

## 2. Пассивные элементы электронных схем.

### 2.1. Резисторы (лат. *resisto* — сопротивление)

Резисторы (сопротивления)—это наиболее распространенные компоненты электронной аппаратуры, с помощью которых осуществляется регулирование и распределение электрической энергии между цепями и элементами схем.

В зависимости от назначения резисторы подразделяются на две группы: 1) *общего* назначения (диапазоны номиналов 1 Ом—10 МОм, номинальные мощности рассеивания 0,062—100 Вт); 2) *специального* назначения, которые подразделяются на: а) высокоомные резисторы (от десятков мегаом до сотен тераом, рабочее напряжение 100—400 В); б) высоковольтные (сопротивления до  $10^{11}$  Ом, рабочее напряжение единицы — десятки кВ); в) высокочастотные (имеют малые собственные емкости и индуктивности); г) прецизионные (повышенная точность—допуск 0,001—1%, стабильность, номиналы 0,1 Ом—10 МОм, номинальные мощности рассеивания до 2 Вт).

# Основные параметры резисторов

- Номинальное значение сопротивления (Ом)
- Мощность рассеивания (Вт)
- Точность соответствия номинала (отклонение от номинала) (%)
- Температурный коэффициент электрического сопротивления (ТКС) ( $K^{-1}$ ), ppm/  $C^0$
- Уровень шумов (мкВ, дБ)

**Температурный коэффициент электрического сопротивления** — величина, равная относительному изменению электрического сопротивления участка электрической цепи или удельного сопротивления вещества при изменении температуры на единицу.

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$$

Температурный коэффициент сопротивления характеризует зависимость электрического сопротивления от температуры и измеряется в Кельвинах в минус первой степени ( $K^{-1}$ ) или ppm/  $C^0$  (ppm – пропромилле).

**Промилле** (*per mille* — на тысячу) — одна тысячная доля, 1/10%; обозначается (‰); используется для обозначения количества тысячных долей чего-либо в целом.

Проводящий элемент резистора выполняют в виде пленки, осажденной на поверхность изоляционного основания; проволоки или микропроволоки; объемной конструкции.

У любого резистора есть тепловые шумы. Они появляются вследствие тепловых движений носителей зарядов (электронов) внутри твердого тела. Их среднюю мощность определяют из формулы Найквиста

$$P_{\text{ш}} = 4KT\Delta f,$$

где  $K$  — постоянная Больцмана,  $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  $T$  — абсолютная температура;  $\Delta f$  — полоса частот, в которой измеряется мощность,  $\Delta f = f_2 - f_1$ .

Уровень токовых шумов оценивают отношением действующего значения переменной составляющей напряжения на резисторе, измеренной в полосе частот  $\Delta f = f_2 - f_1$ , к постоянному напряжению на нем  $U$ :

$$D = U_{\text{ш}} / U.$$

Основная причина появления этого шума — временное изменение объемной концентрации электронов и изменение контактных сопротивлений между зернами проводника, имеющего зернистую структуру.

Значения шумов у непроволочных резисторов в зависимости от группы, на которые их иногда разделяют, находятся в пределах 1 мкВ/В (группа А), 5 мкВ/В (никак не обозначается). У регулируемых резисторов этот показатель значительно выше и достигает значений 50 мкВ/В (у резисторов типа СП). Приведенные цифры обычно задаются для полосы частот от  $f_1 = 60$  Гц до  $f_2 = 6$  кГц, т. е. для двух декад. У проволочных резисторов значения шумов при тех же  $f_1$  и  $f_2$  порядка 0,1 мкВ/В.

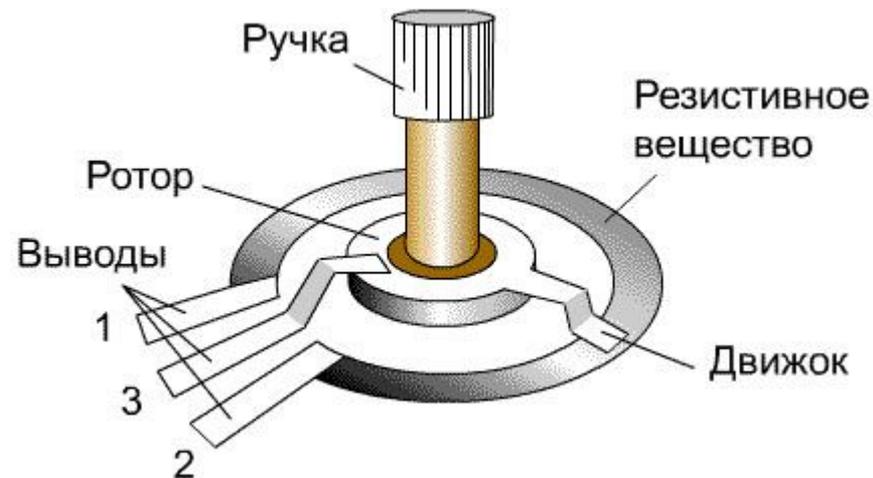
Резисторы по своим свойствам разделяют на постоянные и переменные.

**Постоянные резисторы** имеют фиксированный номинал, который нельзя изменить в процессе эксплуатации устройства.

**Переменные резисторы** - номинал можно менять в заданных пределах их разделяют на *регулируемые* и *подстроечные*.

- **Регулируемые** имеют внешнюю ручку регулировки и номинал резистора можно менять в процессе работы устройства (напр. Регулировка громкости).
- **Подстроечные** резисторы – это переменные резисторы с небольшим диапазоном изменения номинала. Служат для регулировки устройств и выполняются внутри устройства.

