

# ТЕМА :

## *“ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ”*

1. Определения в области производства и конструирования ИМС
2. Классификация ИМС
3. Условные обозначения ИМС
4. Методы контроля ИМС

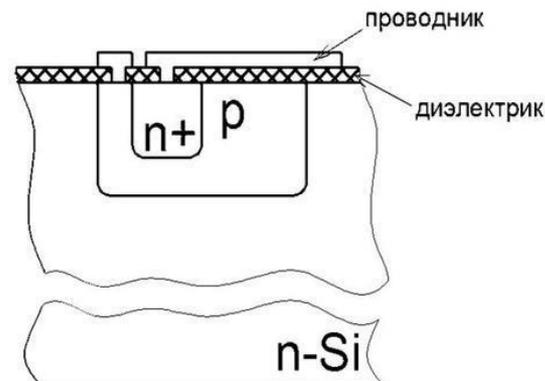


# 1.1 Классификация интегральных микросхем по конструкторско-технологическому исполнению

## Полупроводниковые микросхемы

Полупроводниковые ИС - это ИС, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в объеме и на поверхности полупроводникового кристалла.

### Полупроводниковые микросхемы



# 1.1 Классификация интегральных микросхем по конструкторско-технологическому исполнению

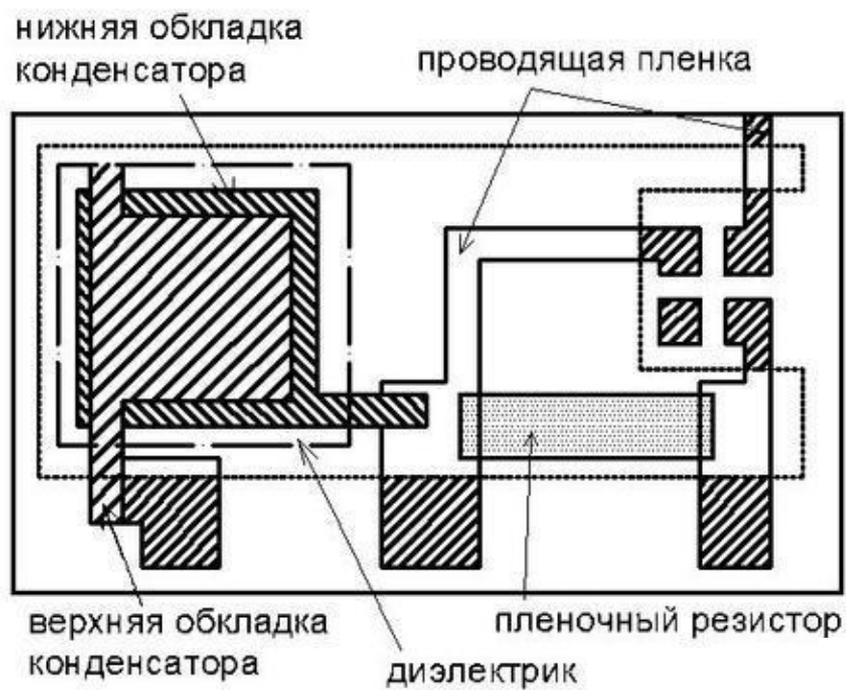
## Пленочные микросхемы

Пленочная ИС - это схема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в виде пленок на диэлектрической подложке (при этом элементы преимущественно изготовлены методами вакуумного нанесения).

Толстопленочная ИС - это схема с толщиной пленок 10-70 мкм, элементы которой изготавливаются методами трафаретной печати (сеткография).

Различия между тонко- и толстопленочными ИС может быть количественным и качественным. К тонкопленочным ИС относят ИС с толщиной пленок  $< 1$  мкм, к толстопленочным ИС - ИС с толщиной пленок 10-70 мкм.

## Пленочные микросхемы



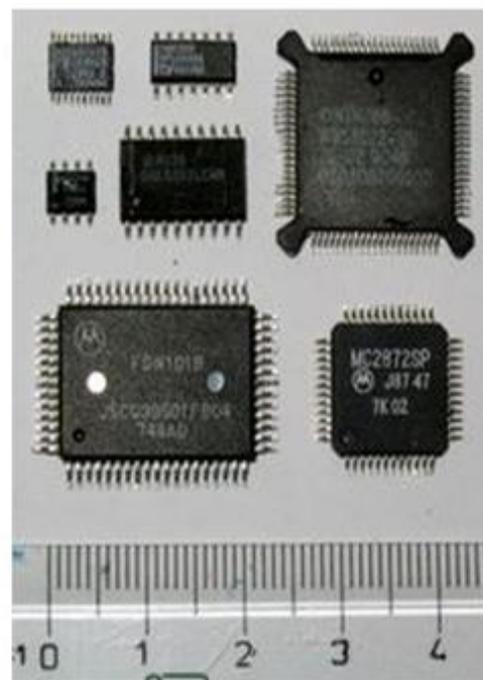
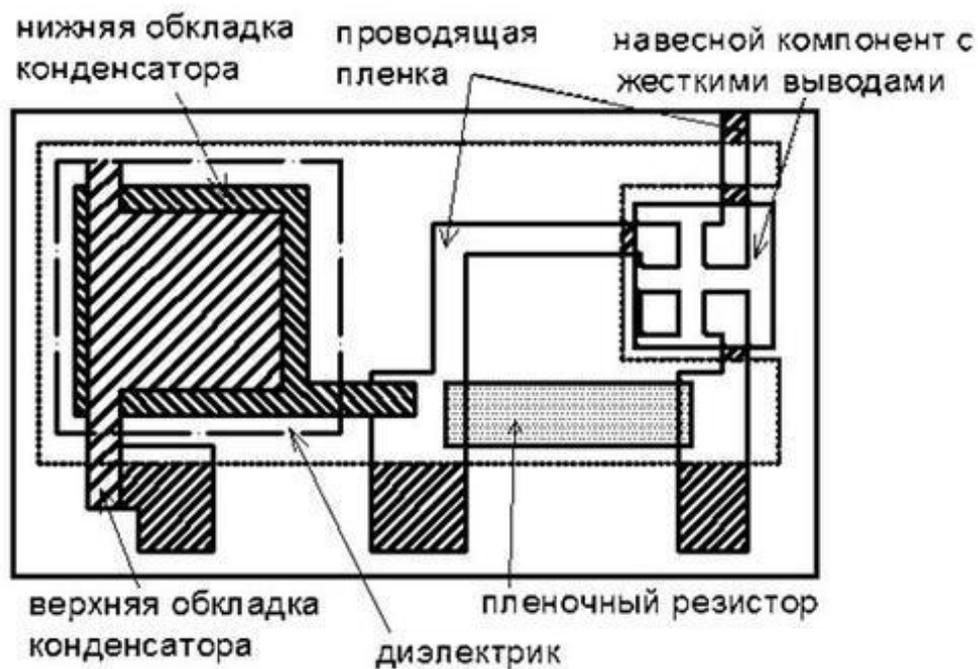
# 1.1 Классификация интегральных микросхем по конструкторско-технологическому исполнению

## Гибридные микросхемы

ГИС - это ИС, часть элементов которой (обычно пассивные) выполнены в виде пленок (1-2 мкм - тонкопленочная, 10-70 мкм - толстопленочная), а другая часть - в виде кристаллов полупроводниковых ИС или микроминиатюрных ЭРЭ, расположенных на диэлектрической подложке и электрически связанных между собой пленочными межэлементными соединениями.

# 1.1 Классификация интегральных микросхем по конструкторско-технологическому исполнению

## Гибридные микросхемы



# УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ИМС

XX X XXX XX XX

Поле 1: одна-две буквы, которые обозначают область применения, конструктивное исполнение, материал корпуса.

“К” – ИМС широкого назначения;

“-” – ИМС специального назначения.

Вторая буква :

“Р” – пластмассовый;

“М” – металлокерамический.

Поле 2 : одна цифра, которая определяет группу по конструктивно - технологическому исполнению кристаллов и плат ИМС.

“1,5,7” – полупроводниковые ИМС;

“2,4,6,8” – гибридные ИМС;

“3” – другие ИМС.

Поле 3: до 3х цифр (в диапазоне 000-999), указывает номер разработки серии ИМС.

Поле 4: две буквы, указывают группу и вид по функциональному назначению.

Поле 5: одна-две цифры, или цифра и буква, указывают отличительные особенности вариантов ИМС при совпадении группы и вида в поле 4.

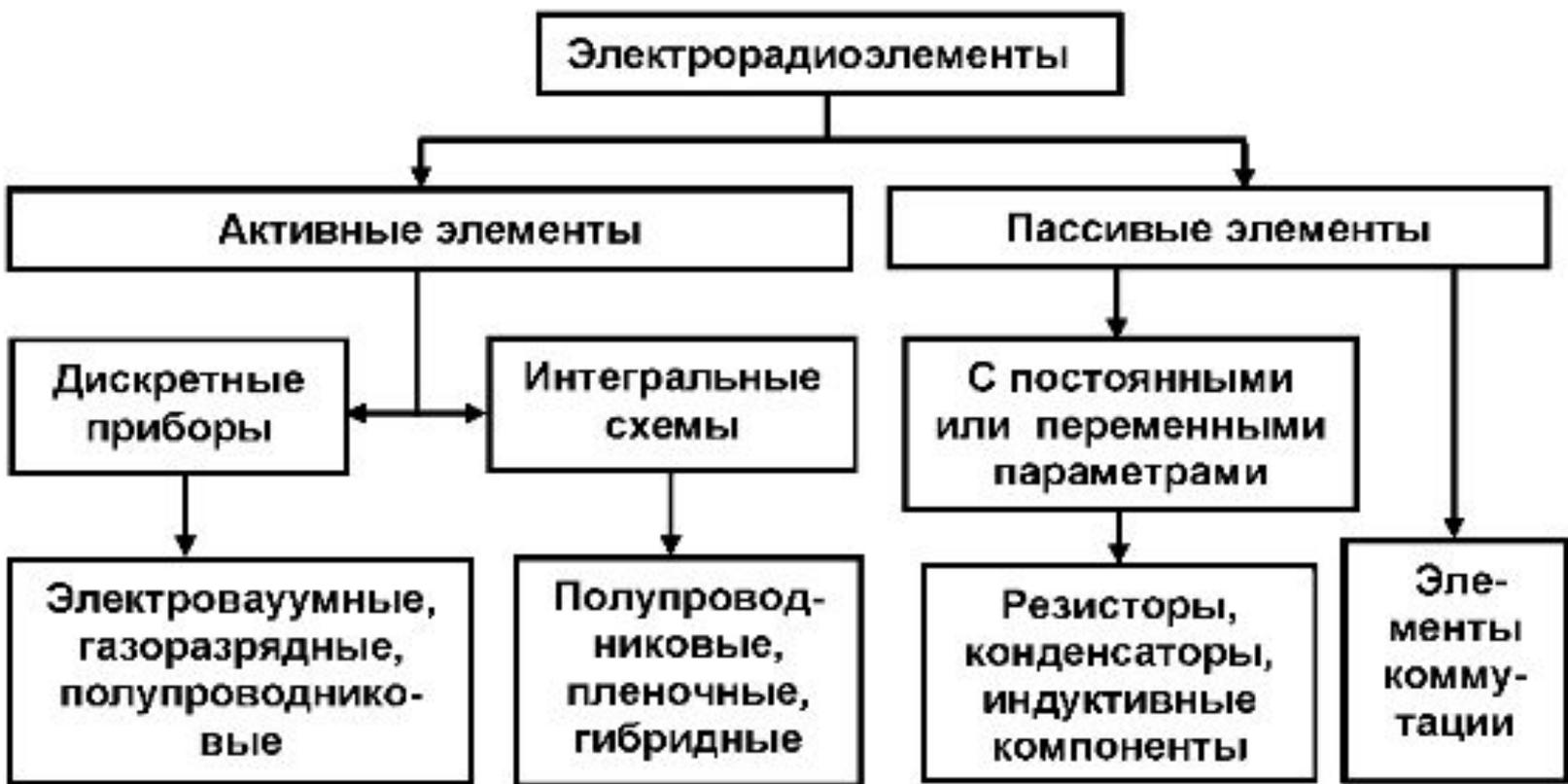
Підгрупа	Вид	Позначення
<b>А</b> Формувачі	Імпульсів прямокутної форми	АГ
	Імпульсів спеціальної форми	АФ
	Адресних струмів	АА
	Разрядних струмів	АР
	Інші	АП
<b>Б</b> Схеми затримки	Пасивні	БМ
	Активні	БР
	Інші	БП
<b>В</b> Схеми розрахункових засобів	Мікро ЕВМ	ВЕ
	Мікропроцесори	ВМ
	Схеми керування пам'яттю	ВТ
	Схеми синхронізації	ВБ
<b>Г</b> Генератори	Прямокутних сигналів	ГГ
	шума	ГМ
<b>Д</b> Детектори	Амплітудні	ДА
	Імпульсні	ДИ
	частотні	ДС
<b>Е</b> Схеми джерела живлення	Випрямлячі	ЕВ
	Перетворювачі	ЕМ
	Стабілізатори напруги	ЕК
	Імпульсні стабілізатори струму	ЕУ
<b>И</b> Схеми цифрових приладів	Суматори	ИМ
	Напівсуматори	ИЛ
	Лічильники	ИЕ
	Шифратори	ИВ
	Дешифратори	ИД
	Комбіновані	ИК
<b>К</b>	Ключ струма	КТ
	Ключ напруги	КН
<b>Л</b> Логічні елементи	И	ЛИ
	НЕ	ЛН
	ИЛИ	ЛЛ
	И-НЕ	ЛА
	ИЛИ-НЕ	ЛЕ
	И-ИЛИ	ЛС
	И-ИЛИ-НЕ	ЛР

<b>М</b> Модулятори	Амплітудні Частотні Фазові імпульсні	МА МС <u>МФ</u> МИ
<b>Н</b> Набори елементів	Діодів Транзисторів Резисторів Конденсаторів	НД НТ НР НЕ
<b>П</b> Перетворювачі сигналів	<u>Частоти</u> Напруги Потужності <u>Рівня</u>	<u>ПС</u> ПН <u>ПМ</u> <u>ПУ</u>
<b>С</b> Схеми порівняння	Амплітудні Часові Частотні Компаратори	СК СВ СС СА
<b>Т</b> Тригери	Т-тригери Динамічні <u>Шмітта</u>	ТТ ТД ТЛ
<b>У</b> Підсилювачі	Високої частоти Низької частоти Імпульсні сигнали Повторювачі	УВ УН УИ УЕ
<b>Ф</b> Фільтри	Верхніх частот Низьких частот <u>Полосові</u> <u>режекторні</u>	ФВ ФН ФЕ ФР

