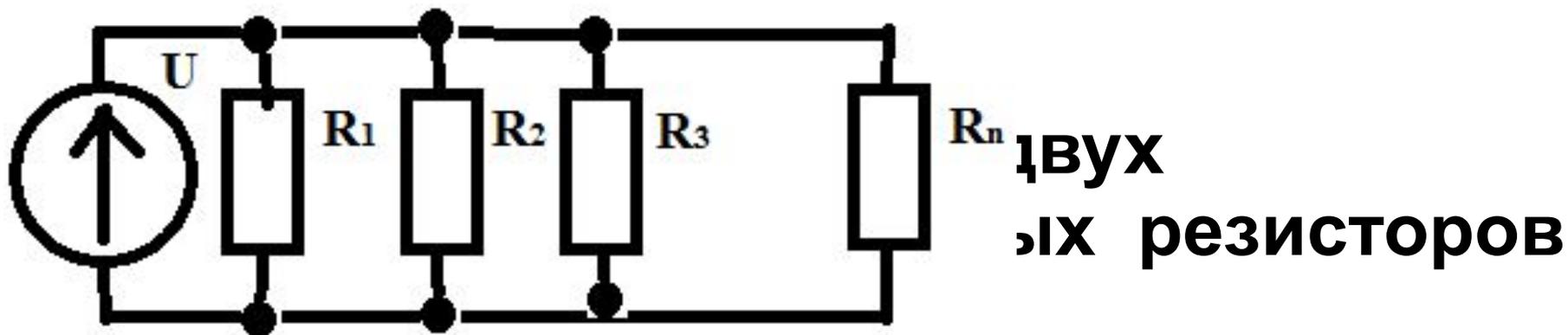
$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 * R_4}{R_3 + R_4}$$



$$I = \frac{U_{xx}}{R_{\text{экв}} + R}$$

Эквивалентное сопротивление

Параллельное соединение компонентов



$$R_{\text{Э}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

$$R_{\text{Э}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n G_i}$$

$$R_{\text{Э}} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

Классификация сигналов



Периодические синусоидальные сигналы

Синусоидальным сигналом называется гармонический сигнал, описываемый уравнением вида:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u) \quad \text{для напряжения или}$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \quad \text{для тока.}$$

где $u(t)$ и $i(t)$ - мгновенное значение сигнала напряжения или тока;

U_m и I_m - максимальное (амплитудное) значение функции;

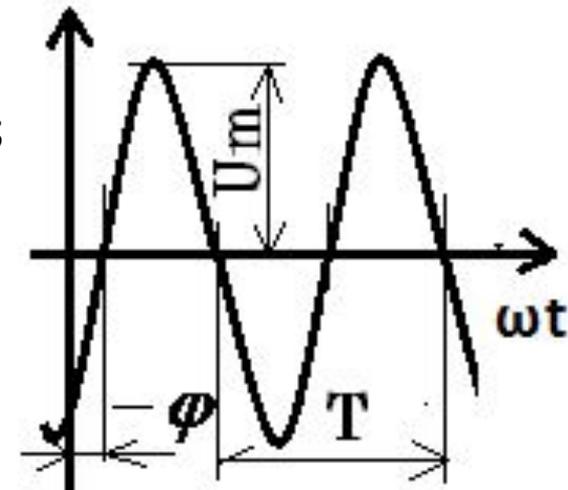
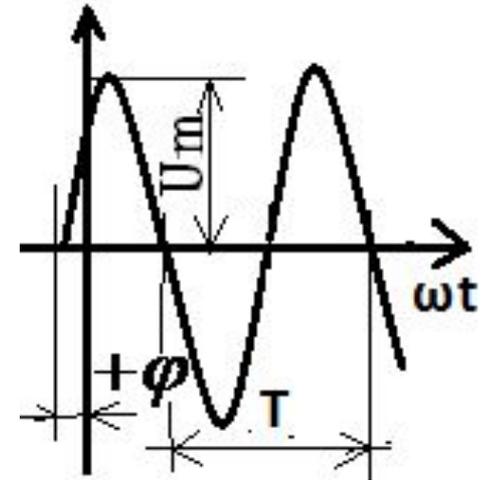
ω - угловая частота изменения сигнала;

измеряется в радианах за секунду [рад/с].

частота изменения сигнала, измеряется в Герцах [Гц, (Hz)];

T – период функции; измеряется в секундах [с];

φ - начальная фаза сигнала; измеряется в радианах [рад].



Периодические синусоидальные сигналы

Основными характеристиками периодических синусоидальных сигналов являются:

Амплитудное значение сигнала U_m или I_m ;

Действующее значение сигнала:

Среднее значение сигнала

Действующее значение сигнала за период определяется уравнением:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (U_m \sin(\omega t + \psi_u))^2 dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Коэффициент $k_a = \sqrt{2}$ называется коэффициентом амплитуды.

Среднее значение сигнала за период определяется уравнением:

$$U_c = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \sin(\omega t + \psi_u) dt = \frac{2U_m}{\pi}$$

Отношение действующего значения сигнала к его среднему значению называется коэффициентом формы:

$$k_\Phi = \frac{U}{U_c} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11 ; \text{ (справедливо только для синусоиды).}$$

Спектры сигналов и преобразование Фурье

Периодический сигнал $U(t)$ с периодом $T=1/f$ можно представить рядом Фурье:

$$U(t) = \frac{U_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} U_n * \cos(n * \omega_1 * t - \varphi_n)$$

где

U_0 – постоянная составляющая т.е. среднее значение сигнала $U(t)$ за период T :

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} U(t) dt$$

Спектры сигналов и преобразование Фурье

U_n – модуль амплитуды n -ой гармоники:

$$U_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad U(t) = \frac{U_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} U_n * \cos(n * \omega_1 * t - \varphi_n)$$

φ_n – Фазовый сдвиг n -ой гармоники

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} U(t) \cos(n\omega_1 t) dt \quad \varphi_n = \arctg\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} U(t) \sin(n\omega_1 t) dt$$

Спектры сигналов и преобразование Фурье

$$U(t) = \frac{U_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} U_n * \cos(n * \omega_1 * t - \varphi_n)$$

Из данной формулы видно, что периодическая функция (сигнал) может быть представлена в виде суммы синусоидальных колебаний с частотами кратными основной частоте ω_1 , и с соответствующими амплитудами U_n и фазовыми сдвигами φ_n .

Отдельные слагаемые суммы называют гармониками.