# Переменные и подстроечные резисторы



# Обозначения резисторов на схемах



Резистор с проволочными выводами



Резистор поверхностного монтажа



Американское обозначение резистора на схеме



R1



Европейское обозначение резистора на схеме



R2

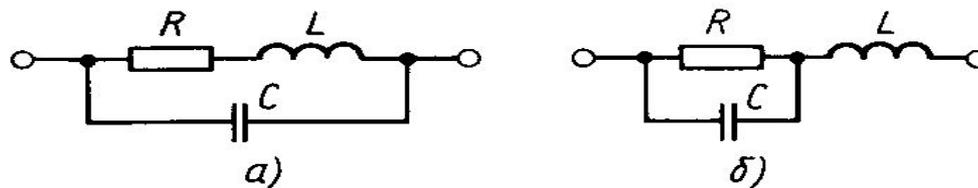


Рис. 1.2. Эквивалентные схемы резисторов

## Обозначение номиналов на резисторах.

Буквы R, K, M, G, T соответствуют множителям  
 $1, 10^3, 10^6, 10^9, 10^{12}$

*Например*

1 Ом - 1R

0,1 Ом - R1

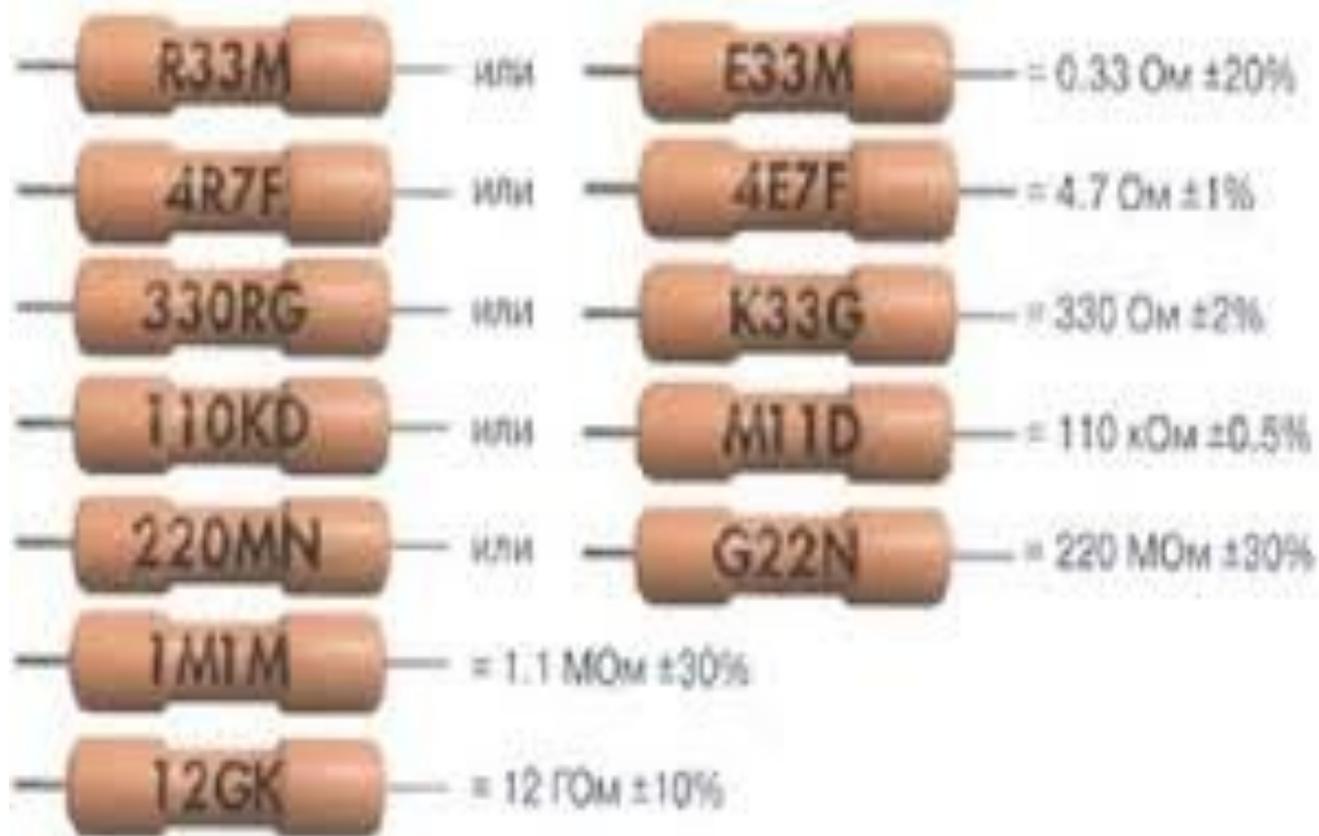
10 Ом - 10R

100 кОм - 100K

1,20 кОм - 1K20

33,2 МОм - 33M2

# Маркировка проволочных резисторов



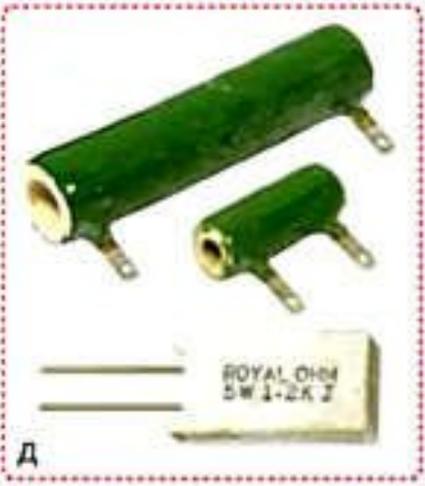
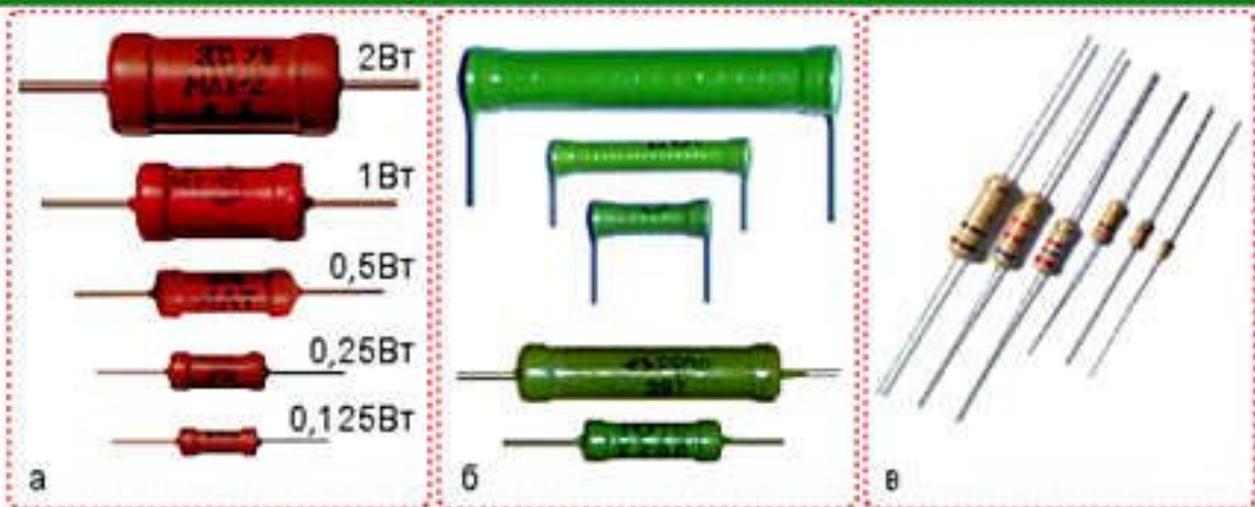


Рис.1. Внешний вид некоторых постоянных резисторов импортного и отечественного производства, обозначения на принципиальной схеме: а – отечественные МЛТ; б – отечественные, устаревшие; в – с цветной маркировкой; г – ЧИП-резисторы; д – мощные, проволочные.

Ряд допускаемых отклонений также нормализован. Допуски указываются в процентах в соответствии с рядом  $\pm 0,001$ ;  $\pm 0,002$ ;  $\pm 0,005$ ;  $\pm 0,02$ ;  $\pm 0,05$ ;  $\pm 0,1$ ;  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1,0$ ;  $\pm 2,0$ ;  $\pm 5,0$ ;  $\pm 10$ ;  $\pm 20$ ;  $\pm 30$ .

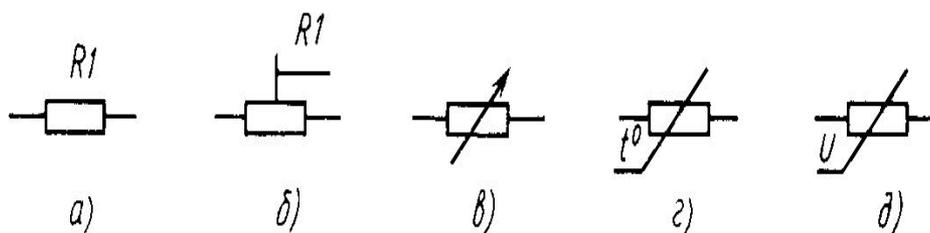


Рис. 1.6. Обозначения резисторов:

а — постоянный; б — подстроечный; в — переменный; г — терморезистор; д — варистор

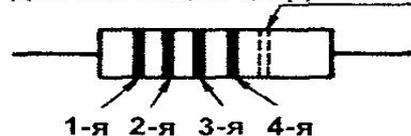
Пример обозначения на резисторе:  
 $0,25\text{Вт} - 100\text{К} \pm 2\%, \text{А}$

$\pm 5\%$ допуск	$\pm 10\%$ допуск	$\pm 20\%$ допуск
1,0	1,0	1,0
1,1		
1,2	1,2	
1,3		
1,5	1,5	1,5
1,6		
1,8	1,8	
2,0		
2,2	2,2	2,2
2,4		
2,7	2,7	
3,0		
3,3	3,3	3,3
3,6		
3,9	3,9	
4,3		
4,7	4,7	4,7
5,1		
5,6	5,6	
6,2		
6,8	6,8	6,8
7,5		
8,2	8,2	
9,1		

Рис. 4-4. Стандартные номиналы резисторов (исключая множитель).