ТЕМА :

*“КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ  
МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ  
АППАРАТУРЫ”*

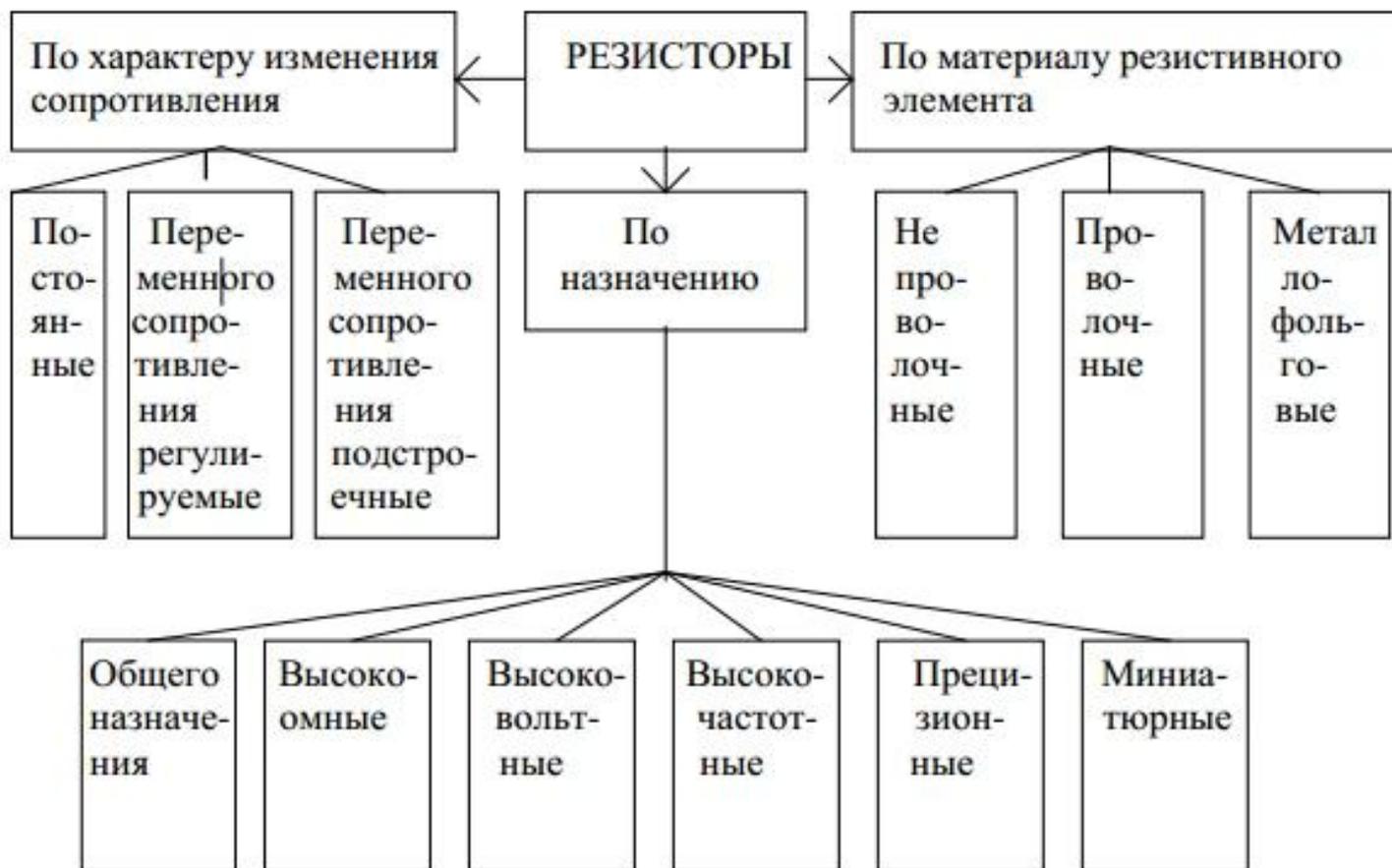
1. *Активные и пассивные элементы*
2. *Резисторы*
3. *Конденсаторы*
4. *Индуктивности*



# РЕЗИСТОРЫ



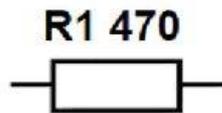
# РЕЗИСТОРЫ



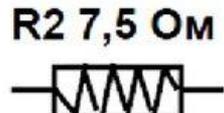


## Система обозначений

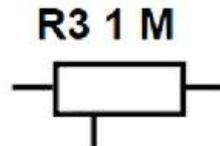
### Условно-графическое обозначение на принципиальных схемах



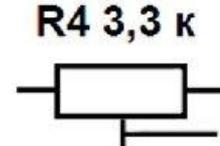
Постоянный резистор



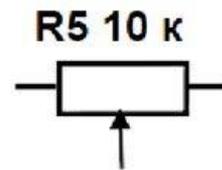
Проволочный резистор



Резистор с отводом



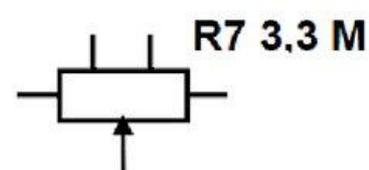
Подстроечный резистор



Переменный резистор



Переменный резистор с замыкающим контактом



Переменный резистор с отводами

При использовании буквенно-цифрового кода сопротивления резисторов обозначают цифрами с указанием единицы измерения. Принято обозначать буквами: R - ом, K - килоом, M -мегаом.

Если значение сопротивления выражается целым числом, то обозначение единицы измерения ставят после числа.

Например:  
15R - 15 Ом,  
47K - 47 кОм,  
10M - 10 МОм.

Если сопротивление выражается десятичной дробью, меньшей единицы, то вместо нуля целых и запятой впереди цифры располагают обозначение единицы измерения.

Например:  
R12 - 0,12 Ом,  
K27 - 0,27 кОм,  
M82 - 0,82 МОм.

Если сопротивление выражается целым числом с десятичной дробью, то после целого числа вместо запятой ставят обозначение единицы измерения. Например:

5R1 - 5,1 Ом,  
3K3 - 3,3 кОм,  
1M5 - 1,5 МОм.

В 2002 году появилась новая сокращенная система обозначения типов резисторов, в соответствии с которой обозначение типов резисторов состоит из трех элементов:  
 P1-4

Первый элемент	Второй элемент	Третий элемент
<b>P – постоянные резисторы</b>	1 – непроволочные 2 – проволочные, металлофольговые	Номер конструктивного исполнения
<b>РП – переменные резисторы</b>		
<b>ТР – терморезисторы с отрицательным ТКС</b>		
<b>ТРП – терморезисторы с положительным ТКС</b>		
<b>ВР – варисторы постоянные</b>		
<b>ВРП – варисторы переменные</b>		

## Цветовая маркировка отечественных резисторов (непроволочных)

Цвет	1-й элемент	2-й элемент	3-й элемент	Множитель	Допуск	ТКС, $\%/^{\circ}\text{C}$
Золотой				0,1 Ом	$\pm 5$	
Серебрянный				0,01 Ом	$\pm 10$	
Черный		0	0	1 Ом	$\pm 20$	
Коричневый	1	1	1	10 Ом	$\pm 1$	100
Красный	2	2	2	100 Ом	$\pm 2$	50
Оранжевый	3	3	3	1 кОм		15
Желтый	4	4	4	10 кОм		25
Зеленый	5	5	5	100 кОм	$\pm 0,5$	
Голубой	6	6	6	1 МОм	$\pm 0,25$	10
Фиолетовый	7	7	7	10 МОм	$\pm 0,1$	5
Серый	8	8	8	100 МОм	$\pm 0,05$	
Белый	9	9	9			1

Пример  
обозначения:  
4.64 кОм $\pm$ 0.25%



# Параметры резисторов



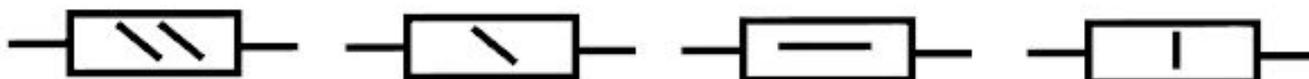
**1. Номинальная мощность рассеяния  $P_n$ , Вт.** Это наибольшая допустимая мощность, которую резистор может рассеивать при заданных условиях эксплуатации в течение гарантированного срока службы (обычно 10 тыс. часов).

**$P_R = I^2R$**  – мощность электрического тока, рассеиваемая резистором, Вт;  $I$  – ток через резистор, А;  $R$  – электрическое сопротивление резистора, Ом;

Согласно ГОСТ 10318 и ГОСТ 24013 значения номинальных мощностей рассеяния для вновь разрабатываемых резисторов назначаются из ряда 0,01 – 0,025 – 0,05 – 0,062 – 0,125 – 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 8 – 10 – 16 – 25 – 40 – 63 – 80 – 100 – 250 – 500 Вт.



# Обозначение номинальной мощности



0,125 Вт

0,25 Вт

0,5 Вт

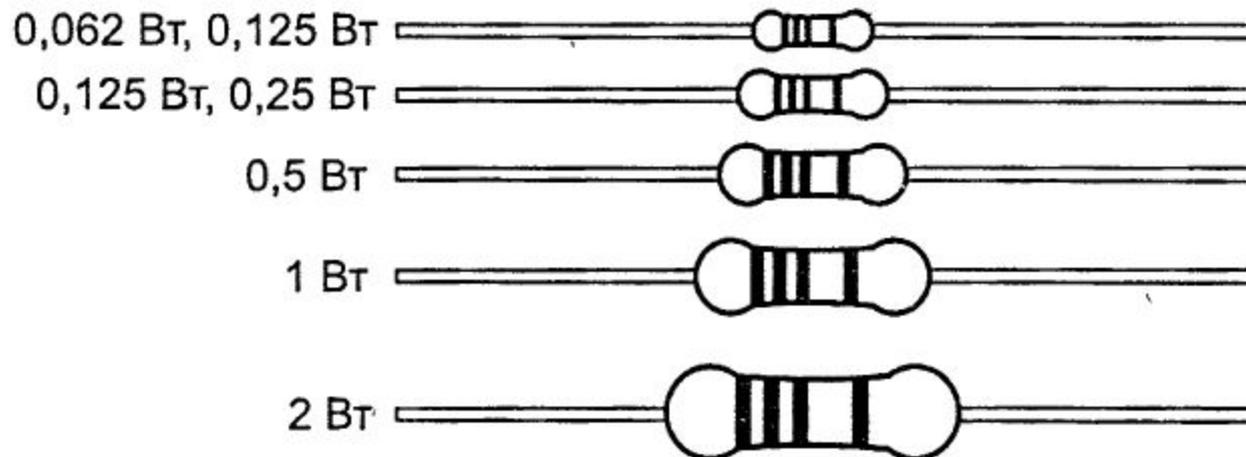
1 Вт



2 Вт

5 Вт

10 Вт



0,062 Вт, 0,125 Вт

0,125 Вт, 0,25 Вт

0,5 Вт

1 Вт

2 Вт

В процессе работы резистор нагревается и температура его перегрева  $\Delta T$  относительно окружающей среды определяется соотношением

$$\Delta T = \frac{P_R}{\alpha S}, \text{ К,}$$

где  $\Delta T = T_R - T_0$

$T_R$  – температура резистора, °С;

$T_0 \approx 20$  °С – температура окружающей среды;

$S$  – площадь поверхности резистора, м<sub>2</sub>;

$\alpha \approx 10$  Вт/К×м<sup>2</sup> – коэффициент теплоотдачи с единицы площади поверхности резистора.

## Параметры резисторов



**2. Номинальное сопротивление  $R_n$ .** Это значение сопротивления, указанное в ТУ на резистор. Согласно ГОСТ 2825 номинальные значения сопротивлений резисторов назначаются из шести десятичных рядов: **E6, E12, E24, E48, E96, E192**. Для переменных резисторов в соответствии с ГОСТ 10318 установлены ряды E6 и E3. Кратные и дольные единицы сопротивления получают путем умножения члена ряда на  $10^k$ , где  $k$  – целое положительное или отрицательное число.



## Стандартные ряды

<b>E6</b>	<b>E12</b>	<b>E24</b>	<b>E6</b>	<b>E12</b>	<b>E24</b>	<b>E6</b>	<b>E12</b>	<b>E24</b>
1	1	1	2,2	2,2	2,2	4,7	4,7	4,7
		1,1			2,4			5,1
	1,2	1,2		2,7	2,7		5,6	5,6
		1,3			3			6,2
1,5	1,5	1,5	3,3	3,3	3,3	6,8	6,8	6,8
		1,6			3,6			7,5
	1,8	1,8		3,9	3,9		8,2	8,2
		2			4,3			9,1

например резистор из ряда E12 может иметь сопротивление 1,2 Ом, 12 Ом, 120 Ом, ..., 1,2 МОм, 12 МОм, 1,5 Ом, 15 Ом и т. д.

## Параметры резисторов



**3. Допускаемое отклонение сопротивления от номинального значения (допуск)  $\delta R$ , %.** Значения допусков согласованы с номером десятичного ряда, который используется при назначении сопротивления. Согласно ГОСТ 9667 допуски составляют **20%, 10%, 5%, 2%, 1%, 0,5%,...** для значений сопротивлений, назначаемых из десятичных рядов E6...E192, соответственно. Для прецизионных резисторов разрешается назначать меньшие значения допусков – от 0,25% до 0,001%.

## Параметры резисторов



**4. Предельное рабочее напряжение  $U_{\text{пред}}$ .** Это напряжение, устанавливаемое с учетом тепловых процессов в РЭ, электрической прочности резистора, конструкции и размеров резистора и обеспечения длительной работоспособности. Значение

$$U_{\text{пред}} = \sqrt{P_{\text{н}} R_{\text{н}}}$$

Согласно ГОСТ 24013 предельные рабочие напряжения постоянных резисторов устанавливаются из рядов 25 – 50 – 150 – 200 – 250 – 500 – 750 В и 1 – 1,5 – 2,5 – 3 – 4 – 5 – 10 – 25 – 35 – 40 – 60 кВ.