ω_1 – первая гармоника (колебания основной частоты),

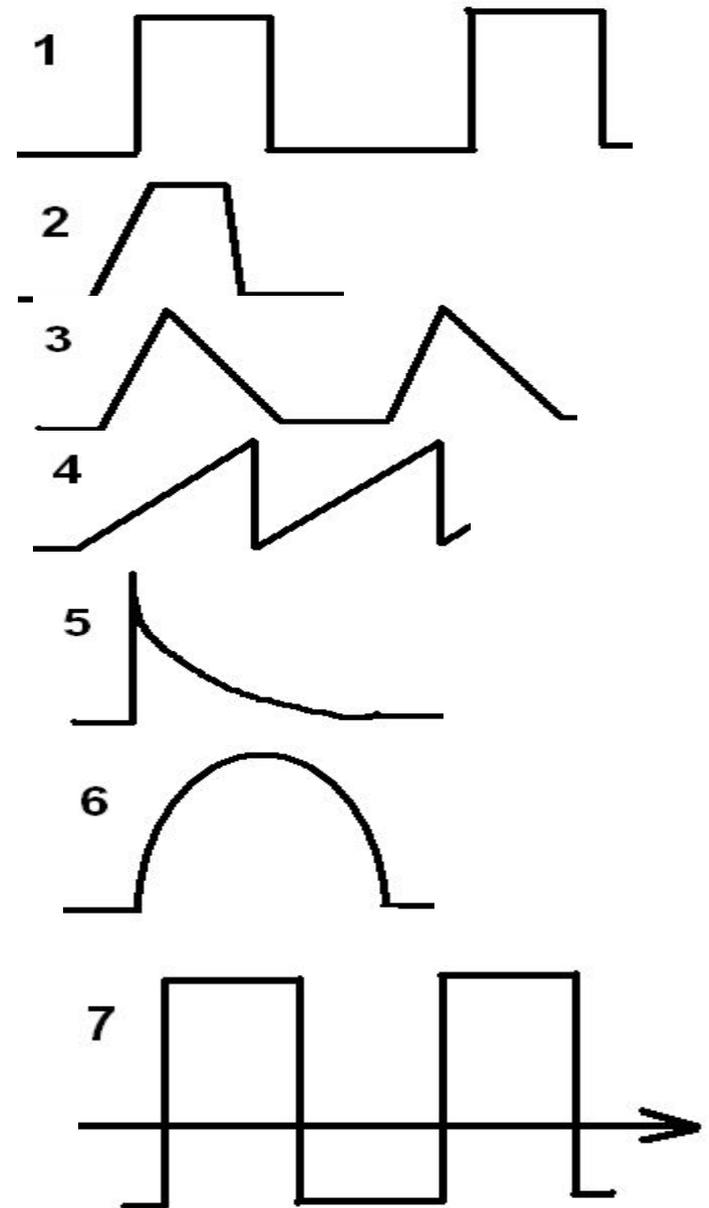
$\omega_n = n\omega_1$ – n-ая гармоника.

Совокупность амплитуд гармоник U_n – спектр амплитуд .

φ_n – спектр фаз.

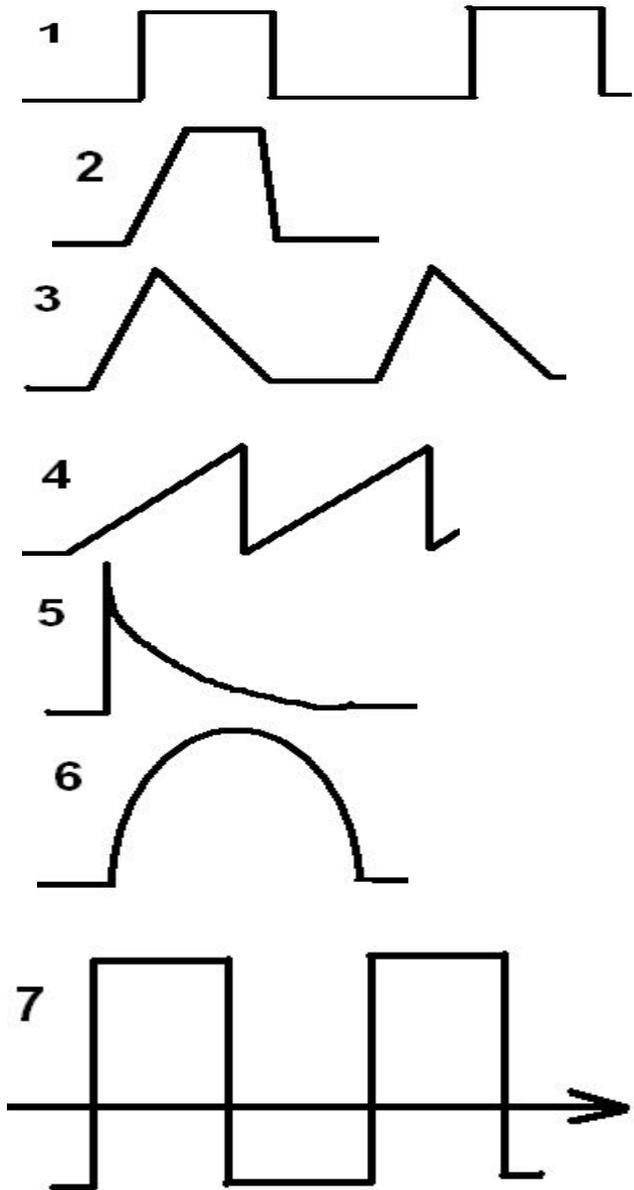
Несинусоидальные сигналы

1. Прямоугольный импульс.
2. Трапецеидальный сигнал.
3. Треугольный сигнал.
4. Сигнал пилообразной формы.
5. Экспоненциальный сигнал.
6. Колоколообразный сигнал.
7. Сигнал с чередующейся полярностью.

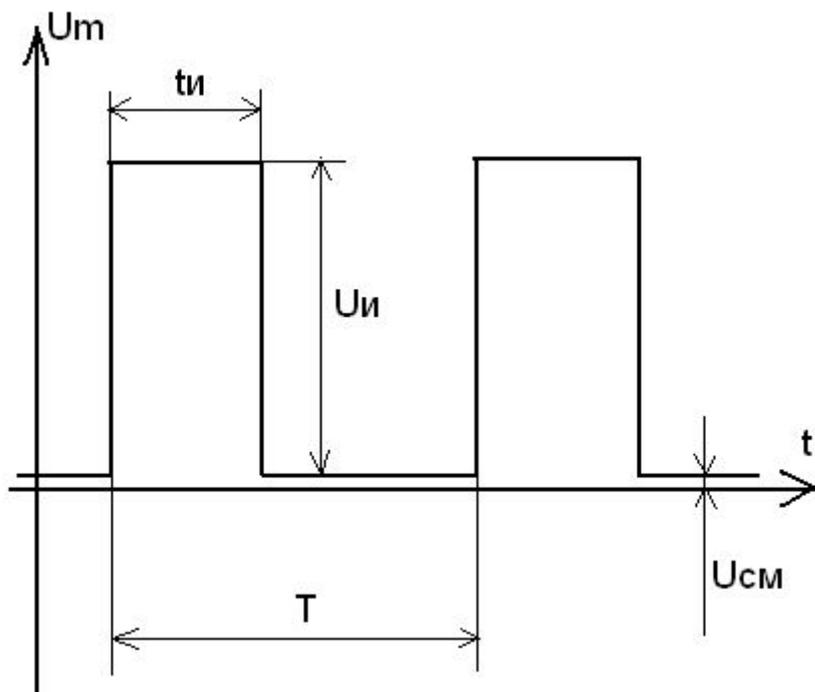


Несинусоидальные сигналы

1. Прямоугольный импульс.
2. Трапецеидальный сигнал.
3. Треугольный сигнал.
4. Сигнал пилообразной формы.
5. Экспоненциальный сигнал.
6. Колоколообразный сигнал.
7. Сигнал с чередующейся полярностью.