## ЦВЕТОВАЯ КОДИРОВКА РЕЗИСТОРОВ

Цветовой код, использующий  
две значащих цифры

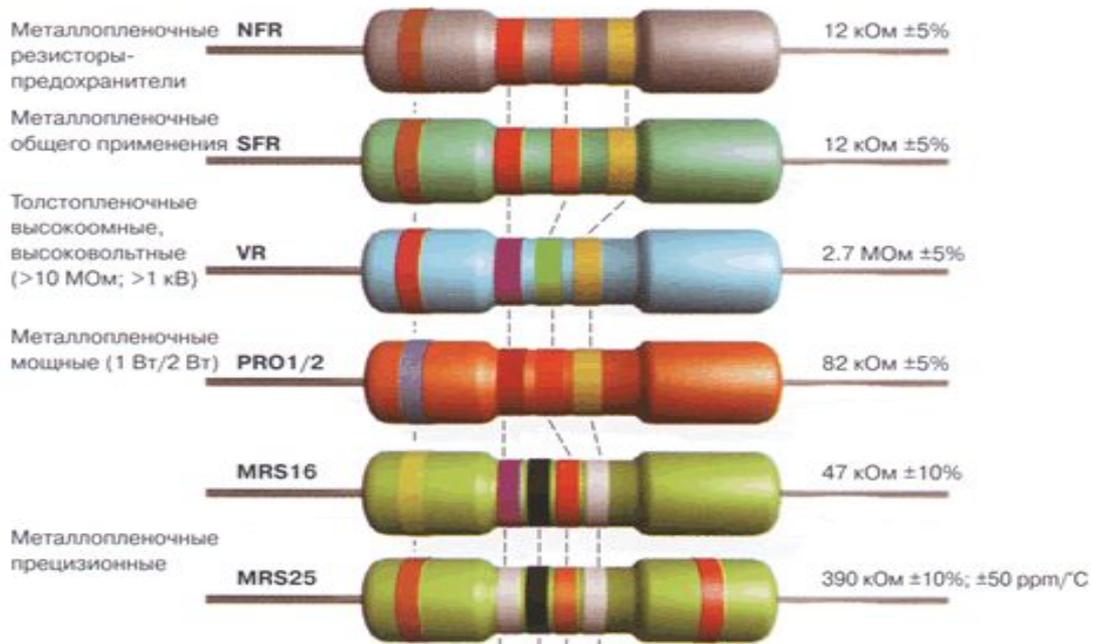


Замечание: может присутствовать пятая полоса, которая представляет фактор надежности и может быть проигнорирована.

### ЦВЕТНЫЕ ПОЛОСЫ

	Первая	Вторая	Количество нулей	Допуск четвертая
Черный	0	0	—	
Коричневый	1	1	0	
Красный	2	2	00	
Оранжевый	3	3	000	
Желтый	4	4	0 000	
Зеленый	5	5	00 000	
Синий	6	6	000 000	
Фиолетовый	7	7		
Серый	8	8		
Белый	9	9		
Золотой			0,1	5%
Серебряный			0,01	10%
Нет полосы				20%

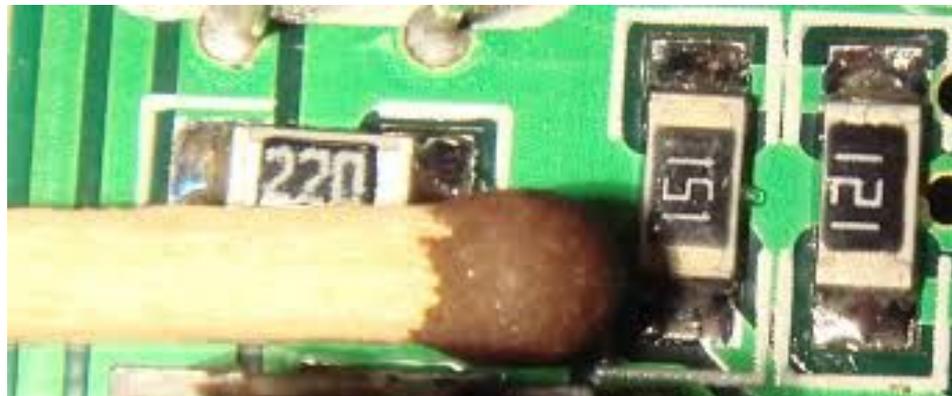
Цветные полосы на резисторе означают следующее. Первая полоса, ближайшая к концу резистора, представляет первую цифру номинала резистора, а вторая — вторую цифру номинала. Третья полоса обозначает количество нулей, которое должно быть добавлено к первым двум цифрам. Четвертая полоса соответствует допуску резистора (рис. 4-12).



Серебряный				0.01	10%	
Золотой				0.1	5%	
Черный		0	0	1		
Коричневый	1	1	1	10	1%	100
Красный	2	2	2	100	2%	50
Оранжевый	3	3	3	1k		15
Желтый	4	4	4	10k		25
Зеленый	5	5	5	100k	0.5%	TKC, ppm/°C
Голубой	6	6	6	1M	0.25%	
Фиолетовый	7	7	7	10M	0.1%	
Серый	8	8	8	100M	Допуск	
Белый	9	9	9	Множитель		
Цвет	1-я цифра	2-я цифра	3-я цифра			

# Резисторы SMD-технологии (surface mounted device — прибор, монтируемый на поверхность)

- **Маркировка 3-мя цифрами.** Первые две цифры указывают значение в Омах, последняя – количество нулей.
- Распространяется на резисторы из ряда E-24, допуском 1 % и 5%, типоразмеров **0603, 0805** и **1206**.
- Пример:  $103 = 10\ 000 = 10\ \text{кОм}$





- **Маркировка 4-мя цифрами.** Первые три цифры указывают значения в омах последняя – количество нулей. Распространяется на резисторы из ряда E-96, допуском 1% , типоразмеров **0805** и **1206**. Буква R играет роль десятичной запятой.
- **Пример:** 4402 = 440 00 = 44 кОм

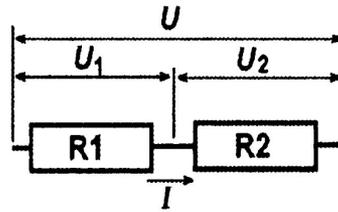


- **Маркировка 3-мя символами.** Первые два символа – цифры, указывающие значение сопротивления в омах, взятые из специальной таблицы.
- Последний символ - буква, указывающая значение множителя: S= $10^{-2}$ ; R= $10^{-1}$ ; B=10; C= $10^2$ ; D= $10^3$ ; E= $10^4$ ; F= $10^5$ . Распространяется на резисторы из ряда E-96, допуском 1%, типоразмером **0603**.
- Пример: 10C =  $124 \times 10^2 = 12.4$  кОм

# Резисторы СВЧ и больших мощностей



Наименование	Номинальная мощность, кВт	Волновое сопротивление, Ом	Диапазон рабочих частот, ГГц	КСВН	Диапазон температур, °С	Импульсная мощность, МВт
ПРЖ1-10-50	10	50	0,3 – 0,8	1,2	+1 - +40	2

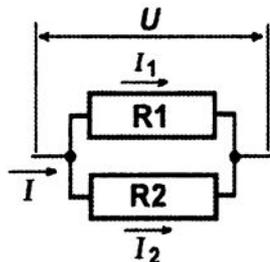


Последовательное соединение  
резисторов

$$R = R1 + R2$$

□ *при последовательном соединении:*

- пара резисторов имеет сопротивление всегда больше, чем сопротивление резистора с большим номиналом (правило «больше большего»);
- если номиналы резисторов равны, то суммарное сопротивление ровно вдвое больше каждого номинала;
- если номиналы резисторов различаются во много раз, то общее сопротивление примерно равно большему номиналу



**Параллельное соединение  
резисторов**

$$1/R = 1/R1 + 1/R2$$

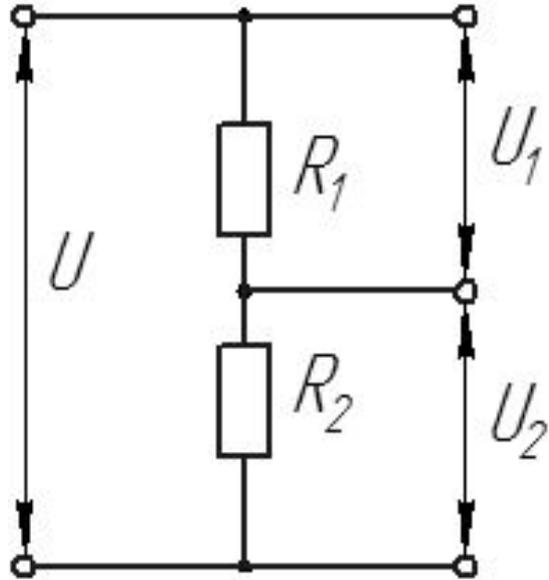
$$R = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

□ *при параллельном соединении:*

- пара резисторов имеет сопротивление всегда меньше, чем сопротивление резистора с меньшим номиналом (правило «меньше меньшего»);
- если номиналы резисторов равны, то суммарное сопротивление ровно вдвое меньше каждого номинала;
- если номиналы резисторов различаются во много раз, то общее сопротивление примерно равно меньшему номиналу

Для согласования параллельно-соединенных каскадов, необходимо, чтобы входное сопротивление последующего каскада было много больше выходного сопротивления предыдущего.