# Параметры резисторов



**5. Температурный коэффициент сопротивления резистора ТКС.** Представляет собой относительное изменение сопротивления резистора при изменении его температуры на один градус:

$$\alpha_{RT} = \frac{\Delta R}{\Delta T} \frac{1}{R} \quad , \text{K}^{-1}.$$

Значение *ТКС* должно быть таким, чтобы в рабочем диапазоне температур величина сопротивления резистора не выходила за пределы допустимых отклонений. Для большинства резисторов значение

$$\alpha_{RT} \approx \pm 10^{-4} \dots 10^{-3} \quad \text{K}^{-1}.$$

## Параметры резисторов

**6. ЭДС шумов резистора  $E_{ш}$ .** Это параметр, который характеризует уровень электрических шумов, возникающих при протекании электрического тока по резистору вследствие неоднородности материала РЭ. Значение ЭДС шумов определяется соотношением

$$E_{ш} = \frac{U_{ш}}{U_{раб}} \quad , \text{ мкВ/В},$$

где  $U_{ш}$  – действующее напряжение шума, мкВ.

# Параметры переменных резисторов

**7. Функциональная характеристика** представляет зависимость сопротивления  $R$  переменного резистора от угла поворота  $R = f(\varphi)$  или от величины линейного перемещения  $R = f(l)$  скользящего контакта вдоль РЭ. По виду функциональной характеристики переменные резисторы делятся на следующие группы: линейные (типа А); нелинейные (типа Б – логарифмические и типа В – обратнологарифмические); специального назначения (типа И или Е). Функциональные характеристики переменных резисторов представлены на рис. 7.8.

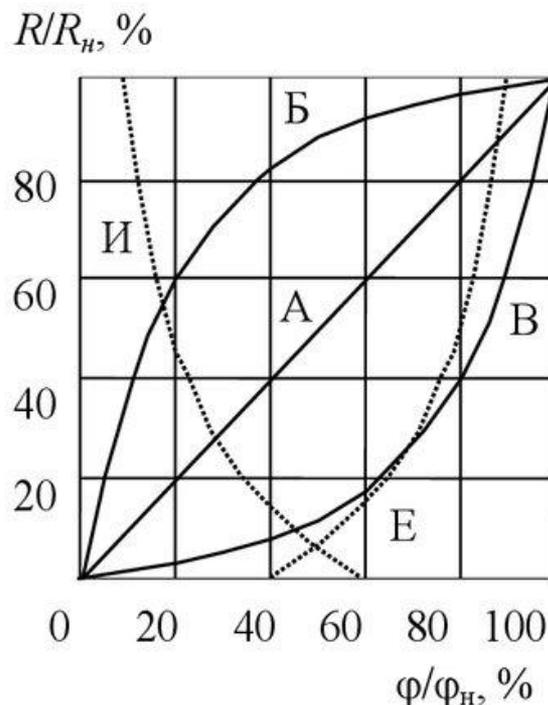
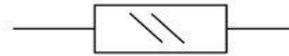


Рис. 7.8. Функциональные характеристики переменных резисторов ( $\varphi_n$  – максимальный угол поворота движка резистора)

## Параметры переменных резисторов

**8. Износостойкость** переменных резисторов оценивается максимально допустимым числом поворотов (или циклов перемещения от упора до упора и обратно) подвижной системы, при достижении которого параметры резистора еще остаются в пределах норм ТУ.

# Постоянные резисторы



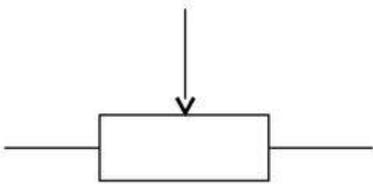
- общего применения,
- точные,
- прецизионные,
- высокочастотные,
- высокоомные,
- высоковольтные.



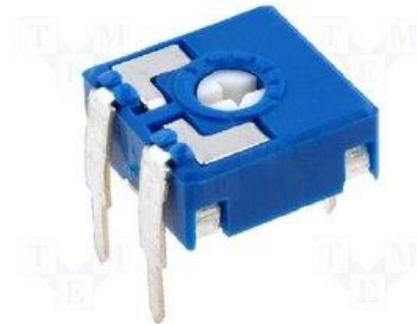
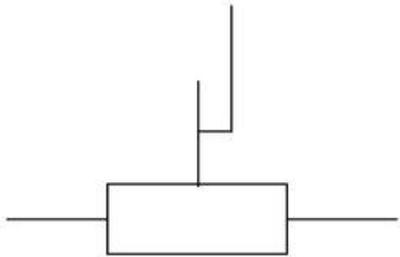
# Переменные резисторы



- регулировочные



- подстроечные



# Резисторы

## Конструкция резисторов

### 1. Пленочный выводной резистор

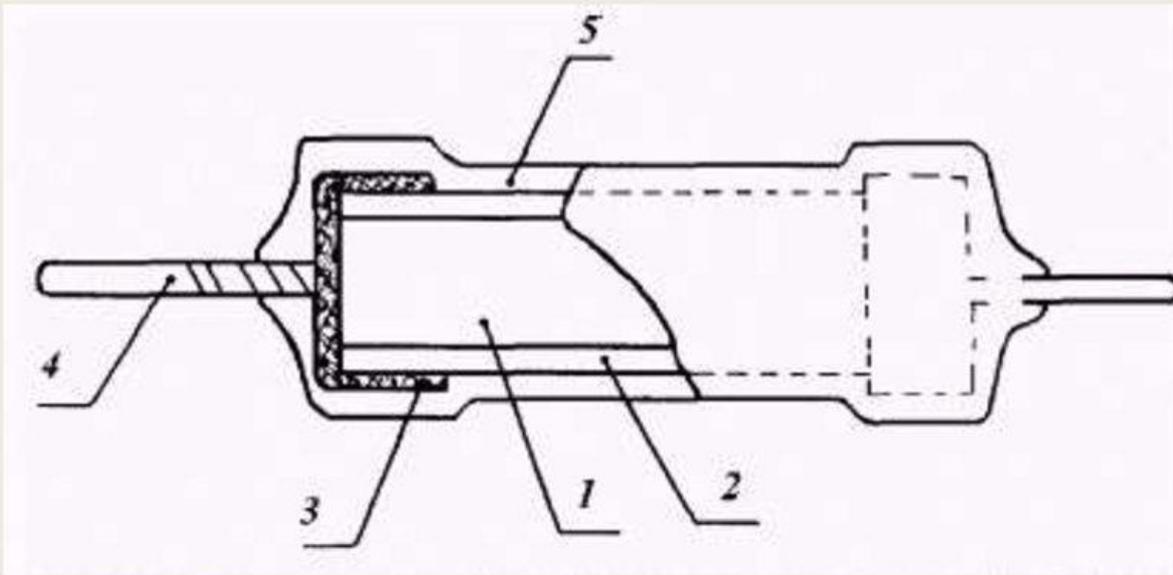


Рис. 1. Конструкция пленочного выводного резистора:

1 – диэлектрическое цилиндрическое основание;

2 – резистивная пленка;

3 – контактные колпачки;

4 – выводы;

5 – защитная пленка

# Резисторы

## Конструкция резисторов

### 2. Проволочный выводной резистор

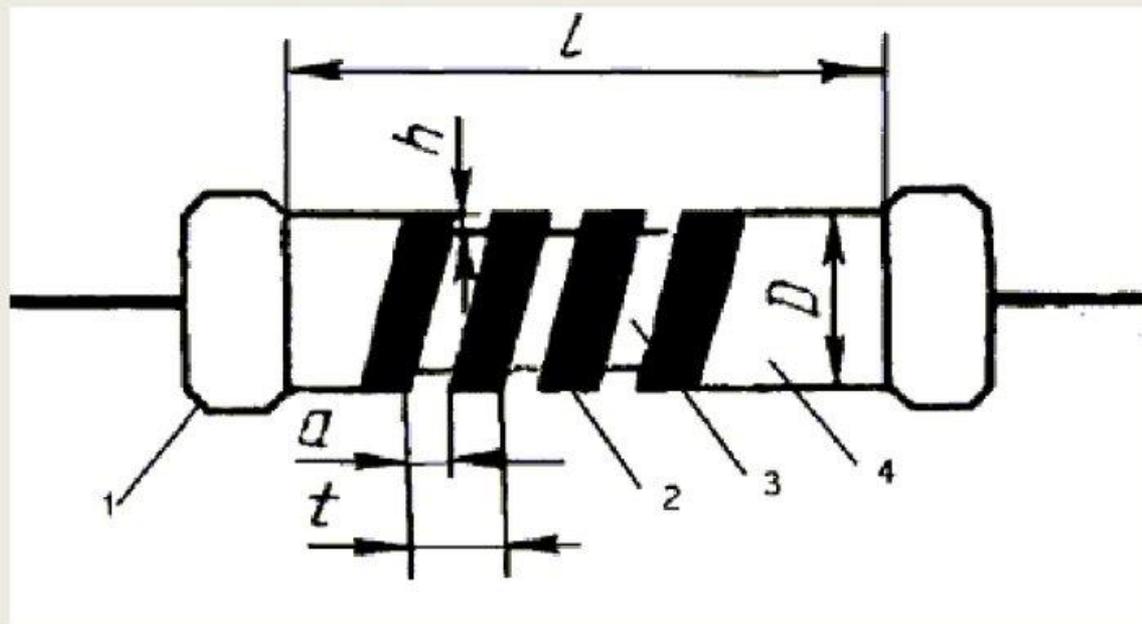


Рис. 2. Конструкция проволочного выводного резистора:

- 1 – контактные колпачки;
- 2 – резистивный элемент;
- 3 – диэлектрическое цилиндрическое основание;
- 4 – защитная пленка

# Резисторы

## Конструкция резисторов

### 3. Объемный выводной резистор

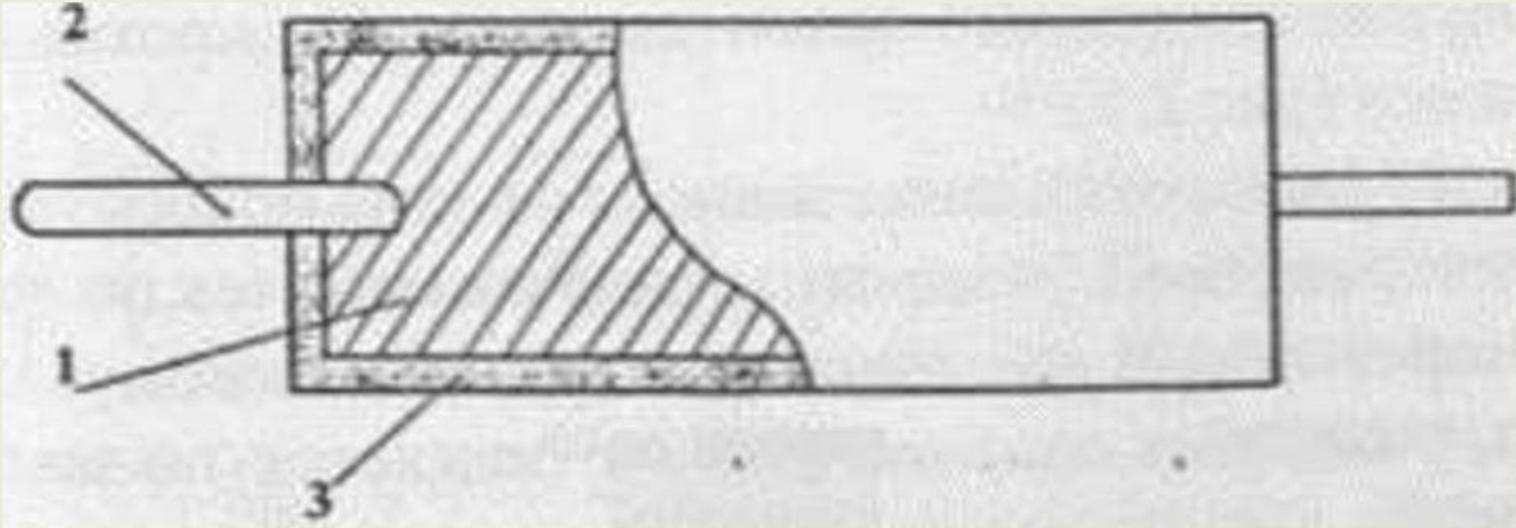


Рис. 3. Конструкция объемного выводного резистора:

1 – токопроводящая композиция;

2 – проволочные выводы;