Прямоугольный импульс



Коэффициент заполнения

$U_{и}$ - амплитуда импульса,

T - период следования импульсов,

$t_{и}$ - длительность импульса,

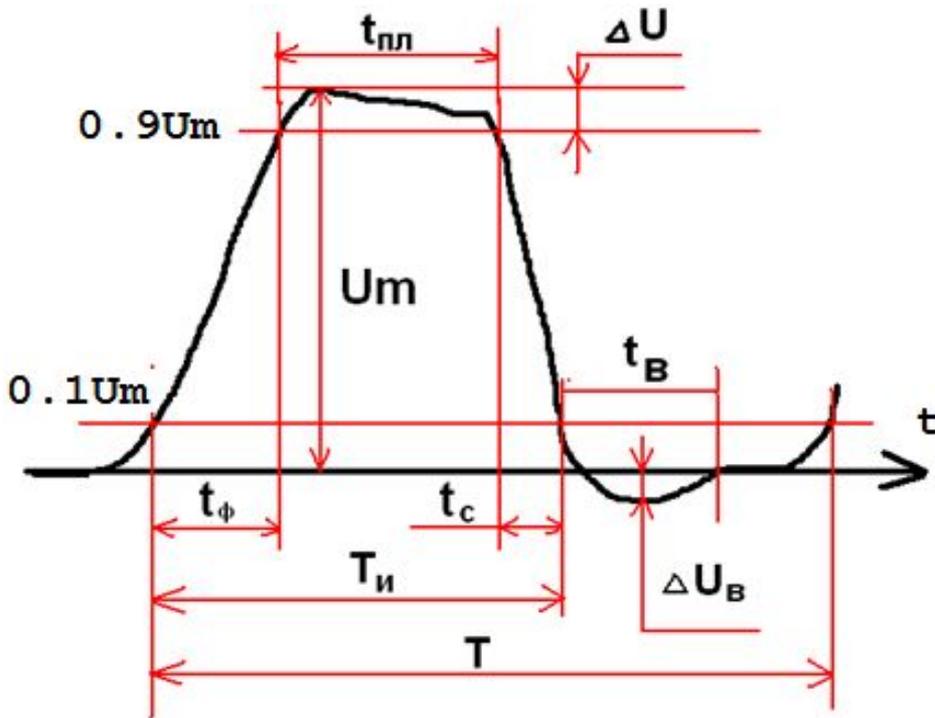
$U_{см}$ - напряжение смещения импульса.

Скважность импульса Q

$$Q = \frac{T}{t_{и}}$$

$$K_3 = \frac{t_{и}}{T} \times 100\%$$

Характеристики импульсного сигнала



1. Форма импульса.
2. Амплитуда импульса U_m .
3. Фронт импульса $t_{\text{ф}}$.
4. Длительность импульса $t_{\text{и}}$.
5. Длительность спада сигнала $t_{\text{с}}$.
6. Длительность плоской части сигнала $t_{\text{пл}}$.
7. Время обратного выброса $t_{\text{в}}$.
8. Скважность импульса $Q = T / T_{\text{и}}$.
9. Величина спада вершины импульса

Амплитудная модуляция

$A1 := 1.0V_*$ Амплитуда несущей частоты.
 $A2 := 0.5V$ Амплитуда модулирующего сигнала.
 $Fn := 1000Hz$ Несущая частота.
 $Fm := 100Hz$ Частота модулирующего сигнала.

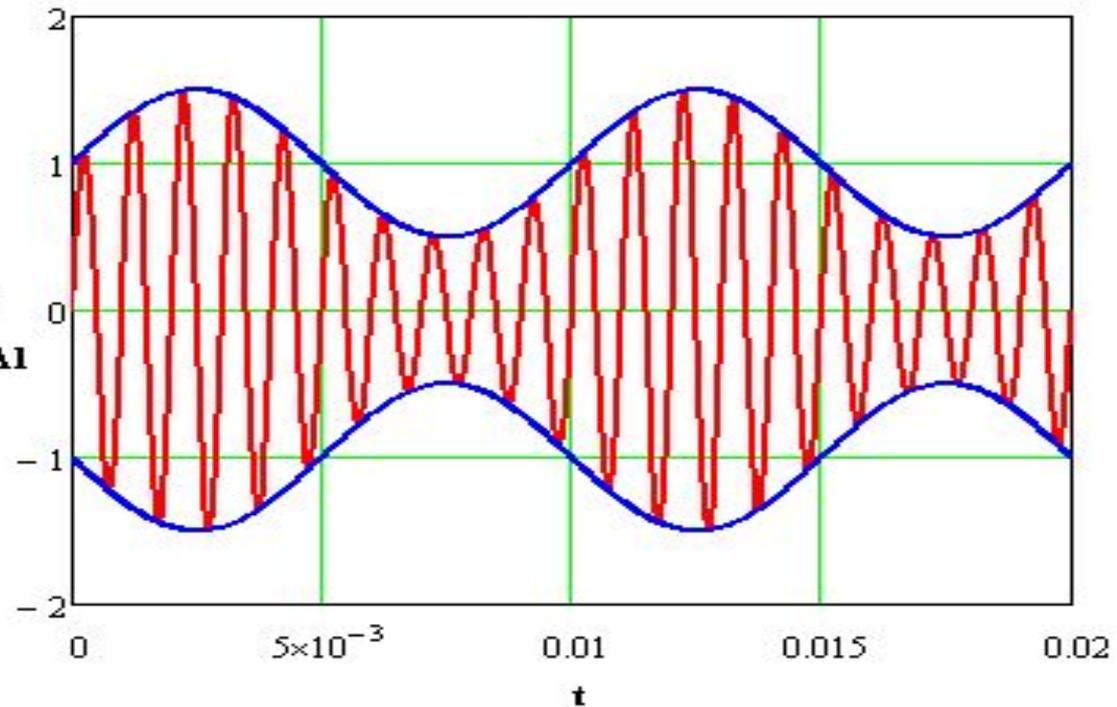
$$\omega(t, f) := 2 \cdot \pi f \cdot t$$

$$U(t, Fm, Fn, A1, A2) = (A1 + A2 \cdot \sin(\omega(t, Fm))) \cdot \sin(\omega(t, Fn))$$

$U(t, Fm, Fn, A1, A2)$

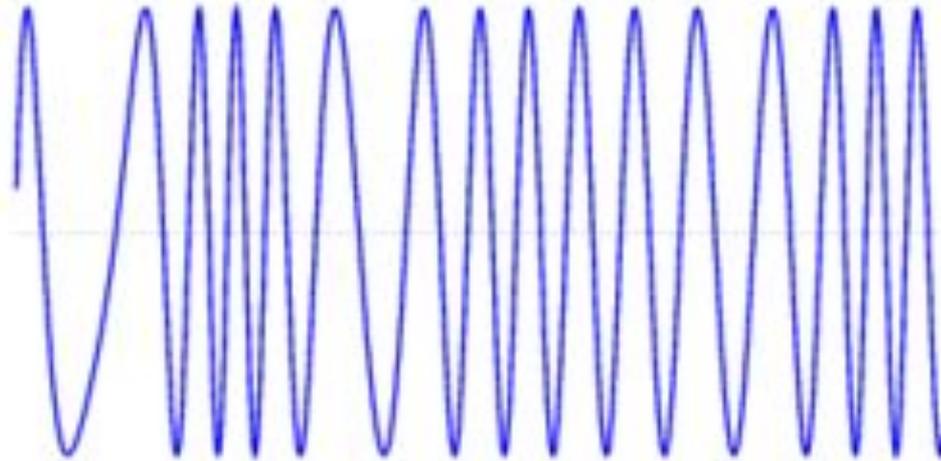
$A2 \cdot \sin(\omega(t, Fm)) + A1$

$- A2 \cdot \sin(\omega(t, Fm)) - A1$



- trace 1
- trace 2
- trace 3

Частотная модуляция



Частотная модуляция - модуляции колебаний, при которой частота высокочастотного колебания изменяется во времени по закону, соответствующему передаваемому сигналу.