## Делитель напряжения



$$I_1 = I_2 = I \quad U_1 = IR_1 \quad U_2 = IR_2$$

$$U = I(R_1 + R_2)$$

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

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

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

### Пример расчета

$$R_1 = 9 \text{ кОм} \quad R_2 = 1 \text{ кОм}$$

$$U_{\text{ВХ}} = U = 10 \text{ В}$$

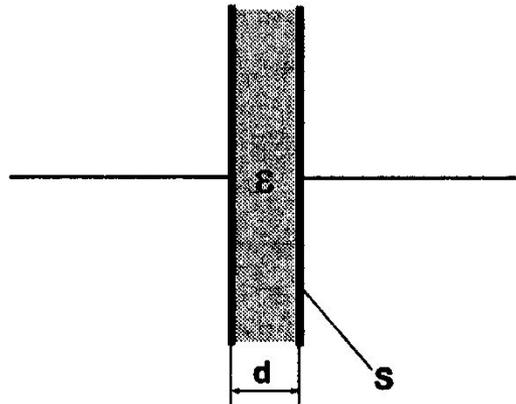
$$U_{\text{ВЫХ}} = U_2 = \frac{1}{1+9} 10 = 1 \text{ В} \quad I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{10}{(1+9) \cdot 10^3} = 1 \text{ мА}$$

$$P_1 = I^2 R_1 = (10^{-3})^2 \cdot 9 \cdot 10^3 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} = 9 \text{ мВт}$$

$$P_2 = I^2 R_2 = (10^{-3})^2 \cdot 10^3 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} = 1 \text{ мВт}$$

## 2.2. Конденсаторы

**Конденсатор** (от лат. *condensare* — «уплотнять», «сгущать») — двухполюсник с определённым значением емкости и малой проводимостью, Это устройство для накопления заряда и энергии электрического поля



$$C = \frac{\varepsilon S}{4\pi d}$$

Рис. 5.5. Схематическое изображение плоского конденсатора и формула для расчета его емкости:  $C$  — емкость, Ф;  $S$  — площадь пластин, м<sup>2</sup>;  $d$  — расстояние между пластинами, м;  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость

Номинальная емкость конденсаторов характеризуется цифрой и буквой, указывающей на единицу измерения и представляющей собой множитель.

0,1 пФ – p10

10пФ – 10p

590 пФ – 590p (n59)

100 нФ – 100n ( $\mu$ 10)

***Конденсатор при подключении источника напряжения заряжается до определенного значения, но не пропускает постоянную составляющую тока.***

## Классификация конденсаторов

По виду диэлектрика различают:

**Конденсаторы вакуумные** (между обкладками находится вакуум).

**Конденсаторы с газообразным диэлектриком.**

**Конденсаторы с жидким диэлектриком.**

**Конденсаторы с твёрдым неорганическим диэлектриком:** стеклянные (стеклоэмалевые, стеклокерамические, стеклоплёночные), слюдяные, керамические, тонкослойные из неорганических плёнок.

**Конденсаторы с твёрдым органическим диэлектриком:** бумажные, металобумажные, плёночные, комбинированные — бумажноплёночные, тонкослойные из органических синтетических плёнок.

**Электролитические и оксидно-полупроводниковые конденсаторы.**

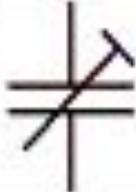
Такие конденсаторы отличаются от всех прочих типов прежде всего большой удельной ёмкостью. В качестве диэлектрика используется оксидный слой на металлическом аноде. Вторая обкладка (катод) — это или электролит (в электролитических конденсаторах), или слой полупроводника (в оксидно-полупроводниковых), нанесённый непосредственно на оксидный слой.

## По возможности изменения своей ёмкости:

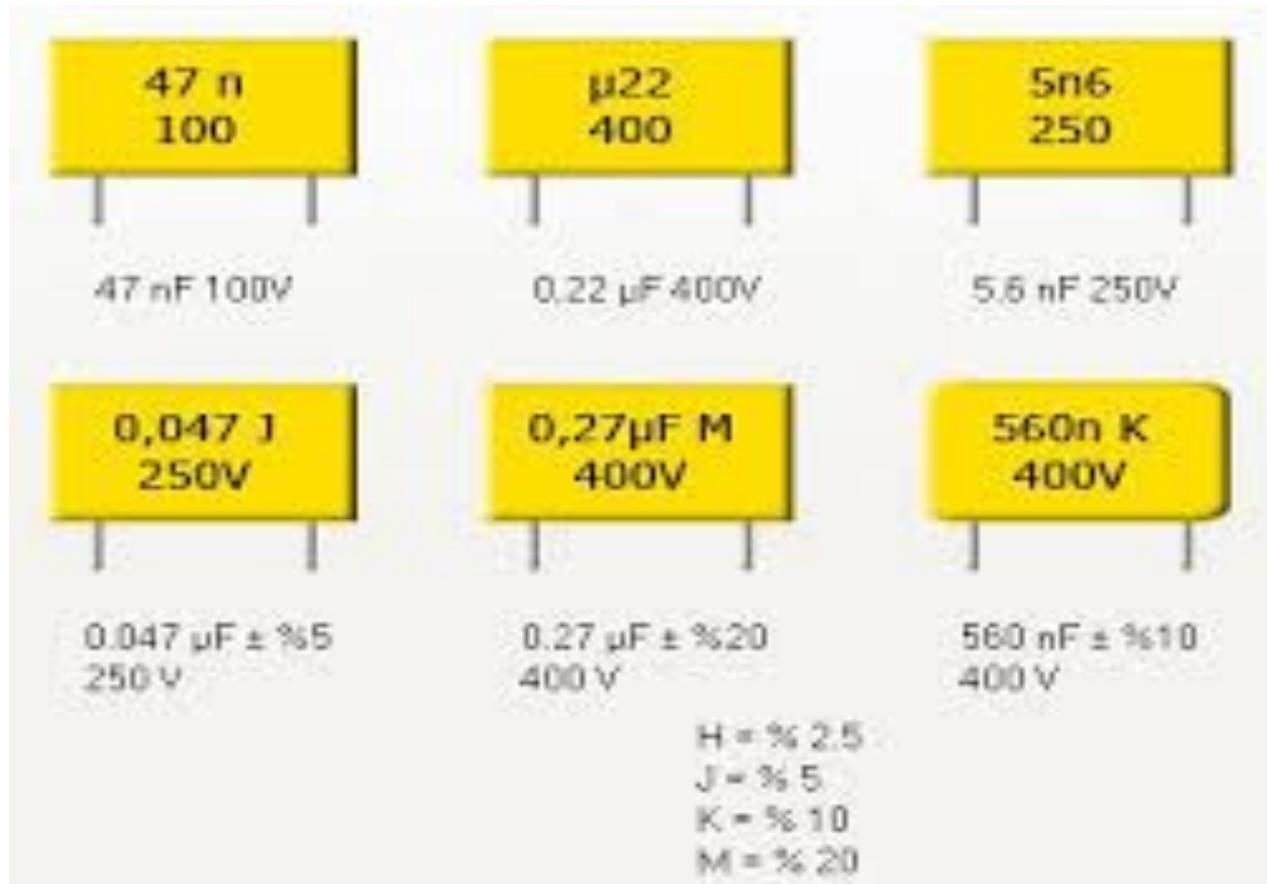
- **Постоянные конденсаторы** — основной класс конденсаторов, не меняющие своей ёмкости (кроме как в течение срока службы).
- **Переменные конденсаторы**- конденсаторы, которые допускают изменение ёмкости в процессе функционирования аппаратуры. Управление ёмкостью может осуществляться механически, электрическим напряжением (вариконды, варикапы) и температурой (термоконденсаторы).
- **Подстроечные конденсаторы** — конденсаторы, ёмкость которых изменяется при разовой или периодической регулировке и не изменяется в процессе функционирования аппаратуры. Их используют для подстройки и выравнивания начальных ёмкостей сопрягаемых контуров, для периодической подстройки и регулировки цепей схем, где требуется незначительное изменение ёмкости.