3 – стеклокерамическая оболочка

# Резисторы

## Конструкция резисторов

### 5. Переменный резистор

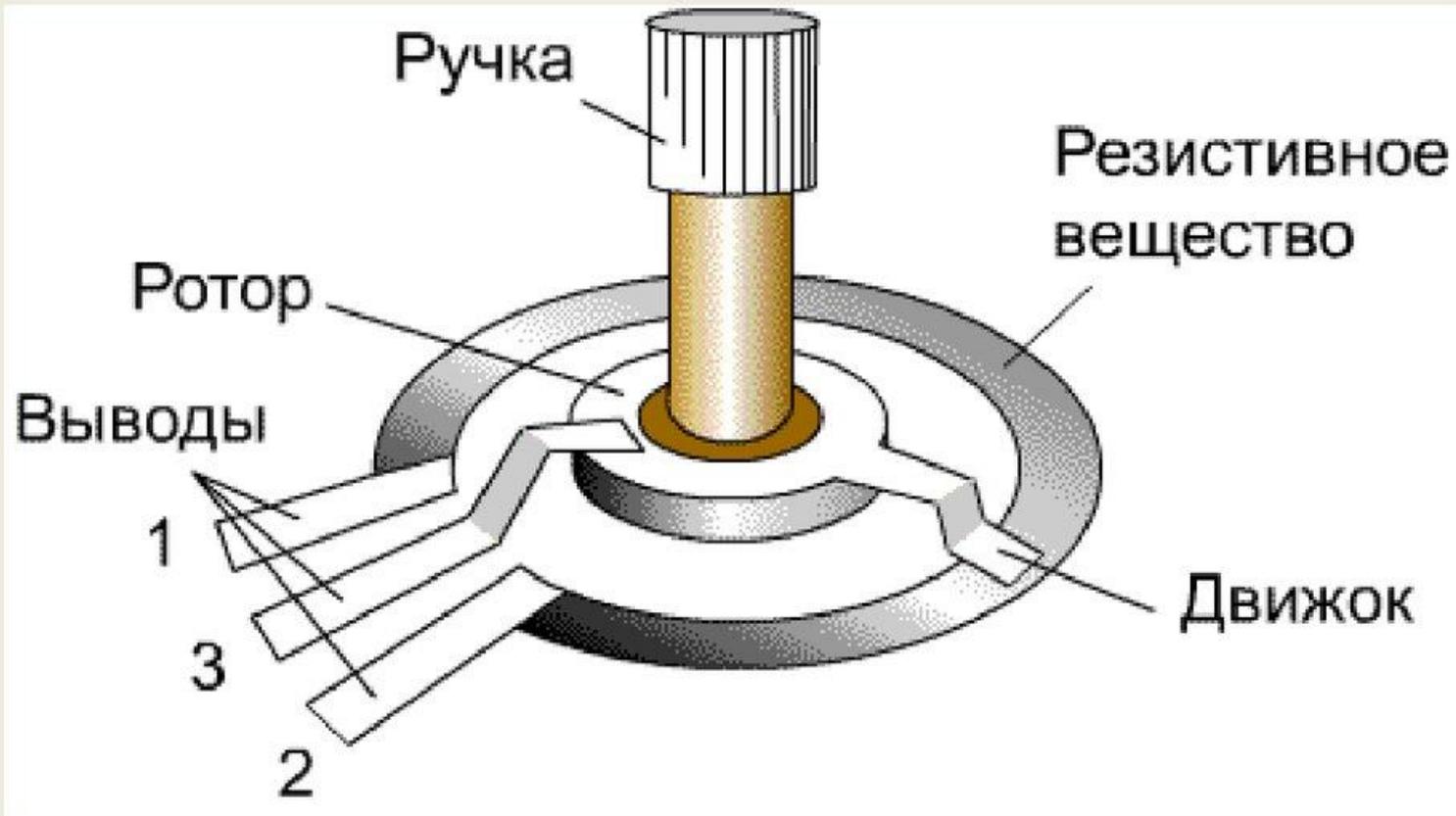


Рис. 5. Конструкция переменного резистора

# Резисторы

## Эквивалентная схема резистора

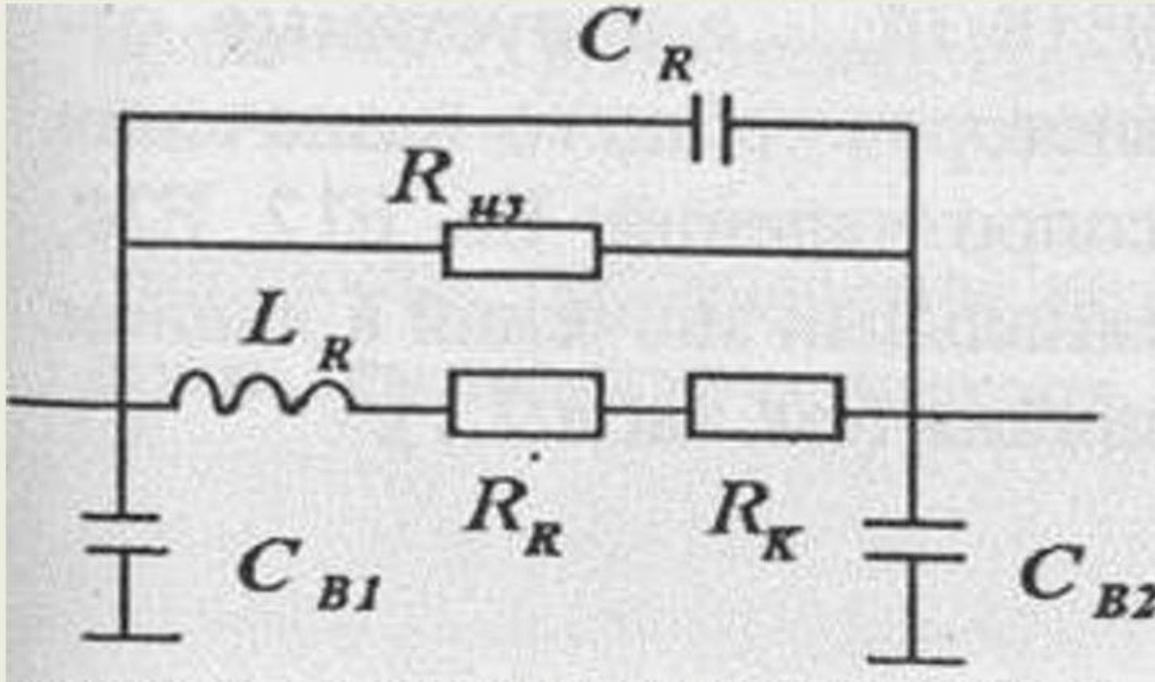


Рис. 6. Эквивалентная схема резистора:

$R_R$  – сопротивление резистивного элемента;

$R_K$  – сопротивление контактов;

$R_{из}$  – сопротивление изоляции;

$L_R$  – эквивалентная индуктивность резистивного слоя и выводов;

$C_R$  – эквивалентная емкость резистора;

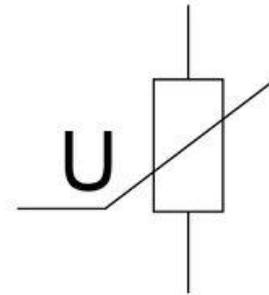
$C_{B1}, C_{B2}$  – емкость выводов

# Специальные резисторы

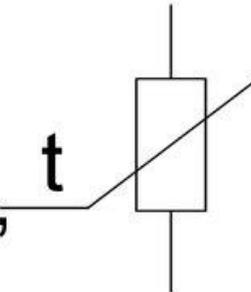


сопротивление нелинейно зависит от внешних факторов:

- величины приложенного напряжения (варисторы),



- температуры (терморезисторы),



- освещения (фоторезисторы).

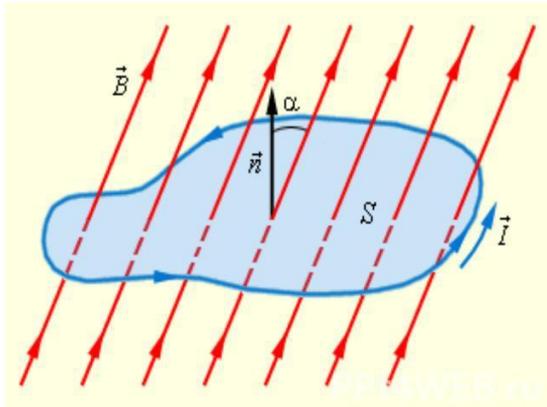
# ИНДУКТИВНОСТЬ

# Катушки индуктивности



# Электромагнитная индукция. Правило Ленца

Электромагнитная индукция - физическое явление, заключающееся в возникновении электрического (индукционного) тока в замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром.



$$\Phi = BS \cos \alpha$$

Единица магнитного потока - вебер (1 Вб)

Итак, движущиеся заряды (токи) создают магнитное поле, а движущееся магнитное поле создает (вихревое) электрическое поле и собственно индукционный ток.

Для каждого конкретного случая Фарадей указывал направление индукционного тока.

В 1831 г. русский физик Э.Ленц установил общее правило нахождения направления индукционного тока, которое называется **правилом Ленца**.

# Явление самоиндукции Индуктивность

Электрический ток, текущий в любом контуре, создает пронизывающий этот контур магнитный поток  $\psi$ . При изменении тока меняется также поток. Контур оказывается в переменном магнитном потоке, и в контуре индуцируется ЭДС. Это явление называется **самоиндукцией**.

В соответствии с законом Био - Савара - Лапласа магнитная индукция  $B$  пропорциональна силе тока, вызвавшего поле. Отсюда вытекает, что ток  $I$  в контуре и создаваемый им полный магнитный поток  $\Psi$  через контур пропорциональны друг другу:

$$\Psi = LI$$

Коэффициент пропорциональности  $L$  называется **индуктивностью** контура. Индуктивность зависит от геометрии контура, а также от магнитных свойств окружающей среды.

Единицей индуктивности в СИ является генри (Гн). Индуктивность соленоида, имеющего  $N$  витков и площадь сечения  $A$ , может быть рассчитана по формуле:

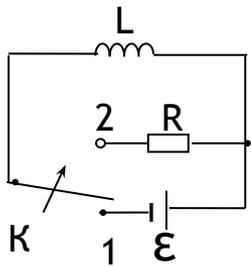
$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l}$$

$$n = \frac{N}{l} \text{ - число витков на единицу длины}$$

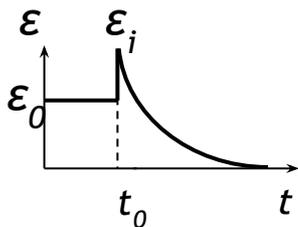
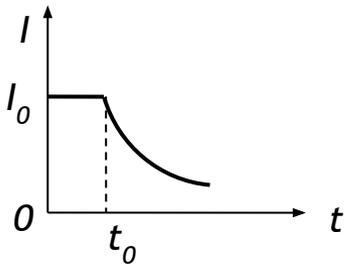
# Ток при размыкании цепи

По правилу Ленца токи, возникающие в цепях вследствие самоиндукции, всегда направлены так, чтобы препятствовать изменению тока, текущего в цепи. Это приводит к тому, что установление тока в цепи происходит не мгновенно, а постепенно.

Рассмотрим цепь, содержащую индуктивность  $L$ , сопротивление  $R$  и источник ЭДС  $\varepsilon$ .



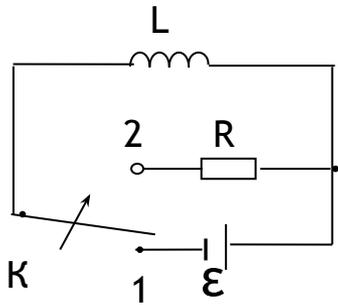
При включении источника (ключ в п.1) в цепи будет течь постоянный ток  $I_0 = \varepsilon / R$ . В момент времени  $t = 0$  отключим источник тока, замкнув одновременно накоротко цепь (ключ в п.2). Как только сила тока в цепи начнет убывать, возникнет ЭДС самоиндукции, противодействующая этому убыванию. Ток в цепи исчезнет не сразу, а спадает постепенно (рис.). Запишем закон убывания тока при размыкании цепи, содержащей индуктивность



$$I = I_0 \exp\left(-\frac{R}{L} \cdot t\right).$$

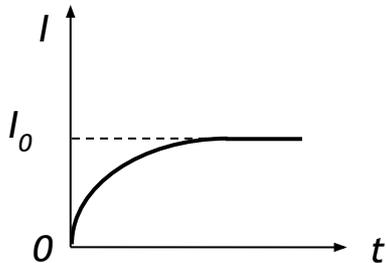
Если просто разорвать цепь с большой индуктивностью, возникающее высокое индуцированное напряжение создаст искру или дугу в месте разрыва.

# Ток при замыкании цепи



Рассмотрим цепь, содержащую индуктивность  $L$ , сопротивление  $R$  и источник ЭДС  $\varepsilon$ .

После подключения источника э.д.с. до тех пор, пока сила тока не достигнет установившегося значения ( $I_0$ ), в цепи, кроме  $\varepsilon$ , будет действовать э.д.с. самоиндукции, препятствующая возрастанию тока (согласно правила Ленца). В результате при *включении* источника ток будет медленно нарастать по закону:



$$I = I_0 \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right).$$

$\tau = \frac{L}{R}$  - постоянная, называемая **временем релаксации**

**Время релаксации** - время, в течение которого сила тока изменяется (уменьшается, увеличивается) в  $e$  раз ( $e = 2,72$  - основание натурального логарифма).

## Катушки индуктивности

- ⊙ Катушка индуктивности – винтовая, спиральная или винтоспиральная катушка из свёрнутого изолированного проводника, обладающая значительной индуктивностью при относительно малой ёмкости и малом активном сопротивлении.
- ⊙ Катушка индуктивности в электрической цепи постоянного тока обладает постоянным сопротивлением, равным сопротивлению проводника из которого она изготовлена (активное сопротивление).

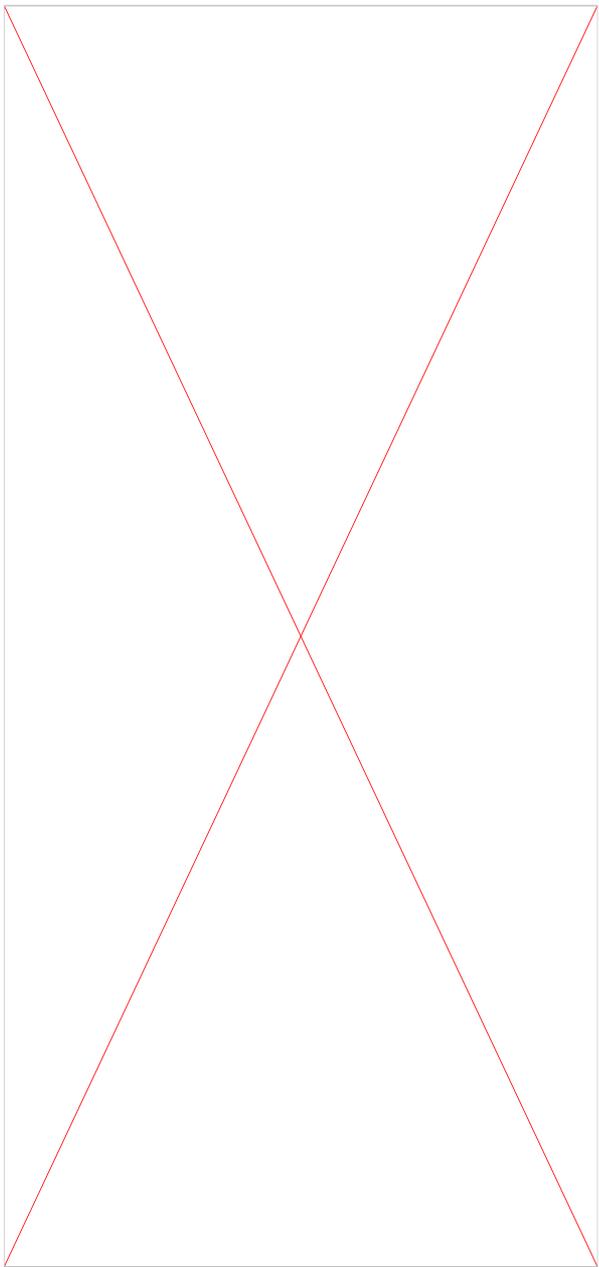


общее  
обозначение

# РЕАКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

- Катушка индуктивности в электрической цепи переменного тока имеет не только собственное омическое сопротивление, но и реактивное сопротивление переменному току, нарастающее при увеличении частоты, поскольку при изменении тока в катушке возникает ЭДС самоиндукции, препятствующая этому изменению:

$$X_L = \omega L, \quad I = \frac{U}{X_L}$$



- Катушка индуктивности накапливает энергию в магнитном поле.
- При повышении внешней ЭДС катушка препятствует увеличению тока, при снижении ЭДС - поддерживает ток, отдавая накопленную энергию.
- В цепи синусоидального тока, ток в катушке по фазе отстаёт от фазы напряжения на ней на  $\pi/2$ .