При частотной модуляции амплитуда несущего колебания U_0 сохраняется постоянной, а частота несущего колебания $\omega(t)$ определяется модулирующим сигналом $e(t)$ в соответствии с выражением:

$$\omega(t) = \omega_0 + k_{\text{чМ}} e(t),$$

где $k_{\text{чМ}}$ - коэффициент пропорциональности, связывающий отклонение $\Delta\omega_{\text{чМ}}$ частоты $\omega(t)$ от своего номинального значения ω_0 , равное $\Delta\omega_{\text{чМ}} = \omega(t) - \omega_0$, и величину модулирующего напряжения $e(t)$, вызывающего это отклонение.

Основные элементы электрических цепей

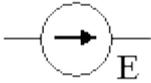
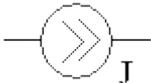
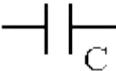
Все элементы можно разделить на две группы:

1. Активные элементы или источники электрической энергии.
2. Пассивные элементы или потребители электрической энергии.

К первой группе относятся источники тока и напряжения.

Ко второй группе относятся активные и реактивные потребители.

Графические изображения элементов и их основные параметры показаны в таблице.

Элемент	Графическое изображение	Параметр	Ед. измерения	Дополнительные ед. измерения
1	2	3	4	5
Источник ЭДС		ЭДС	Вольт (В)	-
Источник тока		Ток	Ампер (А)	-
Резистивный элемент (резистор)		Сопротивление	Ом (Ом)	1 кОм=10 ³ Ом 1 мОм=10 ⁶ Ом 1 гОм=10 ⁹ Ом
Индуктивный элемент (катушка индуктивности)		Индуктивность	Генри (Гн)	1 мГн=10 ⁻³ Гн 1 мкГн=10 ⁻⁶ Гн
Емкостной элемент (конденсатор)		Емкость	Фарада (Ф)	1 мкФ=10 ⁻⁶ Ф 1 нФ=10 ⁻⁹ Ф 1 пФ=10 ⁻¹² Ф

Схемные функции

Четырехполюсник.



Передаточная характеристика.

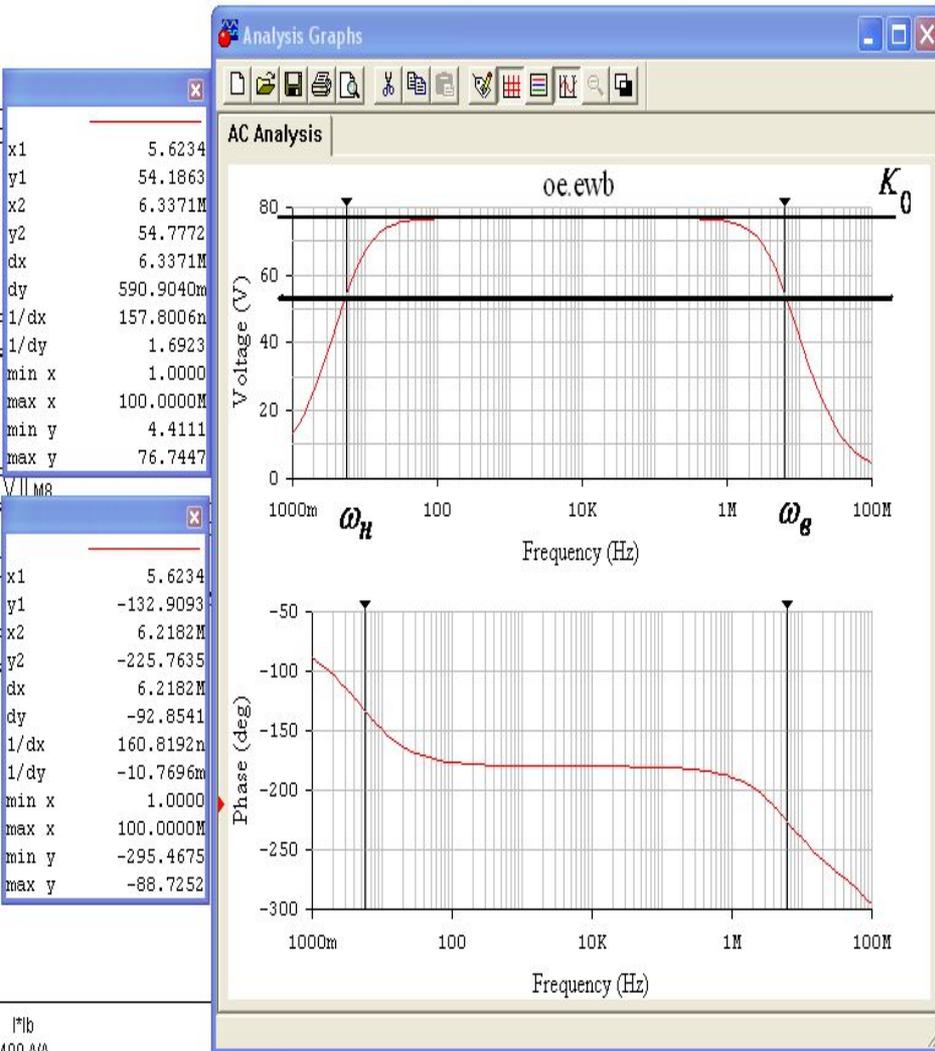
Отношение комплексных амплитуд выходного и входного сигналов.

$$K(j\omega) = \frac{U_{\text{вых}}(j\omega)}{U_{\text{вх}}(j\omega)} = \frac{U_{\text{т.вых}} e^{j\varphi(\omega)_{\text{вых}}}}{U_{\text{т.вх}} e^{j\varphi(\omega)_{\text{вх}}}} = K(\omega) e^{j\varphi(\omega)}$$

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

Диапазон частот, в котором коэффициент передачи изменяется не более чем в $\sqrt{2} \approx 1.41$ раза, называется рабочим диапазоном частот, или полосой пропускания. Частоты

$\omega_n = 2\pi f_n$ и $\omega_g = 2\pi f_g$ называю верхней и нижней граничными частотами рабочего диапазона.