# Обозначения на схемах

Обозначение по ГОСТ 2.728-74	Описание
	Конденсатор постоянной ёмкости
	Поляризованный конденсатор
	Подстроечный конденсатор

# Маркировка конденсаторов



# Маркировка конденсаторов

Код	Емкость
p10	0.1 пФ
1p5	1.5 пФ
332p	332 пФ
1n0 или 1n0	1.0 нФ
15n или 15n	15 нФ
33n2 или 33n2	33.2 нФ
590n или 590n	590 нФ
μ15	0.15 мкФ
1μ5	1.5 мкФ
33μ2	33.2 мкФ
330μ	330 мкФ
1m0	1 мФ или 1000 мкФ
10 m	10 мФ

# Кодовая маркировка



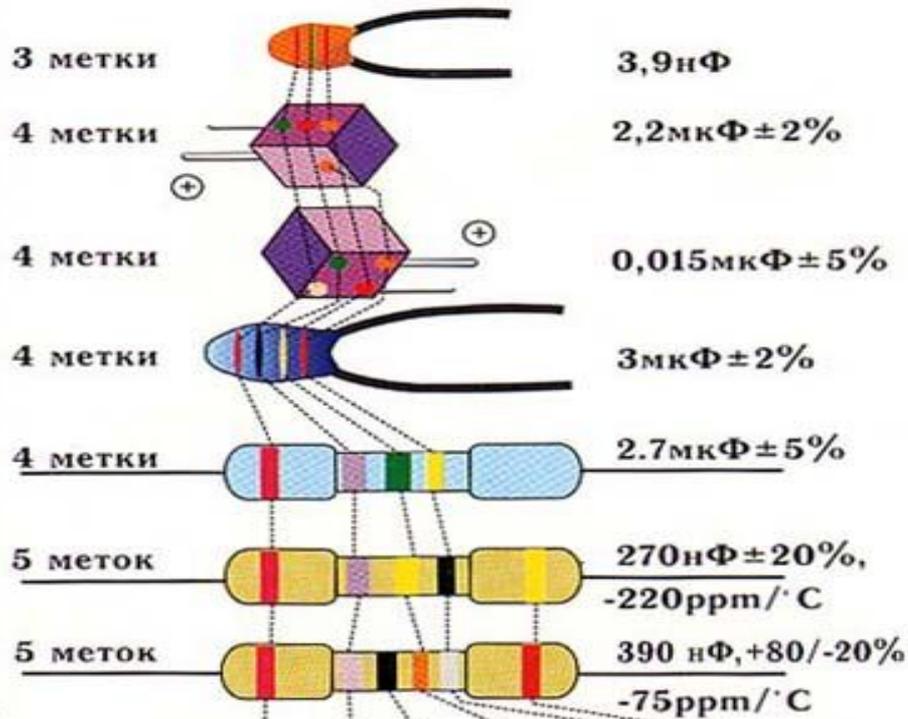
$$104 = 10 \times 10^4 = 100000 \text{ pF} = 100 \text{ nF} = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$303 = 30 \times 10^3 = 30000 \text{ pF} = 30 \text{ nF} = 0,03 \text{ }\mu\text{F}$$

$$152 = 15 \times 10^2 = 1500 \text{ pF} = 1,5 \text{ nF}$$

$$470 = 47 \times 10^0 = 47 \text{ pF}$$

# КОНДЕНСАТОРЫ. ЦВЕТОВАЯ МАРКИРОВКА



Цвет	1-я цифра	2-я цифра	3-я цифра	Допуск	TKE	
Серебряный				0.01	Y5P	
Золотой				0.1		
Черный		0	0	1	20%*	NPO
Коричневый	1	1	1	10	1%**	Y5S/N33
Красный	2	2	2	10 <sup>2</sup>	2%	N75
Оранжевый	3	3	3	10 <sup>3</sup>		N150
Желтый	4	4	4	10 <sup>4</sup>		N220
Зеленый	5	5	5	10 <sup>5</sup>		N330
Голубой	6	6	6	10 <sup>6</sup>		N470
Фиолетовый	7	7	7	10 <sup>7</sup>		N750
Серый	8	8	8	10 <sup>8</sup>	30%	Y5R
Белый	9	9	9	Множитель	+80/-20%	SL

\* Для емкостей меньше 10 пФ допуск ± 2,0 пФ  
 \*\* Для емкостей меньше 10 пФ допуск ± 0,1 пФ

# Маркировка SMD- конденсаторов

## РАБОЧЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ

G — 4 В  
 J — 6.3 или 7 В  
 A — 10 В  
 C — 16 В  
 D — 20 В  
 E — 25 В  
 V — 35 В

\* перед буквами может ставиться цифра, указывающая на диапазон:  
 0 — для напряжений до 10 В  
 1 — для напряжений до 100 В  
 2 — для напряжений до 1000 В.  
 Например, 0E — 2.5 В; 1E — 25 В; 2E — 250 В

## ЕМКОСТЬ

A — 1.0 нФ  
 E — 1.5 нФ  
 J — 2.2 нФ  
 N — 3.3 нФ  
 S — 4.7 нФ  
 W — 6.8 нФ

## МНОЖИТЕЛЬ

5 —  $10^5$   
 6 —  $10^6$   
 7 —  $10^7$



Код	Емкость (мкФ)	Напряжение (В)	Код	Емкость (мкФ)	Напряжение (В)
A6	1.0	16/35	ES6	4.7	25
A7	10	4	EW5	0.68	25
AA7	10	10	GA7	10	4
AE7	15	10	GE7	15	4
AJ6	2.2	10	GJ7	22	4
AJ7	22	10	GN7	33	4
AN6	3.3	10	GS6	4.7	4
AN7	33	10	GS7	47	4
AS6	4.7	10	GW6	6.8	4
AW6	6.8	10	GW7	68	4
CA7	10	16	J6	2.2	6.3/7/20
CE6	1.5	16	JA7	10	6.3/7
CE7	15	16	JE7	15	6.3/7
CJ6	2.2	16	JJ7	22	6.3/7
CN6	3.3	16	JN6	3.3	6.3/7
CS6	4.7	16	JN7	33	6.3/7
CW6	6.8	16	JS6	4.7	6.3/7
DA6	1.0	20	JS7	47	6.3/7
DA7	10	20	JW6	6.8	6.3/7
DE6	1.5	20	N5	0.33	35
DJ6	2.2	20	N6	3.3	4/16
DN6	3.3	20	S5	0.47	25/35
DS6	4.7	20	VA6	1.0	35
DW6	6.8	20	VE6	1.5	35
E6	1.5	10/25	VJ6	2.2	35
EA6	1.0	25	VN6	3.3	35
EE6	1.5	25	VS5	0.47	35
EJ6	2.2	25	VW5	0.68	35
EN6	3.3	25	W5	0.68	20/35



$1.0 \text{ нФ} \times 10^7 = 10 \text{ мкФ}$   
 4 В



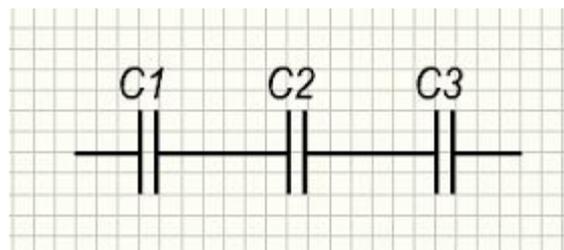
10 мкФ x 10 В



$2.2 \text{ нФ} \times 10^6 = 2.2 \text{ мкФ}$   
 20 В

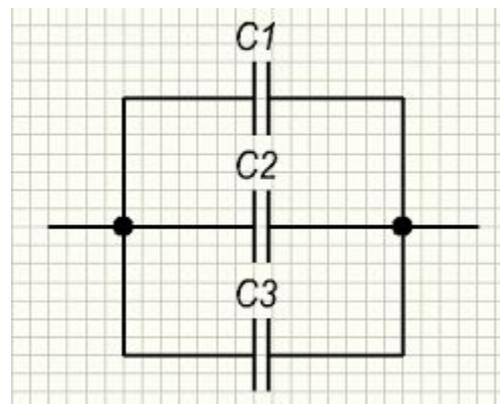
## Последовательное и параллельное соединение конденсаторов

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3}$$



При последовательном соединении наименьший конденсатор заряжается до наивысшего значения

$$C = C1 + C2 + C3$$



Параллельно соединенные конденсаторы все заряжаются до одинакового значения

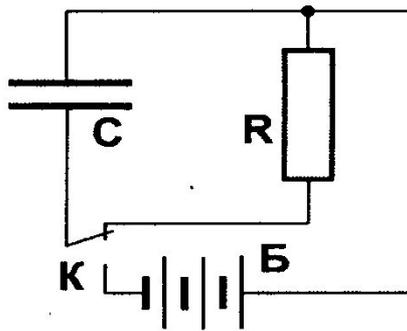


Рис. 5.6. Подключение конденсатора к нагрузке:  
 К — переключатель; Б — батарея; С — конденсатор; R — сопротивление нагрузки