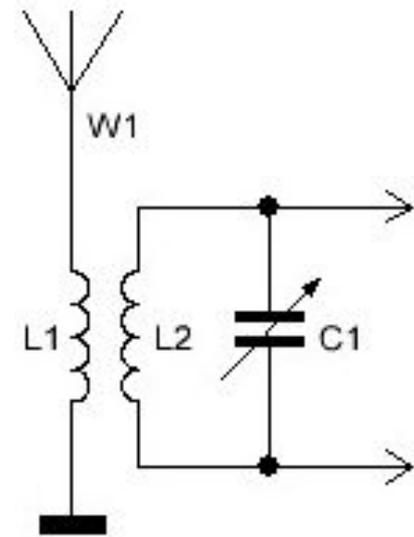
# ТЕРМИНОЛОГИЯ

- При использовании для подавления помех, сглаживания пульсаций электрического тока, изоляции по высокой частоте разных частей схемы и накопления энергии в магнитном поле сердечника часто называют **дросселем**.
- В силовой электротехнике (для ограничения тока при, например, коротком замыкании ЛЭП) называют **реактором**.
- Цилиндрическую катушку индуктивности, длина которой намного превышает диаметр, называют **соленоидом**.
- В электромагнитных реле называют **обмоткой реле**, реже – **электромагнитом**.
- В установках индукционного нагрева **нагревательный индуктор**.

# Классификация

В зависимости от назначения различают:

- контурные катушки (образующие совместно с конденсаторами колебательный контур);
  - катушки связи (передающие высокочастотные колебания из одной цепи в другую);
- высокочастотные дроссели (катушки индуктивности, преграждающие путь токам высокой частоты).



# Классификация

По **конструктивным** признакам катушки могут быть разделены на

- Цилиндрические;
- Спиральные;
- Торoidalные;
- Однослойные, многослойные;
- С сердечником или без сердечника;
- Экранированные;
- С постоянной или переменной индуктивностью.



общее  
обозначение



катушка с  
сердечником

# Индуктивности

## Конструкция индуктивностей

### 1. Соленоидная конструкция

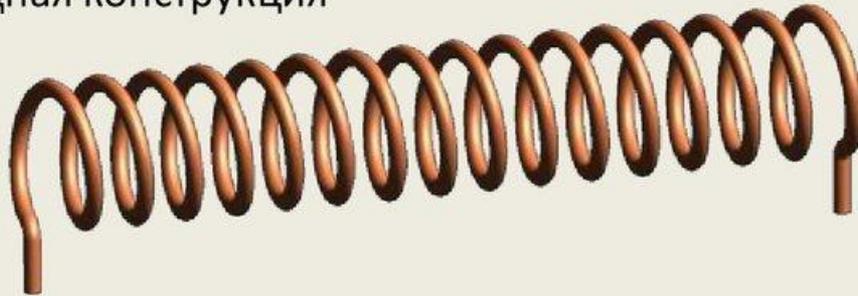


Рис. 16. Соленоидная конструкция индуктивности

### 2. Тороидальная конструкция



Рис. 17. Тороидальная конструкция индуктивности

# Индуктивности

## Конструкция индуктивностей

### 3. ЧИП-индуктивность (безвыводная)



Рис. 18. Конструкция ЧИП-индуктивности

# Индуктивности

## Конструкция индуктивностей

### 4. Планарная индуктивность (на печатной плате)

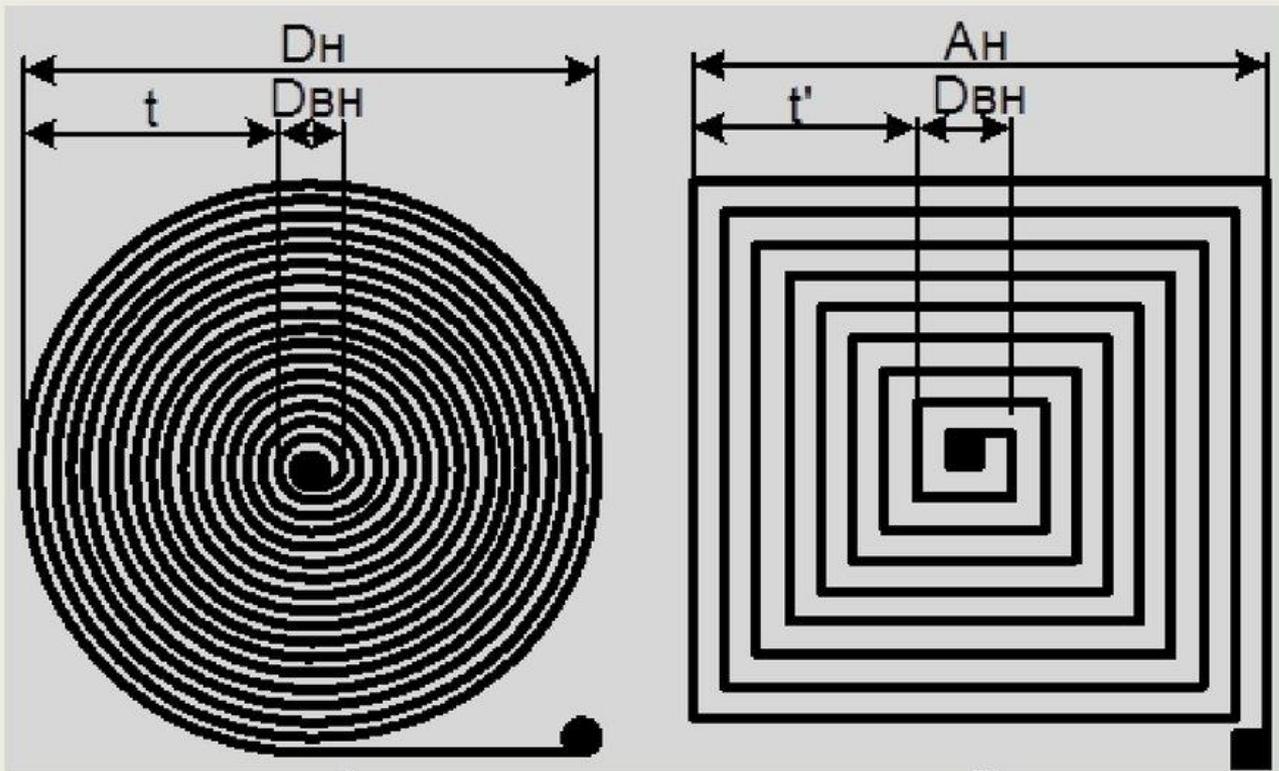
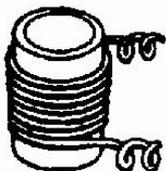


Рис. 19. Конструкция планарной индуктивности

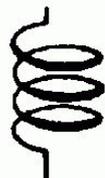
# ОБОЗНАЧЕНИЕ

RadioStorage.net

1905 г.



1915 г.



1955 г.



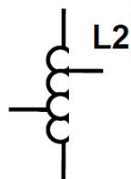
2000 г.



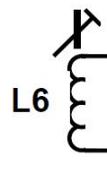
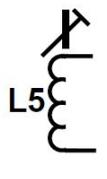
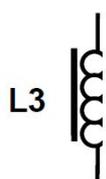
Дроссели имеют такое же графическое изображение, но обозначаются буквами Др.



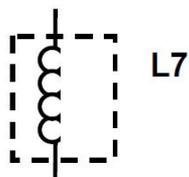
Катушка индуктивности



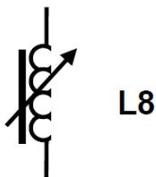
Катушка индуктивности с отводами



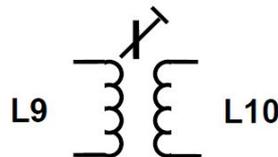
Катушки индуктивности с магнитопроводом (L6 – с медным)



Катушка индуктивности экранированная



Ферровариометр



Индуктивно связанные катушки (ВЧ трансформатор)

# Индуктивности

## Эквивалентная схема индуктивности

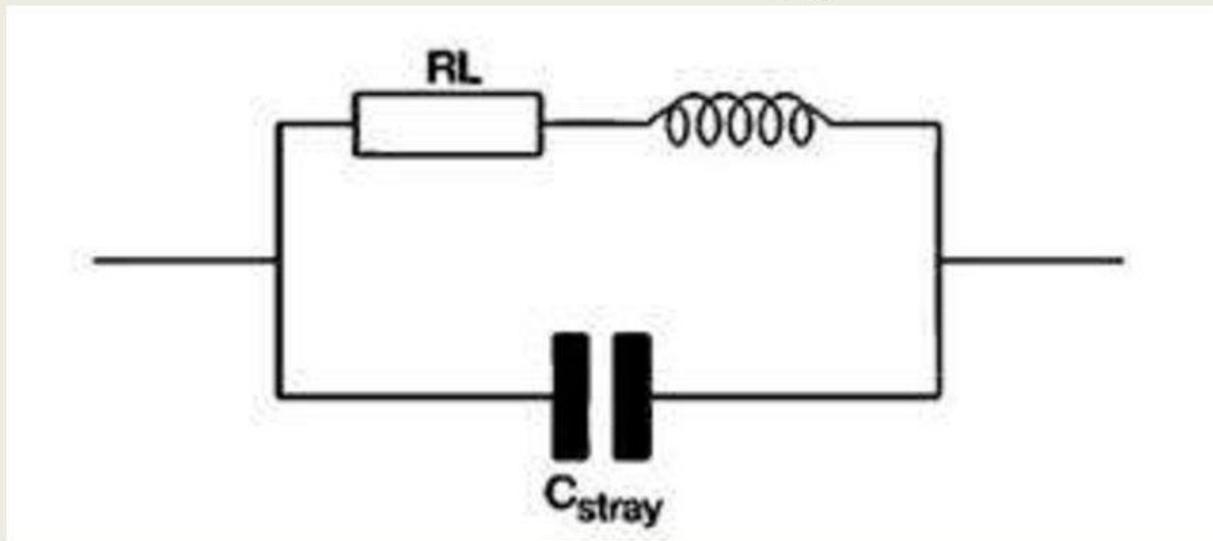
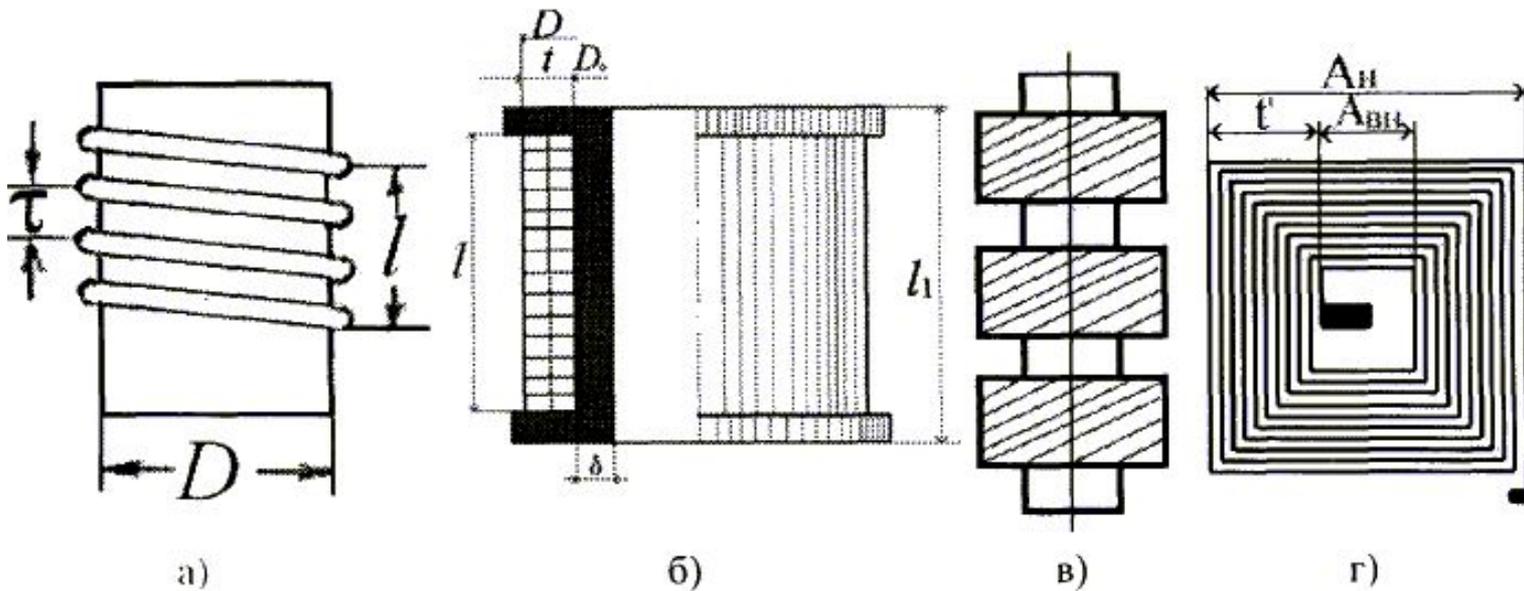