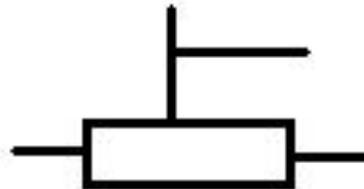
Классификация резисторов



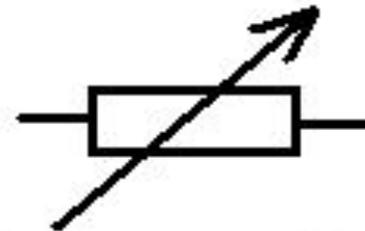
Условные графические обозначения резисторов



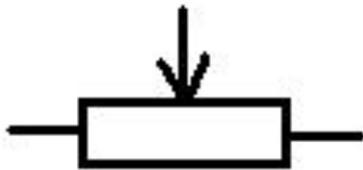
Постоянный резистор



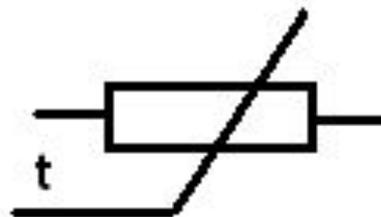
Подстроечный резистор



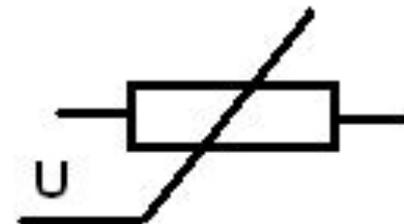
Переменный резистор



Переменный резистор



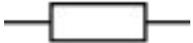
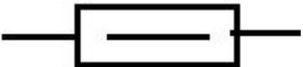
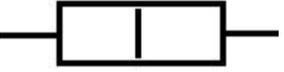
Терморезистор



Варистор

Резисторы

В России условные графические обозначения резисторов на схемах должны соответствовать ГОСТ 2.728-74. В соответствии с ним, постоянные резисторы обозначаются следующим образом:

Обозначение по ГОСТ 2.728-74	Описание
	Постоянный резистор без указания номинальной мощности рассеивания
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,05 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,125 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,25 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,5 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 1 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 2 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 5 Вт

Основные параметры резисторов

1. Номинальное сопротивление по ГОСТ 2825-07.
2. Отклонение сопротивления резистора от номинальной величины.
3. Номинальная мощность рассеивания.
4. Предельное рабочее напряжение.
5. Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) резистора – изменение сопротивления резистора при изменении температуры на 1 градус С.
$$TKC = \frac{\Delta R}{R \Delta t} 100$$
6. Уровень собственных шумов.
7. Максимальная температура окружающей среды.
8. Влагостойкость и термостойкость.

Тепловые шумы в резисторах

У любого резистора имеется тепловой шум – следствие движения носителей заряда внутри твердого тела. Средняя мощность шума определяется по формуле:

$$P_{ш} = 4kT\Delta f$$

k - постоянная Больцмана. $k=1.38 \cdot 10^{-23}$

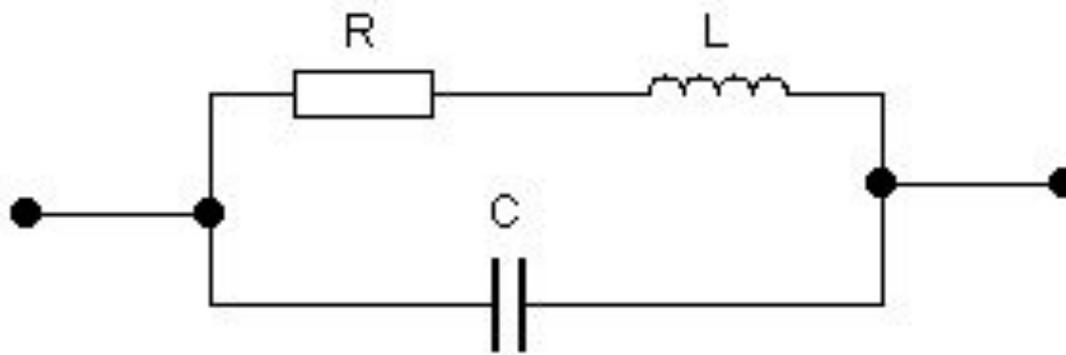
T - абсолютная температура.

Δf - полоса частот, в которой измеряется мощность.

Действующее значение напряжения шумов:

$$P_{ш} = \frac{U_{ш}^2}{R} \quad \rightarrow \quad U_{ш} = \sqrt{4kT\Delta fR}$$

Эквивалентная схема резистора



R – сопротивление резистора.

L – индуктивность выводов резистора.

C – емкость между выводами резистора.

Резисторы постоянные углеродистые и бороуглеродистые

ВС - высокой стабильности;

ОВС - повышенной надежности,

ВСЕ - с осевыми выводами;

УЛМ - углеродистые лакированные малогабаритные;

УЛС - углеродистые лакированные специальные;

УЛИ - углеродистые лакированные измерительные;

**УНУ - углеродистые незащищенные
ультравысокочастотные стержневые;**

**УНУ-Ш - углеродистые незащищенные
ультравысокочастотные шайбовые;**

**ИВС - импульсные высокостабильные; БЛП -
бороуглеродистые лакированные прецизионные (с
самым низким уровнем собственных шумов - не
более 0,5 мкВ/В).**

Резисторы постоянные металлопленочные и металлоокисные

- МЛТ** - металлопленочные лакированные
теплостойкие;
- ОМЛТ** - повышенной надежности; **МТ** -
металлопленочные теплостойкие;
- МУН** - металлопленочные ультравысокочастотные
незащищенные;
- МГП** - металлопленочные герметизированные
прецизионные;
- МОУ** - металлопленочные ультравысокочастотные;
- МОН** - металлоокисные низкоомные (дополняют
шкалу номиналов резисторов МЛТ);
- С2-6** - металлоокисные;
- С2-7Е** - металлоокисные низкоомные (дополняют
шкалу номиналов резисторов МТ).

Резисторы постоянные композиционные

С4-1 - повышенной теплостойкости на неорганической связке;

ТВО - теплостойкие, влагостойкие, объемные с неорганической связкой;

КОИ - с органической связкой;

композиционные пленочные

КИМ - композиционные изолированные для малогабаритной аппаратуры;

КПМ - композиционные лакированные малогабаритные;

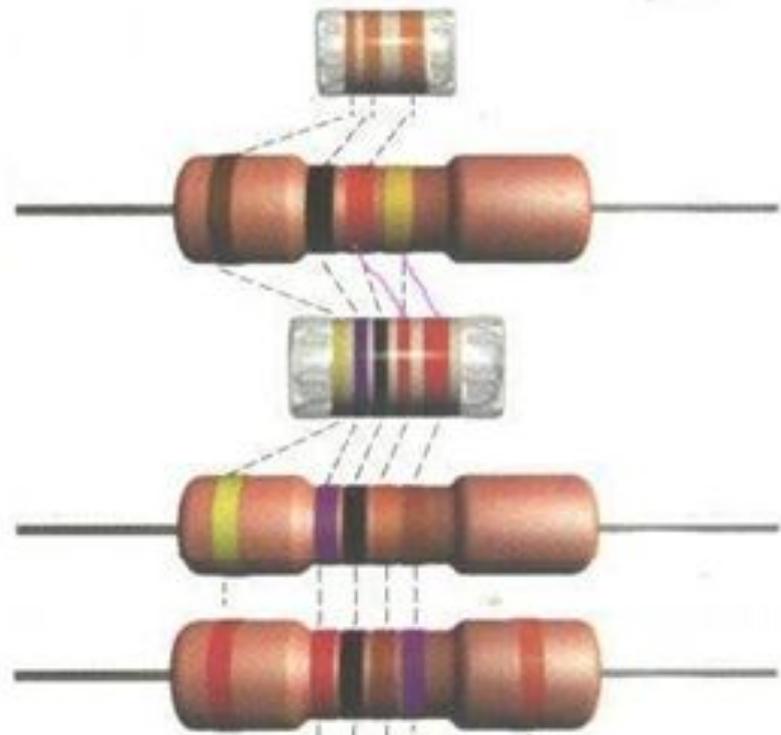
КВМ - композиционные вакуумные (в стеклянном баллоне),

КЭВ - композиционные экранированные высоковольтные.