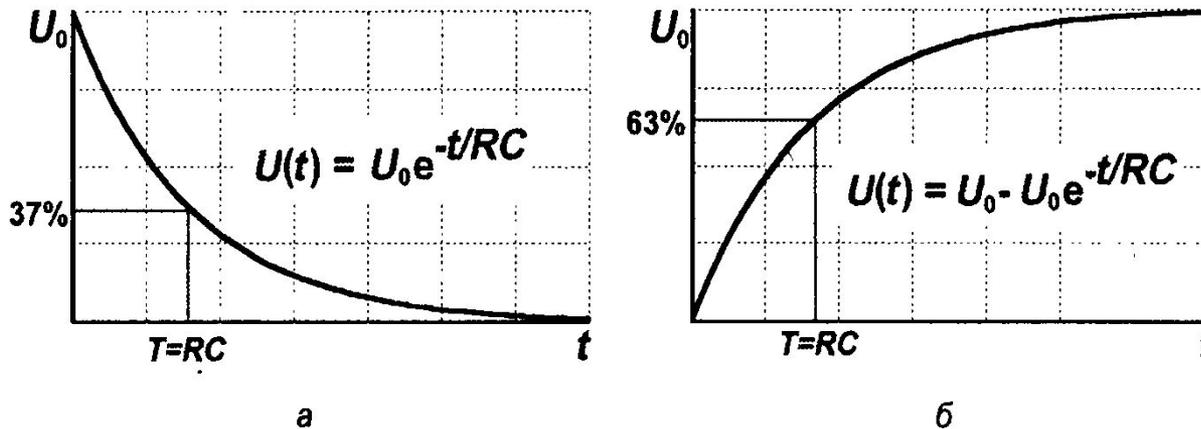


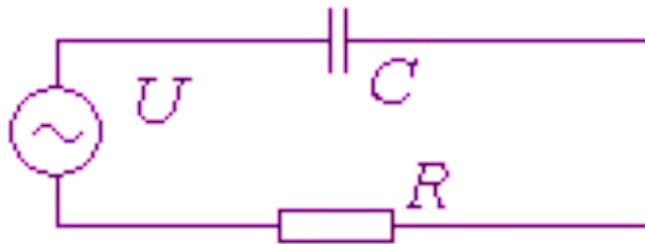
Рис. 5.7. Процессы при разряде и заряде конденсатора:  
 C — емкость; R — сопротивление нагрузки; t — время;

## **$T=RC$ – постоянная времени заряда и разряда**

*Зависимость выходного напряжения от времени наз. амплитудной характеристикой*

# Фильтр низких частот

**Фильтр нижних частот (ФНЧ)** - электрическая цепь, эффективно пропускающая частотный спектр сигнала ниже определённой частоты, называемой частотой среза, и подавляющая сигнал выше этой частоты.



Импеданс - комплексное (полное) сопротивление цепи для гармонического сигнала.

$$Z^2 = R^2 + X^2 \quad Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad U_R = U \frac{R}{Z} = U \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

$X_C$  - реактивное сопротивление конденсатора, равное  $1/2\pi fC$

При равенстве  $R = X_C$  на частоте  $f$ , выражение упростится сокращением  $R$  и примет вид:

$$U_R = U_C = \frac{U}{\sqrt{2}} \approx 0.7U$$

Следовательно, на частоте  $f$  равенство активного и реактивного сопротивлений цепочки RC обеспечит одинаковую амплитуду переменного синусоидального напряжения на каждом из элементов в  $\sqrt{2}$  раз меньше входного напряжения, что составляет приблизительно 0.707 от его значения.

В этом случае частота  $f$  определится исходя из сопротивления  $R$  и ёмкости  $C$  выражением:

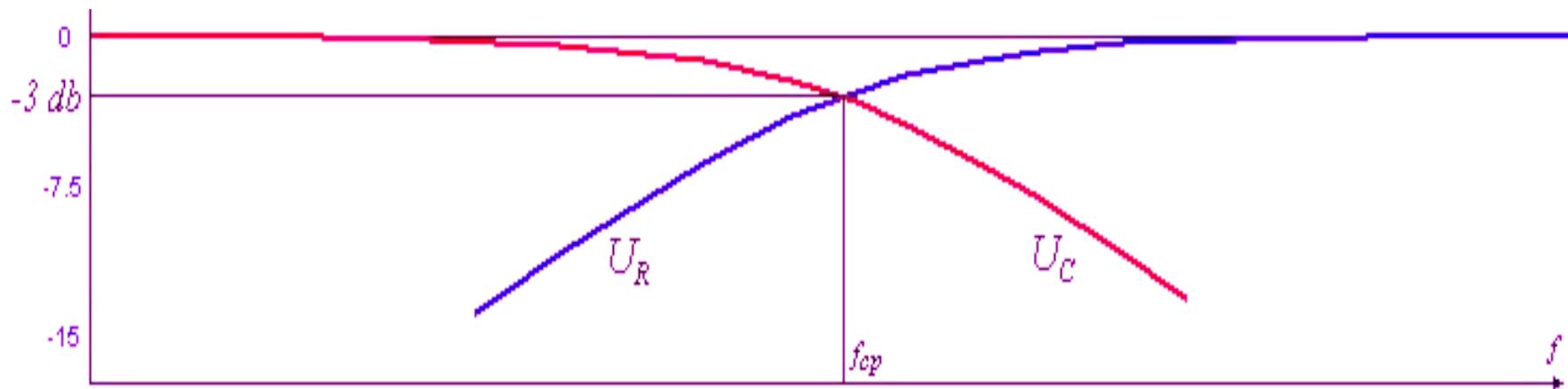
$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi\tau}$$

$\tau$  — постоянная времени цепи RC равна произведению RC

Повышение частоты уменьшит реактивное сопротивление конденсатора и падение напряжение на нём, тогда напряжение на выводах резистора возрастёт. Соответственно, понижение частоты увеличит напряжение на конденсаторе и уменьшит на резисторе.

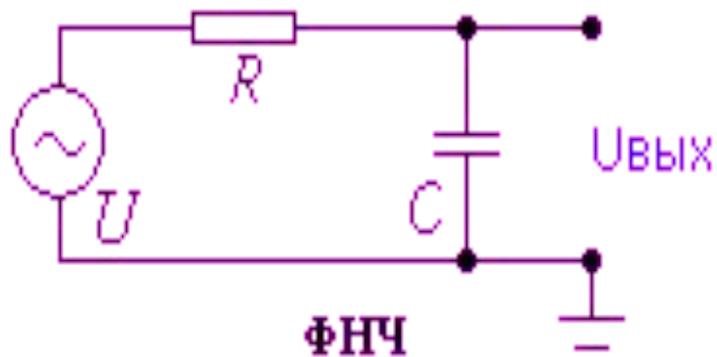
Зависимость амплитуды переменного напряжения от его частоты называют амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ).

Если рассмотреть АЧХ напряжения на выводах конденсатора или резистора в RC цепи, можно наблюдать на частоте  $f = 1/(2\pi \tau)$  спад уровня до значения 0.707, что соответствует -3db по логарифмической шкале.

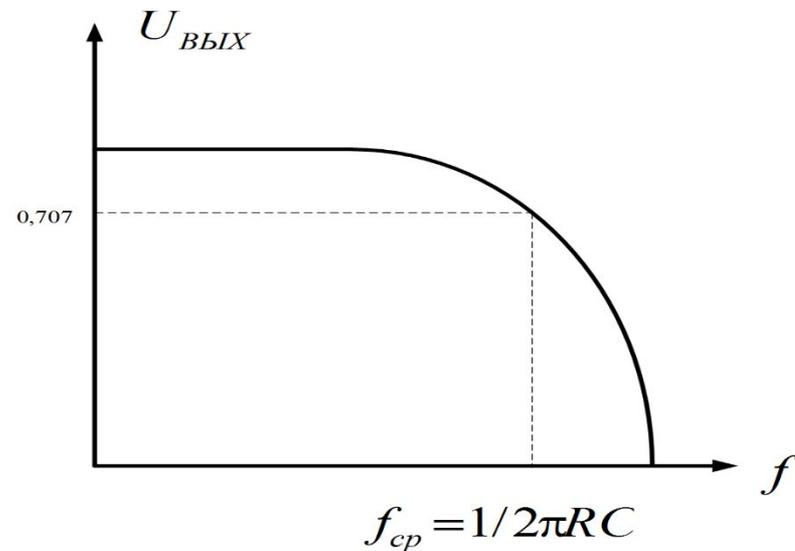


Частоту  $f = 1/(2\pi \tau)$  называют граничной частотой  $f_{гр}$  или частотой среза  $f_{ср}$  фильтра.