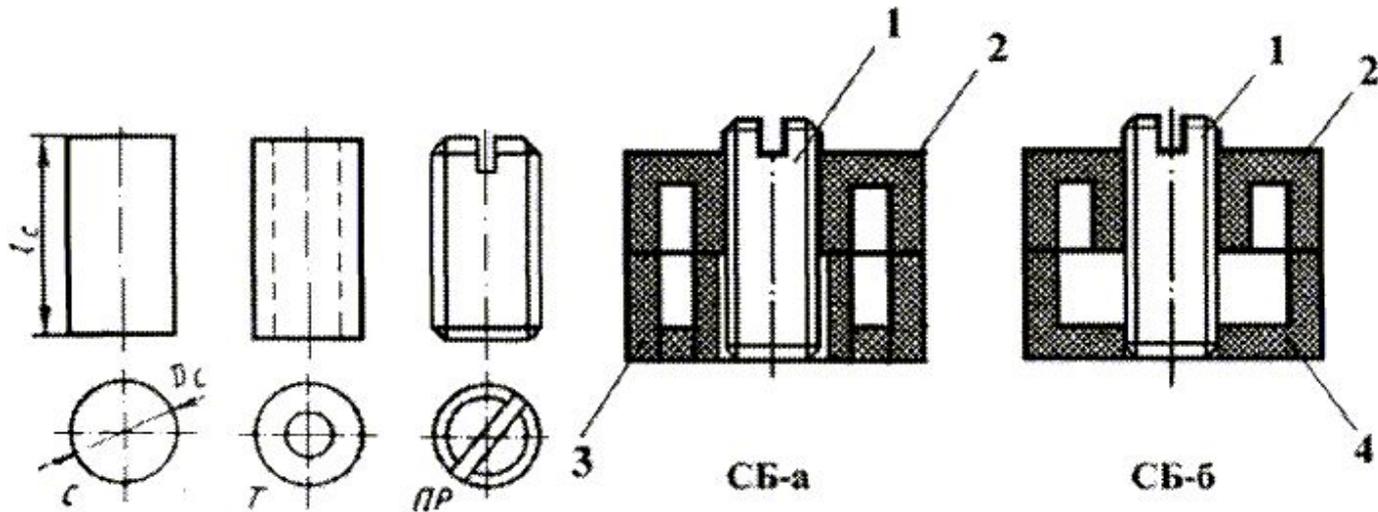
Рис. 20. Эквивалентная схема индуктивности:  
 $RL$  – эквивалентное сопротивление катушки и выводов;  
 $C_{stray}$  – межвитковая емкость

# КОНСТРУКЦИИ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

Конструкционной основой катушки индуктивности является диэлектрический каркас, на который наматывается провод в виде спирали. Обмотка может быть как **однослойной** (а), так и **многослойной** (б). В некоторых случаях многослойная обмотка делается **секционированной** (в). В интегральных схемах применяются **плоские спиральные** катушки индуктивности (г).



Для увеличения индуктивности применяют магнитные сердечники. Помещенный внутрь катушки сердечник концентрирует магнитное поле и тем самым увеличивает ее индуктивность. Перемещением сердечника внутри каркаса можно изменять, индуктивность. На рис. представлены три разновидности цилиндрических сердечников: **С** - стержневой, **Т** - трубчатый и **ПР** - построечный резьбовой и две разновидности **броневых**. Броневые сердечники состоят из двух чашек 2, изготовленных из **карбонильного железа** или **ферритов**.



# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАТУШЕК

1. Номинальная индуктивность и ее допустимое отклонение характеризует количество энергии магнитного поля, запасаемого катушкой, при протекании по ней электрического тока. Выбирается как и у резисторов в соответствии с ГОСТ 10318-74 и ГОСТ 9664 -74.
  - ▶ Единица измерения индуктивности - генри (Гн) и ее доли: милли-генри ( $\text{мГн} = 10^{-3} \text{ Гн}$ ) и микрогенри ( $\text{мкГн} = 10^{-6}$ ).
  - ▶ В радиотехнической аппаратуре используются высокочастотные катушки с индуктивностью от долей мкГн до десятков мГн.
  - ▶ Индуктивность катушки зависит от ее формы, размеров и числа витков, а также от свойств сердечника или экрана.

# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАТУШЕК

2. **Добротность** - отношение реактивного сопротивления катушки к ее активному сопротивлению потерь:

$$Q_L = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{r},$$

где  $r$  - эквивалентное сопротивление потерь в катушке на частоте  $f$ .

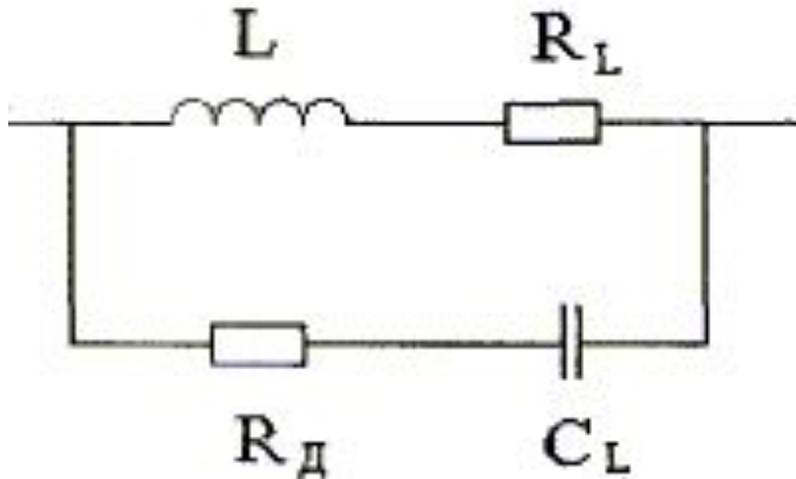
По аналогии с конденсаторами потери энергии в катушках индуктивности можно выразить **тангенсом угла потерь**.

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{r}{2\pi \cdot f \cdot L} = \frac{1}{Q}.$$

В большинстве радиотехнических устройств используют катушки с добротностью от 40 до 200.

# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАТУШЕК

3. Собственная емкость является паразитным (побочным) параметром катушки индуктивности, она увеличивает потери, уменьшает стабильность, коэффициент перестройки контура по частоте.



# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАТУШЕК

4. Температурный коэффициент индуктивности характеризует относительное изменение индуктивности катушки при изменении температуры на 1 °С:

$$\text{ТКИ} = \alpha_L = \frac{\Delta L}{L(T_0) \times \Delta T}.$$

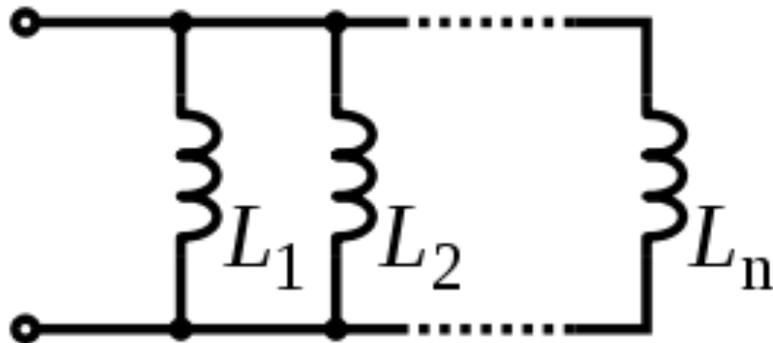
Обычные цилиндрические катушки имеют ТКИ = 30...50·10<sup>-6</sup> 1/°С, а катушки с керамическим каркасом - 8...16·10<sup>-6</sup> 1/°С.

Стабильность параметров катушек индуктивности зависит также от влажности, величины атмосферного давления и т.п.



$$L_{\text{eq}} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

## Параллельное соединение



$$\frac{1}{L_{\text{eq}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

# РАСЧЕТ ИНДУКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАТУШЕК

Индуктивность прямолинейного провода с круглым сечением.

$$L = 5.081 \left( \ln \frac{4l}{d} - 1 \right)$$

где [l] = см - длина провода; [d] = см - диаметр провода без изоляции.

Индуктивность круглого витка из провода круглого сечения.

$$L_{\text{кр}} = 0,00628D \left( \ln \frac{8D}{d} - 1,75 \right),$$

где [D] = см - диаметр витка.

Используют для оценки индуктивности рамочных (резонансных) антенн, катушек связи и т.п.

Индуктивность катушки с воздушным сердечником:

$$L = \frac{r^2 N^2}{9r + 10l}$$

где L = индуктивность в мкГн; r = внешний радиус катушки; l = длина катушки; N = число витков.

# РАСЧЕТ ИНДУКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАТУШЕК

Индуктивность многослойной катушки с воздушным сердечником:

$$L = \frac{0.8r^2 N^2}{6r + 9l + 10d}$$

где  $L$  = индуктивность в мкГн;  $r$  = средний радиус катушки;  $l$  = длина катушки;  $N$  = число витков;  $d$  = глубина катушки.

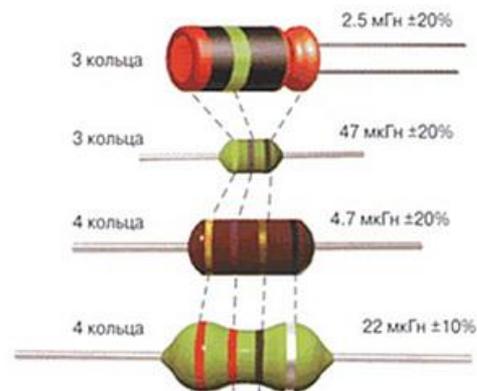
Индуктивность плоской катушки:

$$L = \frac{r^2 N^2}{6r + 11d}$$

где  $L$  = индуктивность в мкГн;  $r$  = средний радиус катушки;  $N$  = число витков;  $d$  = глубина катушки.

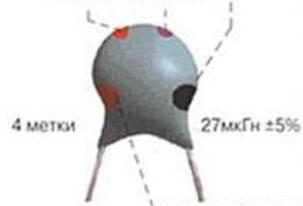
# МАРКИРОВКА КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

Цветное кольцо, обозначающее первую цифру номинала, может быть шире, чем все остальные.



Серебряный	0.01	10%		
Золотой	0.1	5%		
Черный	0	1	20%	
Коричневый	1	1	10	Допуск
Красный	2	2	100	
Оранжевый	3	3	1000	
Желтый	4	4	Множитель	
Зеленый	5	5		
Голубой	6	6		
Фиолетовый	7	7		
Серый	8	8		
Белый	9	9		

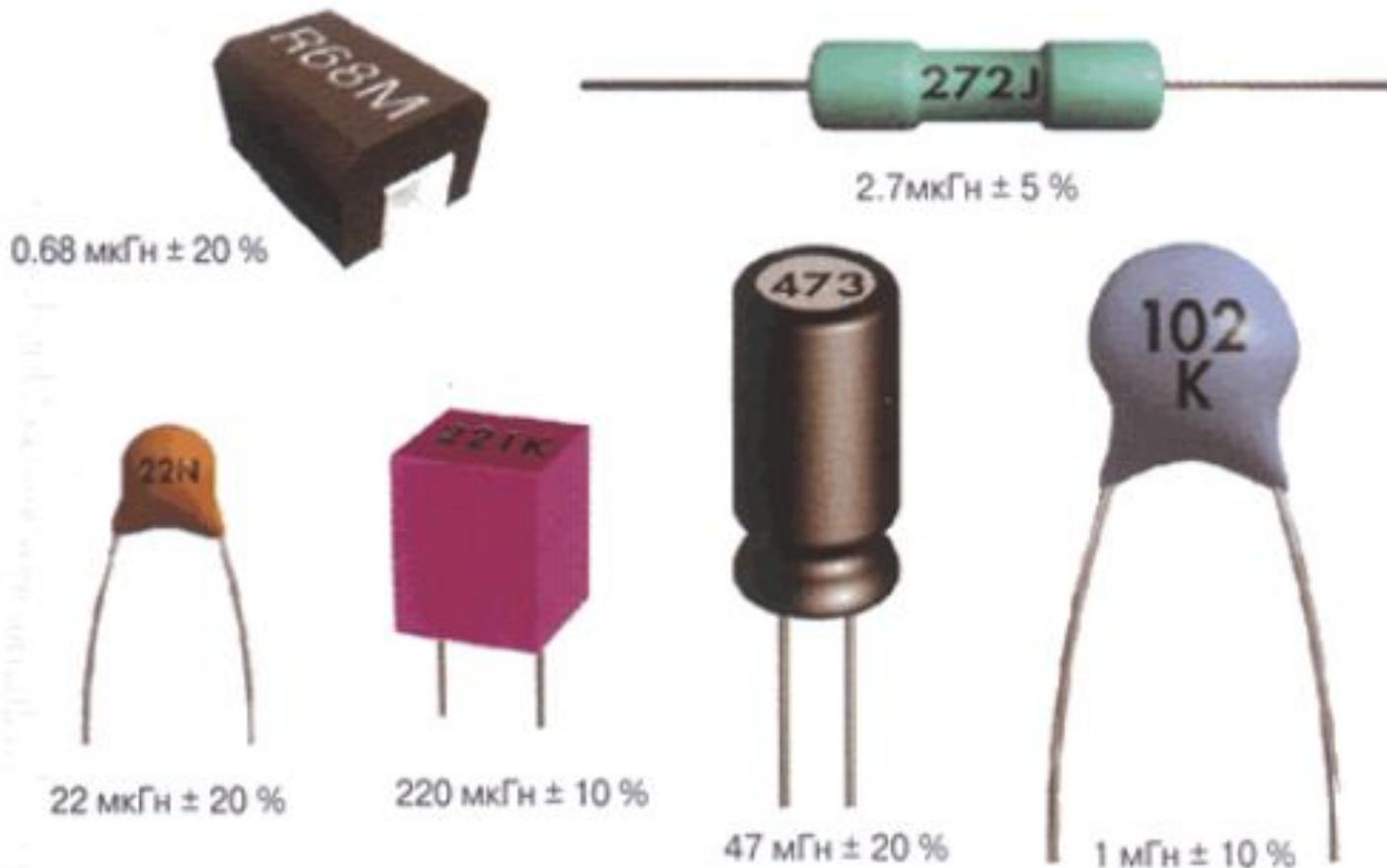
1-я цифра 2-я цифра



Применяется два вида кодирования:

1. Первые две цифры указывают значение в микрогенри (мкГн,  $\mu\text{H}$ ), последняя — количество нулей. Следующая за цифрами буква указывает на допуск. Например, код 101J обозначает 100 мкГн  $\pm 5\%$ . Если последняя буква не указывается — допуск 20%. Исключения: для индуктивностей меньше 10 мкГн роль десятичной запятой выполняет буква R, а для индуктивностей меньше 1 мкГн — буква N.