Резисторы постоянные проволочные

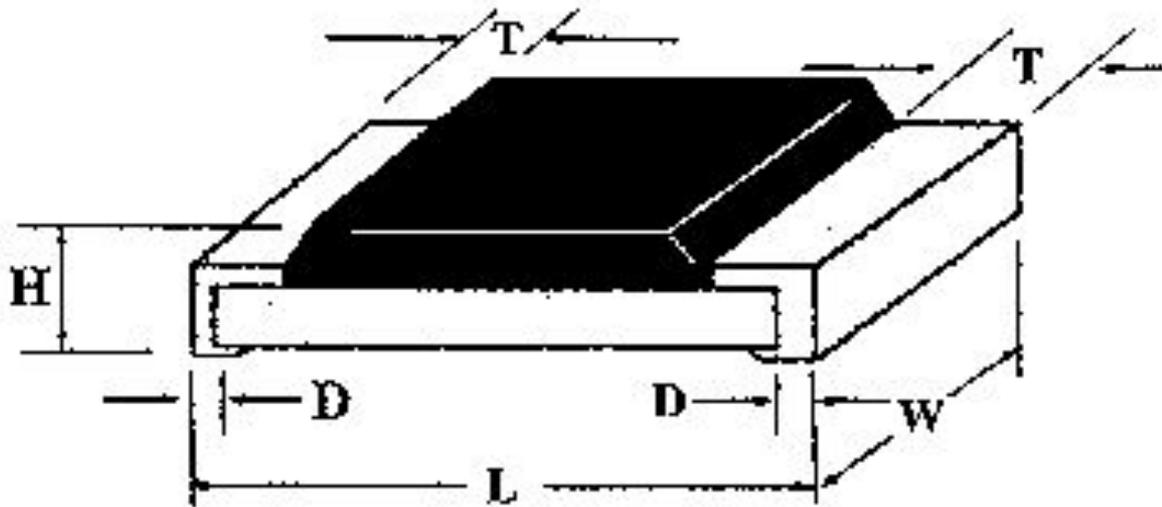
- ПКВ** - на керамическом основании, влагостойкие, многослойные группы I и II (резисторы группы II предназначены для работы в условиях сухих и влажных тропиков);
- ПТМН** - многослойные нихромовые малогабаритные;
- ПТМК** - многослойные константановые малогабаритные;
- ПТ** - проволочные точные;
- ПЭ** - эмалированные трубчатые невлагостойкие;
- ПЭВ** - эмалированные трубчатые влагостойкие;
- ПЭВР** - эмалированные трубчатые влагостойкие регулируемые;
- ОПЭВЕ** - повышенной надежности и долговечности;
- ПЭВТ** - термостойкие влагостойкие (тропические).

Цветовая маркировка резисторов



Серебряный				0.01	10%	
Золотой				0.1	5%	
Черный		0	0	1		
Коричневый	1	1	1	10^1	1%	100 ppm
Красный	2	2	2	10^2	2%	50 ppm
Оранжевый	3	3	3	10^3		15 ppm
Желтый	4	4	4	10^4		25 ppm
Зеленый	5	5	5	10^5	0.5%	

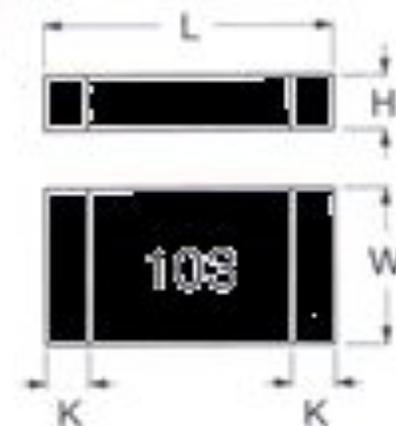
Резисторы для поверхностного монтажа (SMD, чип-резисторы)



Тип	0402	0603	0805	1206	1210	2010	2512
L	1,0±0,1	1,6±0,1	2,0±0,15	3,1±0,1	3,1±0,1	5,0±0,15	6,4±0,2
W	0,5±0,15	0,8±0,15	1,25±0,15	1,6±0,15	2,6±0,15	2,5±0,15	3,2±0,15
H	0,35±0,1	0,45±0,1	0,55±0,1	0,55±0,1	0,55±0,1	0,55±0,1	0,55±0,1
T	0,2±0,2	0,3±0,2	0,4±0,2	0,5±0,2	0,5±0,2	1,0±0,2	1,3±0,2
D	0,25±0,2	0,3±0,2	0,4±0,2	0,5±0,25	0,5±0,25	0,5±0,2	0,6±0,2

Корпуса для поверхностного монтажа (SMD)

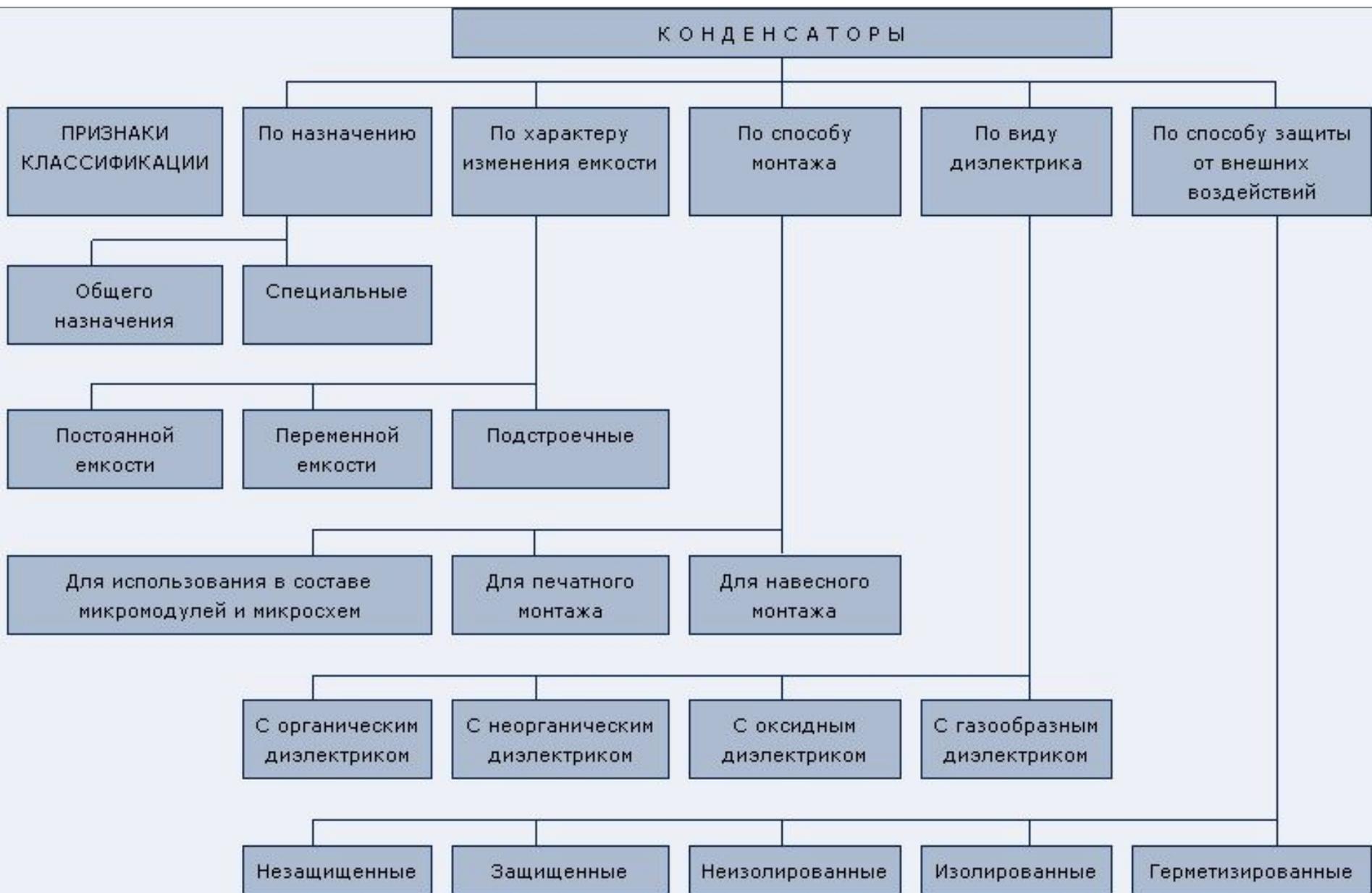
Резисторы
Конденсаторы
Индуктивности
Термисторы
Варисторы