## Фильтр низких частот (НЧ)

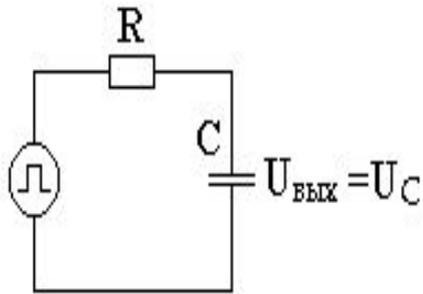


$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

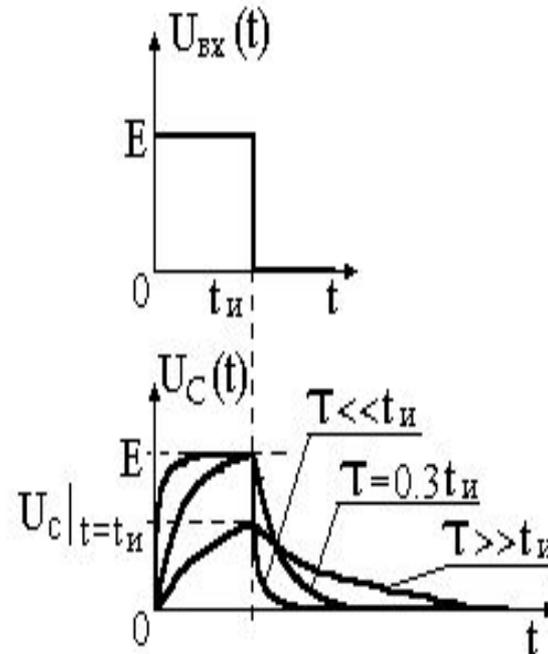


Зависимость напряжения на выходе схемы от частоты входного сигнала называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ)

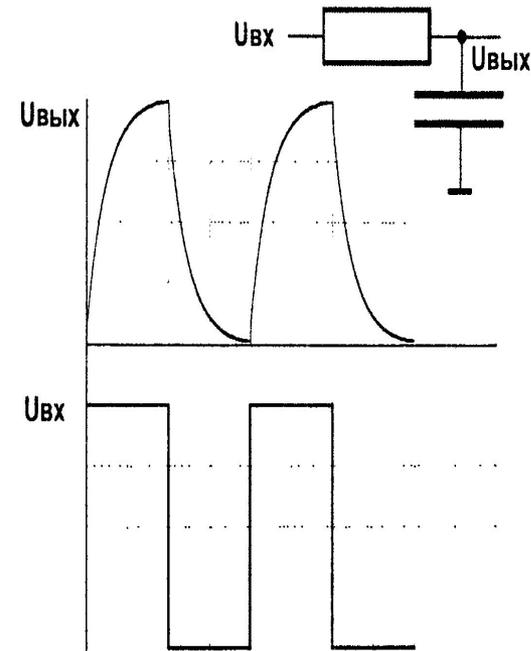
# Интегрирующая цепочка



а)

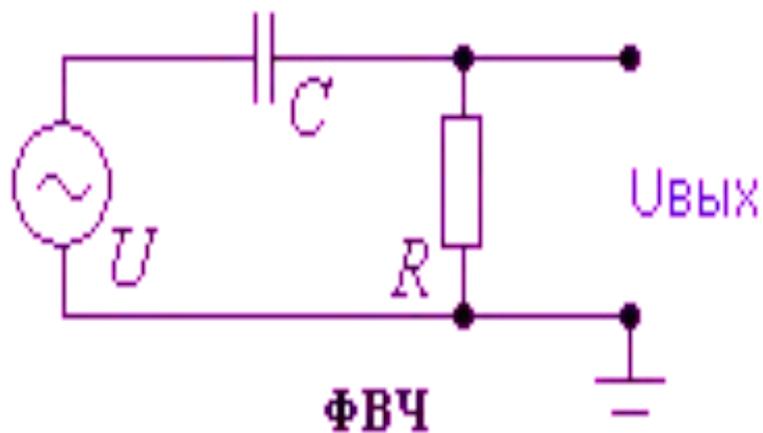


б)

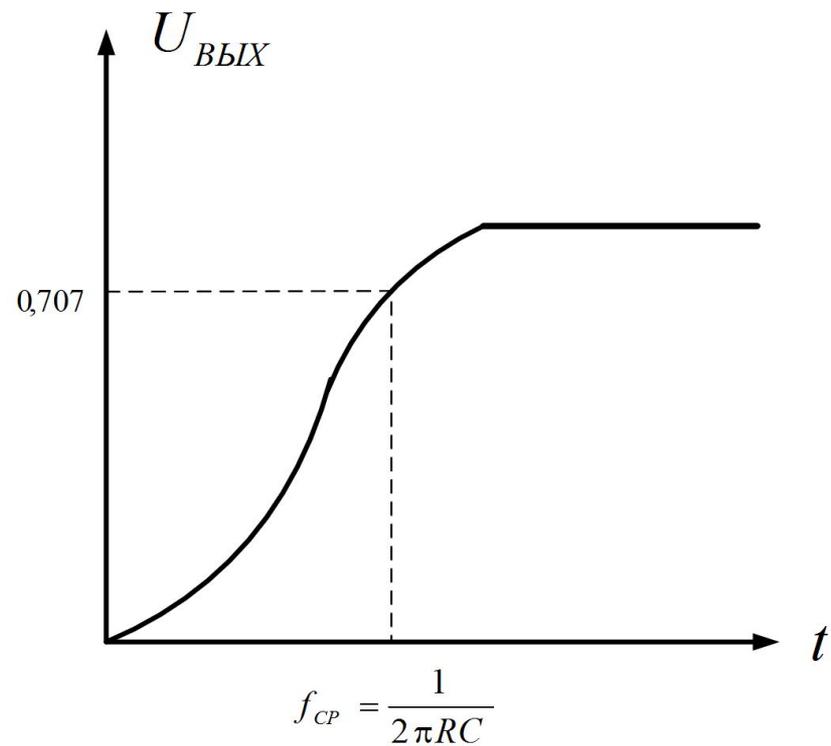


$$U_{\text{ВЫХ}} = -U_C = -\frac{1}{RC} \int U_{\text{ВХ}}(t) dt.$$

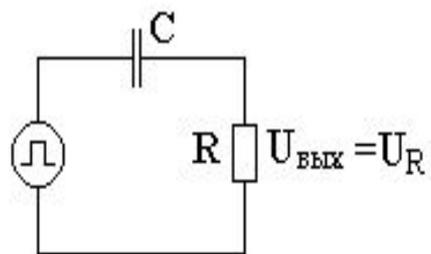
# Фильтр высоких частот (ВЧ)



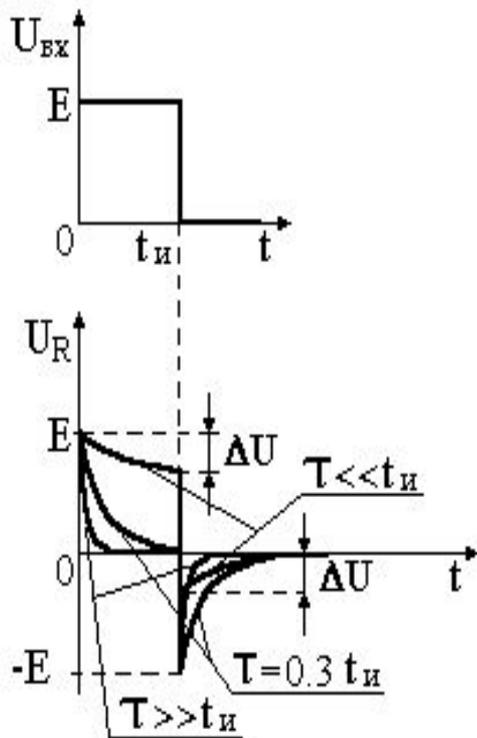
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$