Допуск: D= $\pm 0.3\text{нГн}$ ; J= $\pm 5\%$ ; K= $\pm 10\%$ ; M= $\pm 20\%$



*Примеры обозначений:*

2N2D - 2,2 нГн  $\pm 0,3$  нГн  
22N - 22 нГн  
R10M - 0,10 мкГн  $\pm 20\%$   
R15M - 0,15 мкГн  $\pm 20\%$   
R22M - 0,22 мкГн  $\pm 20\%$   
R33M - 0,33 мкГн  $\pm 20\%$   
R47M - 0,47 мкГн  $\pm 20\%$   
R68M - 0,47 мкГн  $\pm 20\%$   
1R0K - 1,2 мкГн  $\pm 20\%$

1R0K - 1,2 мкГн  $\pm 10\%$   
2R2K - 2,2 мкГн  $\pm 10\%$   
3R3K - 3,3 мкГн  $\pm 10\%$   
4R7K - 4,7 мкГн  $\pm 10\%$   
6R8K - 6,8 мкГн  $\pm 10\%$   
100K - 10 мкГн  $\pm 10\%$   
150K - 15 мкГн  $\pm 10\%$   
220K - 22 мкГн  $\pm 10\%$   
330K - 33 мкГн  $\pm 10\%$

470K - 47 мкГн  $\pm 10\%$   
680K - 68 мкГн  $\pm 10\%$   
101K - 100 мкГн  $\pm 10\%$   
151K - 150 мкГн  $\pm 10\%$   
221K - 220 мкГн  $\pm 10\%$   
331K - 330 мкГн  $\pm 10\%$   
471J - 470 мкГн  $\pm 10\%$   
681J - 680 мкГн  $\pm 10\%$   
102 - 1000 мкГн  $\pm 10\%$

2. Индуктивности маркируются непосредственно в микрогенри (мкГн,  $\mu\text{H}$ ). В таких случаях маркировка 680K будет означать не 68 мкГн  $\pm 10\%$ , как в случае А, а 680 мкГн  $\pm 10\%$ .



## ПРИМЕНЕНИЕ

- ▶ Для построения различных цепей с частотно-зависимыми свойствами, в частности, фильтров, цепей обратной связи, колебательных контуров и т.п.
- ▶ Две и более индуктивно связанные катушки образуют трансформатор.
- ▶ В качестве электромагнитов.
- ▶ Для радиосвязи – приёма электромагнитных волн.
- ▶ В индукционных печах.
- ▶ Как датчик перемещения: изменение индуктивности катушки может изменяться в широких пределах при перемещении ферро магнитного сердечника относительно обмотки.
- ▶ Катушка индуктивности используется в индукционных датчиках магнитного поля.
- ▶ В динамиках и микрофонах.

# ПРИ ВЫБОРЕ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ НЕОБХОДИМО УЧИТЫВАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ ФАКТОРЫ:

- номинальные значения индуктивности;
- габариты и требования к монтажу;
- добротность;
- частотный диапазон;
- наличие или отсутствие сердечника;
- уровень постоянного тока и амплитуду переменного тока в катушках с железным сердечником;
- влияние паразитной емкости и собственную резонансную частоту;
- для связанных катушек: соотношение количества витков, взаимную индуктивность и емкостную связь между витками;
- воздействие окружающей среды: температуру, влажность, ударную нагрузку, вибрацию, изоляцию, перепады температуры;
- рассеиваемую мощность;
- экранирование;
- фиксированная или переменная индуктивность.

# Конденсаторы



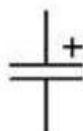
# КОНДЕНСАТОРЫ

- Конденсатор — это элемент электрической цепи, состоящий из проводящих электродов (обкладок), разделенных диэлектриком, и предназначенный для использования его электрической емкости.
- Емкость конденсатора есть отношение заряда конденсатора к разности потенциалов, которую заряд сообщает конденсатору.

Благодаря свойству быстро накапливать и отдавать электрическую энергию

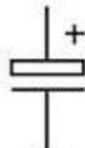
# Конденсаторы УГО конденсаторов

Конденсатор  
постоянной емкости

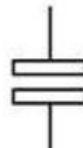


поляризованный

Конденсатор  
электролитический

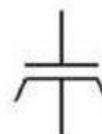


поляризованный



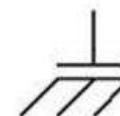
неполяризованный

Конденсатор  
постоянной емкости



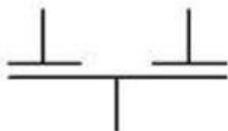
с обозначенным  
внешним электродом

Конденсатор  
опорный



нижняя обкладка соединена  
с корпусом (шасси) прибора

Конденсатор  
постоянной емкости



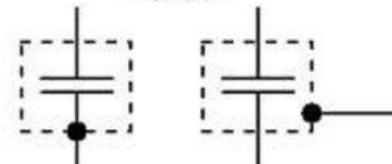
двухсекционный

Конденсатор проходной



дуга обозначает наружную обкладку (корпус)

Конденсатор в экранирующем  
корпусе



## По характеру изменения емкости

конденсаторы  
постоянной емкости

Емкость постоянных конденсаторов является фиксированной, в процессе эксплуатации не регулируется.

подстроечные  
конденсаторы

Емкость подстроечных конденсаторов изменяется при разовой или периодической регулировке и не изменяется в процессе функционирования аппаратуры.

конденсаторы  
переменной емкости

Конденсаторы переменной емкости допускают изменение емкости в процессе функционирования аппаратуры.

Подстроечные конденсаторы используют для подстройки и выравнивания начальных емкостей сопрягаемых контуров, для периодической подстройки и регулировки цепей, где требуется незначительное изменение емкости.

Управление емкостью может осуществляться механически, электрическим напряжением (вариконды) и температурой (термоконденсаторы). Такие конденсаторы применяют для плавной настройки колебательных контуров и в цепях автоматики.

# По способу защиты от внешних воздействующих факторов

незащищенные

(допускают эксплуатацию при повышенной влажности только, в составе герметизированной аппаратуры)

защищенные

неизолированные с покрытием или без покрытия

изолированные (с изоляционным покрытием)

уплотненные органическими материалами

герметизированные

(с помощью керамических и металлических корпусов или стеклянных колб, что исключает взаимодействие внутреннего пространства с окружающей средой.)

## В зависимости от способа монтажа

для печатного  
монтажа

для навесного  
монтажа

в составе микромодулей  
и микросхем

Использование конденсаторов в конкретных цепях аппаратуры (низковольтные, высоковольтные, низкочастотные, высокочастотные, импульсные, пусковые, полярные, неполярные, помехоподавляющие, дозиметрические, нелинейные и др.) зависит от вида использованного в них диэлектрика.

## По назначению

Общего назначения

обычно низковольтные, без  
специальных требований

Специального  
назначения

## По виду диэлектрика

Конденсаторы с жидким диэлектриком

Конденсаторы с газообразным диэлектриком

Конденсаторы вакуумные

Твердотельные конденсаторы

Конденсаторы с твёрдым органическим диэлектриком

Конденсаторы с твёрдым неорганическим диэлектриком

Электролитические и оксидно-полупроводниковые конденсаторы

Конденсаторы для гибридных микросхем

Конденсаторы с оксидным диэлектриком

# Условные обозначения конденсаторов

Сокращенное условное обозначение конденсаторов состоит из следующих элементов:

**первый элемент** — буква или сочетание букв, обозначающих конденсатор (К — конденсатор постоянной емкости; КТ — подстроенный конденсатор; КП — конденсатор переменной емкости; КС — конденсаторные сборки);

**второй элемент** — число, обозначающее используемый вид диэлектрика;

**третий элемент** — порядковый номер разработки конкретного типа.

*Пример сокращенного условного обозначения: **K75-10** соответствует комбинированному конденсатору, номер разработки 10.*

# Полное условное обозначение конденсаторов

**первый элемент** — сокращенное обозначение;

**второй элемент** — обозначения и значения основных параметров и характеристик, необходимых для заказа и записи в конструкторской документации (вариант конструктивного исполнения, номинальное напряжение, номинальная емкость, допускаемое отклонение емкости, группа и класс по температурной стабильности);

**третий элемент** — обозначение климатического исполнения, четвертый элемент — обозначение документа на поставку (ТУ, ГОСТ).

*Пример полного условного обозначения:*

*K75-10-250 В= 1,0 мкФ±5%=2=ОЖО.*

*484.465 ТУ соответствует комбинированному конденсатору K75-10 с номинальным напряжением 250 В, номинальной емкостью 1,0 мкФ и допустимым отклонением по емкости ±5%, всеклиматического исполнения В.*

# Сокращенные условные обозначения и области применения конденсаторов

ласти

## Конденсаторы постоянной емкости

**K10**

Керамические на  
номинальные напряжения  
ниже 1600 В

Для высокочастотных конденсаторов:  
термокомпенсация, емкостная связь,  
фиксированная настройка контуров на  
высокой частоте.

Для низкочастотных конденсаторов:  
шунтирующие, блокирующие и фильтровые  
цепи, связь между каскадами на низкой  
частоте

**K15**

Керамические на  
номинальные напряжения  
1600 В и выше

Емкостная связь, фиксированная настройка  
мощных высокочастотных контуров,  
импульсные устройства

## Конденсаторы постоянной емкости

<b>K21</b>	Стеклянные	Блокировка, фиксированная настройка
<b>K22</b>	Стеклокерамические	высокочастотных контуров, емкостная связь,
<b>K23</b>	Стеклоэмалевые	шунтирующие цепи
<b>K31</b>	Слюдяные малой мощности	Блокировочные и шунтирующие,
<b>K32</b>	Слюдяные большой мощности	высокочастотные фильтровые цепи, емкостная связь, фиксированная настройка контуров
<b>K40</b>	Бумажные на номинальное напряжение ниже 1600 В с фольговыми обкладками	Блокировочные, буферные, шунтирующие, фильтровые цепи, емкостная связь
<b>K41</b>	Бумажные на номинальное напряжение 1600 В и выше с фольговыми обкладками	Блокировочные, буферные, шунтирующие, фильтровые цепи. емкостная связь
<b>K42</b>	Бумажные с металлизированными обкладками (металлобумажные)	Цепи развязок и фильтры; в качестве емкостей связи не применяются

## Конденсаторы постоянной емкости

<b>K50</b>	Электролитические алюминиевые	Шунтирующие и фильтровые цепи, накопление энергии в импульсных устройствах
<b>K51</b>	Электролитические танталовые фольговые	Применяются в тех же цепях, что и электролитические алюминиевые, в основном в транзисторной аппаратуре с
<b>K52</b>	Электролитические танталовые объемно-пористые	повышенными требованиями к параметрам конденсаторов
<b>K53</b>	Оксидно-полупроводниковые	
<b>K60</b>	Воздушные	Образцовые эталоны емкости, высоковольтные блокировочные,
<b>K61</b>	Газообразные	развязывающие, контурные конденсаторы

## Конденсаторы постоянной емкости

<b>K70</b>	Полистирольные с фольговыми обкладками	Точные временные цепи, интегрирующие устройства, настроенные контура высокой добротности, образцовые
<b>K71</b>	Полистирольные с металлизированными обкладками	
<b>K72</b>	Фторопластовые	В тех же цепях, что и полистирольные при повышенных температурах и жестких требованиях к электрическим параметрам
<b>K73</b>	Полиэтилентерефталатные с металлизированными обкладками	В тех же цепях, что и бумажные конденсаторы при повышенных требованиях к электрическим параметрам
<b>K74</b>	Полиэтилентерефталатные с фольговыми обкладками	
<b>K75</b>	Комбинированные	В тех же цепях, что и бумажные конденсаторы при повышенных требованиях к надежности

## Конденсаторы постоянной емкости

<b>K76</b>	Лакопленочные	Частично могут заменять электролитические конденсаторы (особенно при повышенных значениях переменной составляющей). Применяются в тех же цепях, что и бумажные, металобумажные и электролитические конденсаторы
<b>K77</b>	Поликарбонатные	В тех же цепях, что и конденсаторы K73, но при более высоких частотах
<b>K78</b>	Полипропиленовые	В телевизионной и бытовой аппаратуре

## Конденсаторы подстроечные

<b>КТ1</b>	Вакуумные	В специальной аппаратуре
<b>КТ2</b>	С воздушным диэлектриком	В радиоприемной аппаратуре
<b>КТ3</b>	С газообразным диэлектриком	В специальной аппаратуре
<b>КТ4</b>	С твердым диэлектриком	В радиоприемной и телевизионной аппаратуре



## Конденсаторы переменной емкости

<b>КП1</b>	Вакуумные	В специальной аппаратуре
<b>КП2</b>	С воздушным диэлектриком	В радиоприемной аппаратуре
<b>КП3</b>	С газообразным диэлектриком	В специальной аппаратуре
<b>КП4</b>	С твердым диэлектриком	В радиоприемной и телевизионной аппаратуре

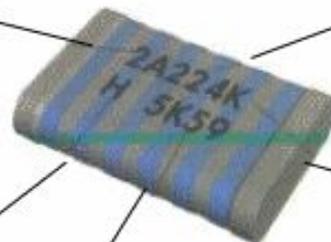
### РАБОЧЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ

0E – 2.5 В	1V – 35
0G – 4 В	1H – 50 В
0J – 7 В	1J – 63 В
1A – 10 В	2A – 100 В
1C – 16 В	2E – 250 В
1D – 20 В	2G – 400 В
1E – 25 В	2J – 630 В

### ТЕМПЕРАТУРА ПАЙКИ

G – 250 °C/5с
H – 260 °C/5с
J – 260 °C/10с

### СЛУЖЕБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ



### ЕМКОСТЬ

Первые две цифры указывают значение емкости в пикофарадах (пФ), третья – количество нулей.  
224=22 0000 пФ=0.22 мкФ

### ДОПУСК

- J – ± 5 %
- K – ± 10 %
- M – ± 20 %

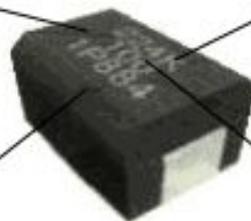
Конденсатор  
серии MMX-E  
0.22 мкФ ± 10 %,  
100 В

### ЁМКОСТЬ

0.22 мкФ

### ДОПУСК

± 10 %



### СЛУЖЕБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### РАБОЧЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ

100 В

**Номинальная емкость** — емкость конденсатора, обозначенная а корпусе или в сопроводительной документации. Номинальные значения емкости стандартизованы.