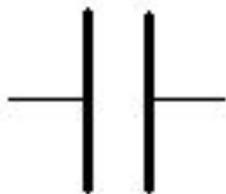
Корпуса для поверхностного монтажа (SMD)

Тип корпуса	L*	W* (мм)	H** (мм)	k (мм)	Примечание
0402(1005)	1.0	0.5	0.35...0.55	0.2	
0603 (1608)	1.6	0.8	0.45...0.95	0.3	
0805 (2012)	2.0	1.25	0.4...1.6	0.5	ГОСТ PI-12-0.062
1206 (3216)	3.2	1.6	0.4...1.75	0.5	ГОСТР1-12-0 .125; P1-16
1210 (3225)	3.2	2.5	0.55...1.9	0.5	
1218 (3245)	3.2	4.5	0.55...1.9	0.5	
1806 (4516)	4.5	1.6	1.6	0.5	
1806 (4516)	4.5	1.6	1.6	0.5	
1808 (4520)	4.5	2.0	2.0	0.5	
1812 (4532)	4.5	3.2	0.6...2.3	0.5	
2010 (5025)	5.0	2.5	0.55	0.5	
2220 (5750)	5.7	5.0	1.7	0.5	
2225 (5763)	5.7	6.3	2.0	0.5	
2512 (6432)	6.4	3.2	2.0	0.6	

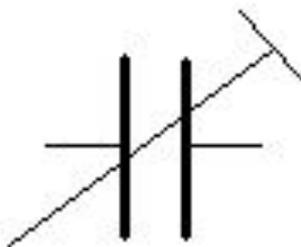
Классификация конденсаторов



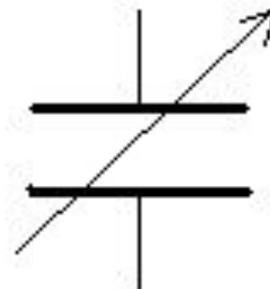
Условные графические обозначения конденсаторов



Конденсатор
постоянной
емкости



Подстроечный
конденсатор



Конденсатор
переменной
емкости



Конденсатор переменной
емкости многосекционный

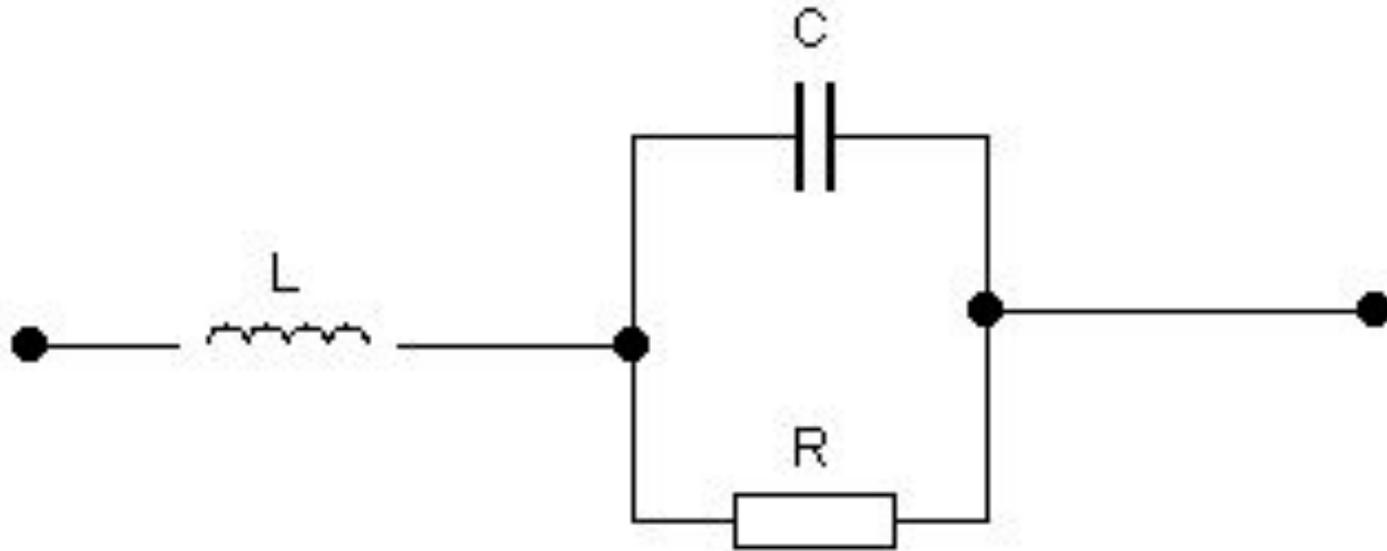
Основные параметры конденсаторов

1. Номинальное значение конденсатора.
2. Допустимое отклонение действительной емкости конденсатора от номинала.
3. Тангенс угла потерь.
4. Ток утечки (для электролитических конденсаторов).
5. Сопротивление изоляции.
6. Температурный коэффициент емкости.

$$TKE = \frac{\Delta C}{C \Delta t} 100$$

7. Номинальное напряжение.