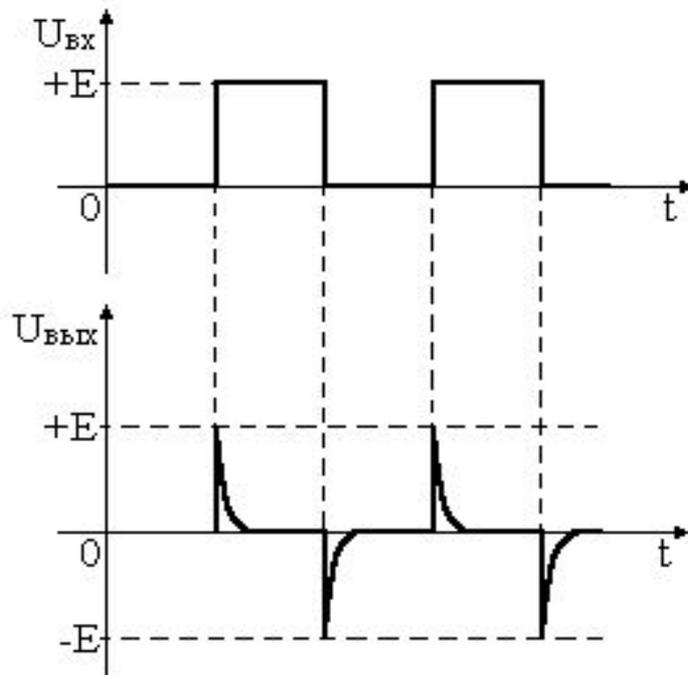
# Дифференцирующая цепочка



а)



б)



## Индуктивность

*Индуктивность* — это способность извлекать энергию из источника и сохранять ее в виде магнитного поля. Это свойство проводника, предотвращающее резкие изменения текущего через него тока. Например, если ток в катушке увеличивается, магнитное поле вокруг катушки расширяется. Если ток в катушке уменьшается, магнитное поле сжимается. Однако сжатие магнитного поля индуцирует в катушке напряжение, которое поддерживает ток. Таким образом, индуктивность позволяет энергии сохраняться в виде магнитного поля, зависящего от тока. Когда ток уменьшается, уменьшается и магнитное поле, возвращая в цепь запасенную энергию.

Единица, которой измеряется индуктивность называется генри (Гн). Она названа в честь американского физика Джозефа Генри (1797–1878). Генри — это такая индуктивность, которая требуется для индуцирования электродвижущей силы (э.д.с.) в 1 вольт при изменении тока в проводнике со скоростью 1 ампер в секунду. Генри — большая единица, значительно чаще используются миллигенри (мГн) и микрогенри (мкГн). Индуктивность обозначается символом  $L$ .

**Катушки индуктивности** — это устройства, имеющие определенную индуктивность. Они состоят из провода, намотанного на сердечник, и классифицируются по материалу сердечника. Сердечник катушки может быть либо магнитным, либо немагнитным. На рис. 10-1 показано схематическое обозначение катушки индуктивности.



Рис. 10-1. Схематическое обозначение катушки индуктивности.



Рис. 10-2. Схематическое обозначение катушки с переменной индуктивностью



Рис. 10-5. Схематическое обозначение катушки индуктивности с железным сердечником.

**Последовательное соединение катушек индуктивности**

$$L = L_1 + L_2$$

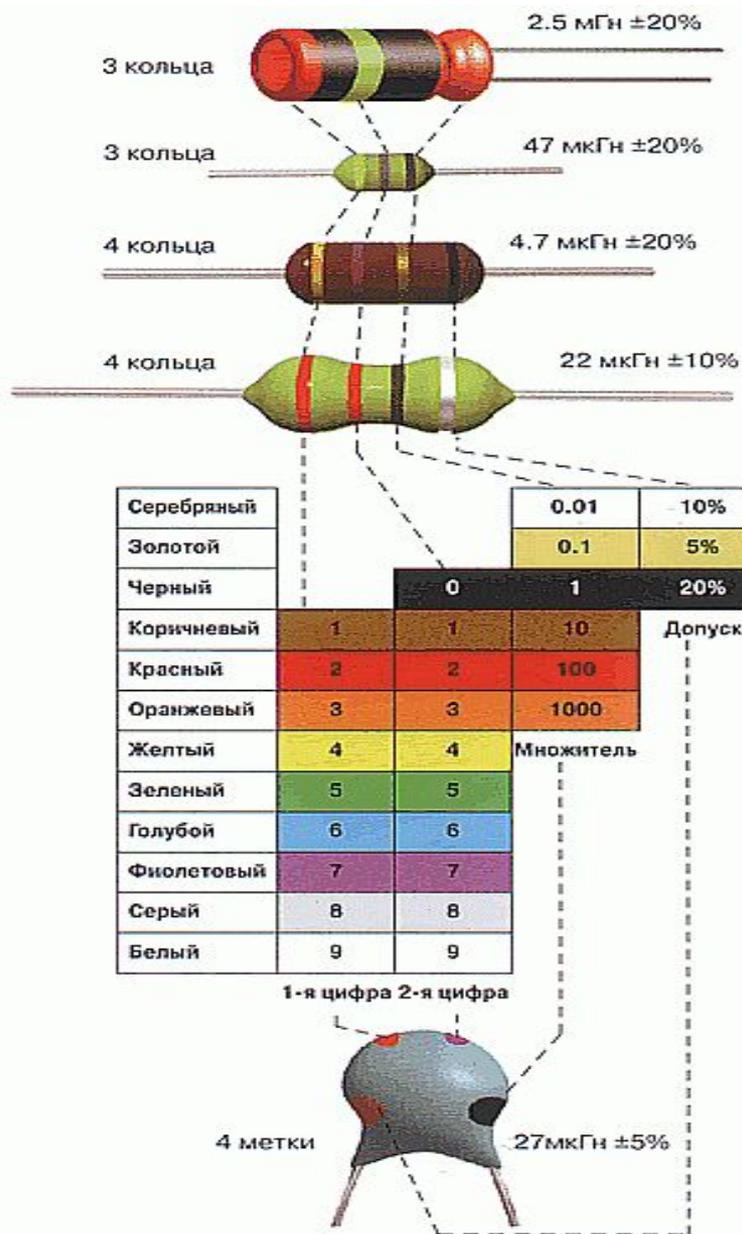
**Параллельное соединение катушек индуктивности**

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

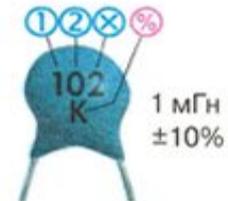
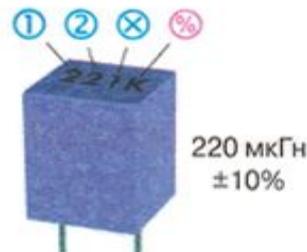
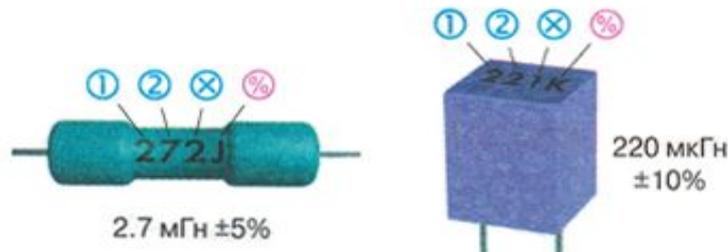
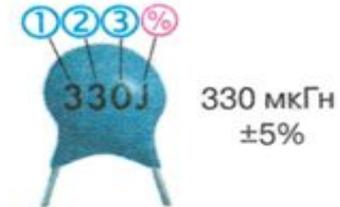
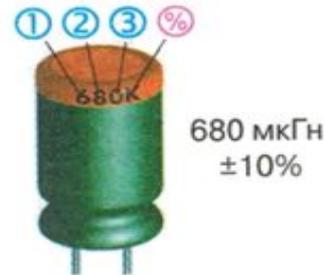
# Конструкция катушек ИНДУКТИВНОСТИ



# Цветная маркировка катушек индуктивности



# Катушки SMD - технологии



## Номинал

Вариант 1:



2 цифры и буква  
как десятичная  
точка и ед. изм. E  
R мкГн  
N нГн

Вариант 2:



3 цифры, последняя из  
которых равна числу  
доб. нулей. Ед. изм. мкГн

Вариант 3:



3 цифры.  
Единица  
изм. мкГн

## Допуск



D ±0.3 нГн  
J ±5 %  
K ±10 %  
M ±20 %

# Трансформаторы