Эквивалентная схема конденсатора

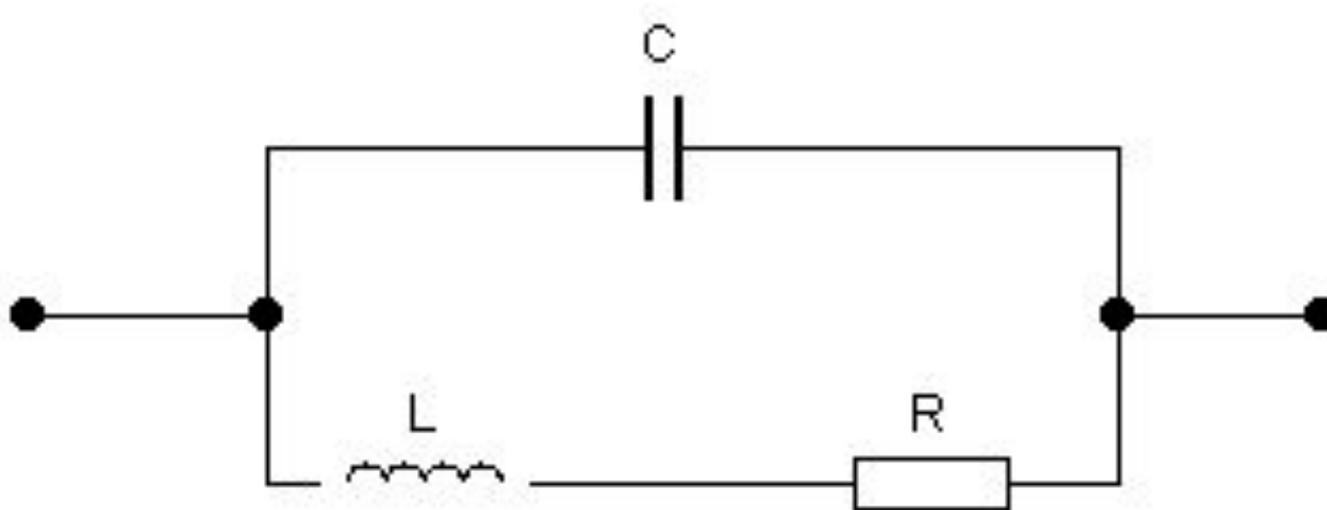


L – индуктивность выводов.

R – омическое сопротивление изоляции.

C – емкость конденсатора..

Эквивалентная схема катушки индуктивности



L – индуктивность катушки.

R – сопротивление катушки.

C – емкость между выводами катушки.

Ряд E24

(отклонение от номинала $\pm 5\%$)

10	36	Номинал резистора (конденсатора) получается умножением числа ряда на 10^{**N} .
11	39	
12	43	
13	47	
15	51	
16	56	
18	62	
20	68	
22	75	
24	82	
27	91	
30		
33		

P-N переход

p-n переход это электронно-дырочный переход т.е. область соприкосновения двух полупроводников с проводимостью p- и n-типов.

(n- negative, отрицательный, электронный, p- positive положительный, дырочный).

Электрические процессы в p-n переходе – основа работы полупроводниковых диодов, транзисторов и других полупроводниковых приборов с нелинейной вольтамперной характеристикой.

P-N переход

В полупроводнике р-типа концентрация дырок значительно превышает концентрацию электронов.

В полупроводнике n-типа концентрация электронов больше чем концентрация дырок.

Если между двумя полупроводниками р- и n- типов возникнет контакт, то появиться диффузионный ток. Носители заряда перетекают из области с большей концентрацией в меньшую.

Слои пространственного заряда порождают в переходе электрическое поле, что вызывает дрейфовый ток, противоположный диффузионному току. Между диффузионным и дрейфовым токами устанавливается равновесие и изменение объемных зарядов прекращается.

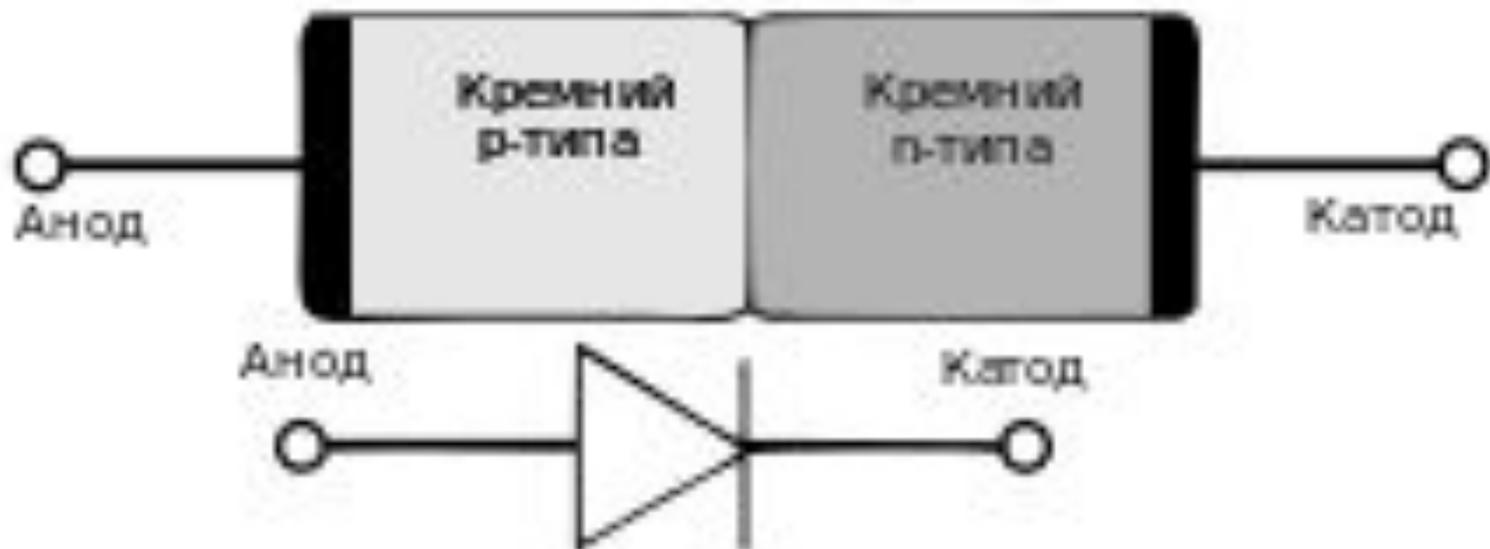
Выпрямительные свойства р-n перехода

Если к слоям полупроводника приложить внешнее напряжение так, чтобы созданное им электрическое поле было направленным противоположно направлению электрического поля между областями пространственного заряда, то динамическое равновесие нарушается, и диффузионный ток преобладает над дрейфовым током, быстро нарастая с повышением напряжения. Такое подключение напряжения к р-n-переходу называется прямым смещением.

Выпрямительные свойства р-n перехода

Если же внешнее напряжение приложено так, чтобы созданное им поле было одного направления с полем между областями пространства, то это приведет лишь к увеличению толщины слоёв пространственного заряда, и ток через р-n-переход очень мал и определяется тепловой или фотонной генерацией пар электрон-дырка. Такое подключение напряжения к р-n-переходу называется обратным смещением.

Кремниевый полупроводниковый диод



P-N переход

Уравнение р-п перехода представляет собой зависимость тока, текущего через диод, от приложенного к нему напряжения . Уравнение идеального р-п перехода записывается:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

I - Суммарный ток, текущий через диод

I_0 - ток насыщения (ток утечки в диоде)

V - Приложенное к диоду напряжение

q - Абсолютное значение заряда электрона

k - Постоянная Больцмана

T - Абсолютная температура (К)

I_0 увеличивается при увеличении температуры.

P-N переход

Для реальных диодов справедливо следующее уравнение:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right)$$

n – коэффициент идеальности, n принимающий значения от 1 до 2 и увеличивающийся с увеличением тока.

р-n переход



$\Delta I_D \approx 2 \text{ мв. на. градус}$

При:

$$I_0 = 1 \cdot 10^{-10} \text{ А}$$

$$n = 1$$

$$T = 300 \text{ К}$$

$$V = 0.45 \text{ В}$$

$$I = 0.0037 \text{ А}$$

При:

$$T = 301 \text{ К}$$

$$I = 0.0034 \text{ А}$$