Международной электротехнической комиссией (МЭК) установлено семь предпочтительных рядов для значений номинальной емкости: E3; E6; E12; E24; E48; E96; E192.

Цифры после буквы E указывают на число номинальных значений в каждом десятичном интервале (декаде), которые соответствуют числам 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 или числам, полученным путем их умножения и деления на  $10^n$ , где n — целое положительное или отрицательное число.

*В производстве конденсаторов чаще всего используются ряды E3, E6, E12, E24, реже E48, E96 и E192.*

В условном обозначении номинальная емкость указывается в виде конкретного значения, выраженного в пикофарадах (пФ) или микрофарадах (мкФ).

Фактическое значение емкости может отличаться от номинального на величину допускаемого отклонения в процентах. Допускаемые отклонения кодируются соответствующими буквами.

## Допускаемые отклонения емкости от номинального значения

					Код
$\pm 0,1$	В(Ж)	$\pm 10$	К(С)	-20...+50	S(Б)
$\pm 0,2$	С(У)	$\pm 20$	М(В)	-20...+80	Z(А)
$\pm 0,5$	D(Д)	$\pm 30$	N(Ф)	$\pm 0,1$	В
$\pm 1$	F(Р)	-10...+30	О	$\pm 0,25$	С
$\pm 2$	G(Л)	-10...+50	T(Э)	$\pm 0,5$	D
$\pm 5$	J(И)	-10...+100	Y(Ю)	$\pm 1$	F

В скобках указано старое обозначение.

## Номинальное напряжение

**Номинальное напряжение** — напряжение, обозначенное на конденсаторе (или указанное в документации), при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах.

Номинальное напряжение зависит от конструкции конденсатора и свойств применяемых материалов. При эксплуатации напряжение на конденсаторе не должно превышать номинальное.

Для многих типов конденсаторов с увеличением температуры (обычно 70...85 °С) допустимое напряжение снижается.

Для конденсаторов с номинальным напряжением до 10 кВ номинальные напряжения устанавливаются из ряда (ГОСТ 9665—77): 1; 1,6; 2,5; 3,2; 4; 6,3; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 350; 400; 450; 500; 630; 800; 1000; 1600, 2000; 2500; 3000; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000 В.

**Испытательное напряжение** – максимальное напряжение, при котором конденсатор может находиться без пробоя небольшой промежуток времени (от единиц секунд до единиц минут). По отношению к номинальному испытательное напряжение  $U_{\text{ИСП}} = 2U_{\text{НОМ}}$  для слюдяных и стеклянных конденсаторов; для керамических и бумажных  $U_{\text{ИСП}} = (2...3)U_{\text{НОМ}}$ ; для металлобумажных  $U_{\text{ИСП}} = (1,5...2)U_{\text{НОМ}}$ .

**Пробивное напряжение** – минимальное напряжение, при котором происходит электрический пробой конденсатора при быстром испытании. Обычно превышает номинальное в 1,5 – 3 раза.

**Сопротивление изоляции** – сопротивление конденсатора постоянному току.

**Постоянная времени конденсатора** – произведение сопротивления изоляции и емкости конденсатора  $\tau_c = R_{\text{из}} C$   $\tau_c$  – является основной характеристикой качества конденсатора на постоянном токе. Размерность  $[\tau_c] = \text{с}$  (секунды). Для различных типов конденсаторов  $\tau_c$  может составлять от нескольких минут до нескольких суток и характеризует время, в течение которого напряжение на конденсаторе уменьшается в  $e$  раз (или до 37% от начального значения).

## Температурный коэффициент емкости (ТКЕ)

Температурный коэффициент емкости (ТКЕ). Этот параметр применяется для характеристики конденсаторов с линейной зависимостью емкости от температуры. Он определяет относительное изменение емкости (в миллионных долях) от температуры при изменении ее на 1 °С.

Значения ТКЕ керамических конденсаторов и их кодированные обозначения приведены в таблице.

	Номинальное значение ТКЕ, $\times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$	Цветовой код
П100(120)	+100 (+120)	Красный+фиолетовый
П60	+60	-
П33	+33	Серый
МПО	0	Черный
М333	-33	Коричневый
М47	-47	Голубой+красный
М75	-75	Красный
М150	-150	Оранжевый
М220	-220	Желтый
М330	-330	Зеленый

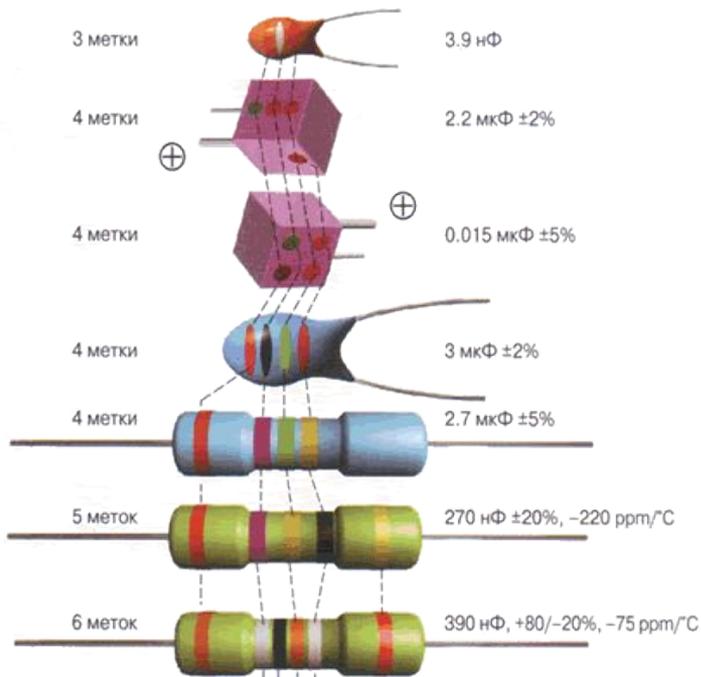
	Номинальное значение ТКЕ, $\times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$	Цветовой код
M470	-470	Голубой
M750(M700)	-750 (700)	Фиолетовый
M1500(M1300)	-1500 (-1300)	Оранжевый + Оранжевый
M2200	-2200	Желтый + Оранжевый

Когда для обозначения группы ТКЕ требуются два цвета, второй цвет может быть представлен цветом корпуса.

Слюдяные и полистирольные конденсатора имеют ТКЕ в пределах  $(50 \dots 200) \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ , поликарбонатные  $\pm 50 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ .

Для конденсаторов с другими видами диэлектрика ТКЕ не нормируется.

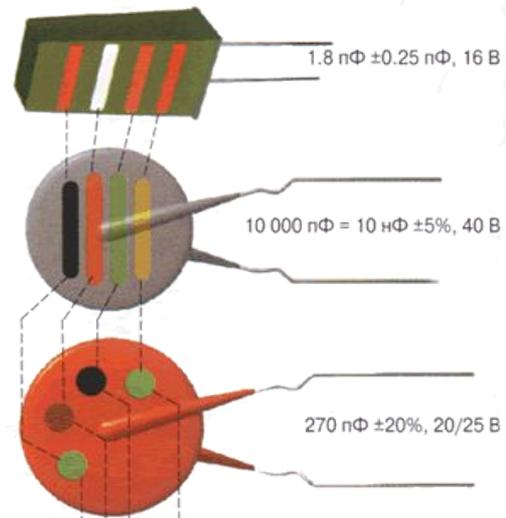




Серебряный				0.01	10%	Y5P
Золотой				0.1	5%	
Черный		0	0	1	20%*	NPO
Коричневый	1	1	1	10	1%**	Y5S/N33
Красный	2	2	2	100	2%	N75
Оранжевый	3	3	3	10 <sup>3</sup>		N150
Желтый	4	4	4	10 <sup>4</sup>		N220
Зеленый	5	5	5	10 <sup>5</sup>		N330
Голубой	6	6	6	10 <sup>6</sup>		N470
Фиолетовый	7	7	7	10 <sup>7</sup>		N750
Серый	8	8	8	10 <sup>8</sup>	30%	Y5R
Белый	9	9	9	Множитель	+80/-20%	SL
Цвет	1-я цифра	2-я цифра	3-я цифра		Допуск	TKE
	⏟					
	нФ					

\* Для емкостей меньше 10 нФ допуск ±2.0 нФ.

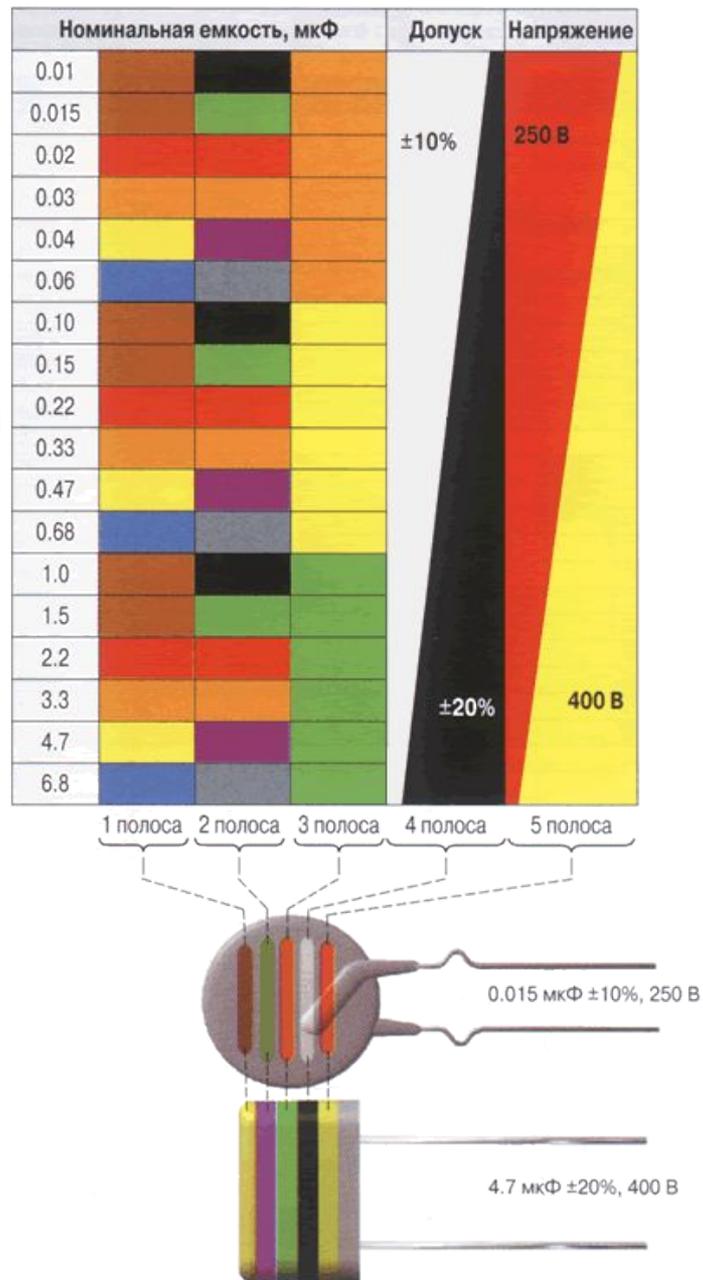
\*\* Для емкостей меньше 10 нФ допуск ±0.1 нФ.



Черный	10	1	20%	4
Коричневый	12	10	1%	6.3
Красный	15	100	2%	10
Оранжевый	18	$10^3$	0.25 nФ	16
Желтый	22	$10^4$	0.5 nФ	40
Зеленый	27	$10^5$	5%	20/25
Голубой	33	$10^6$	1%	30/32
Фиолетовый	39	$10^7$	-20...+50%	
Серый	47	0.01	-20...+80%	3.2
Белый	56	0.1	10%	63
Серебряный	68			2.5
Золотой	82		5%	1.6

Цвет      1-я и 2-я      Множитель      Допуск      Напряжение  
                   цифры  
                   нФ

Для маркировки пленочных конденсаторов используют 5 цветных полос или точек:  
 Первые три кодируют значение номинальной емкости,  
 четвертая — допуск,  
 пятая — номинальное рабочее напряжение.



## Емкость пленочного конденсатора

$$C = \frac{0,885 \varepsilon_r S}{d} = C_0 S$$

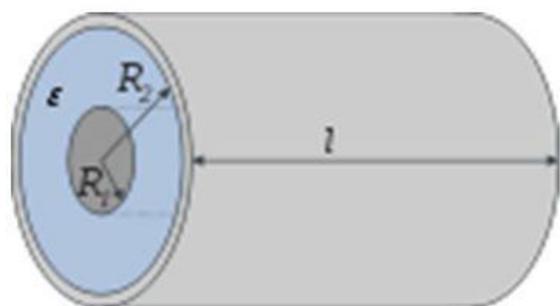
- $S$  - площадь взаимного перекрытия обкладок, см<sup>2</sup>;
- $\varepsilon_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика;
- $d$  - толщина диэлектрика, см;
- $C_0$  - удельная емкость, пФ/см<sup>2</sup>. Определяется диэлектрической проницаемостью применяемых материалов ( $\varepsilon_r \approx 3 \dots 25$ ) и толщиной диэлектрика  $d$ .

## ТОЛЩИНА ДИЭЛЕКТРИКА

- ◉ Выбирается из условия обеспечения заданного рабочего напряжения  $U_p$ :

$$d = \frac{K_z \cdot U_p}{E_{пр}}$$

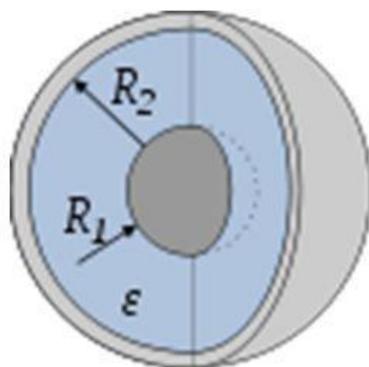
- $K_z = 3 \dots 10$  – коэффициент запаса;
- $E_{пр}$  – напряжение пробоя. Для большинства диэлектрических материалов  $E_{пр} = (1 \dots 9) 10^6$  В/см



## Електроемкости Других Конденсаторов.

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon \frac{L}{\ln R_2 / R_1}$$

(цилиндрический конденсатор).



$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

(сферический конденсатор),

# Конденсаторы

## Конструкция конденсаторов

### 1. Пакетная конструкция

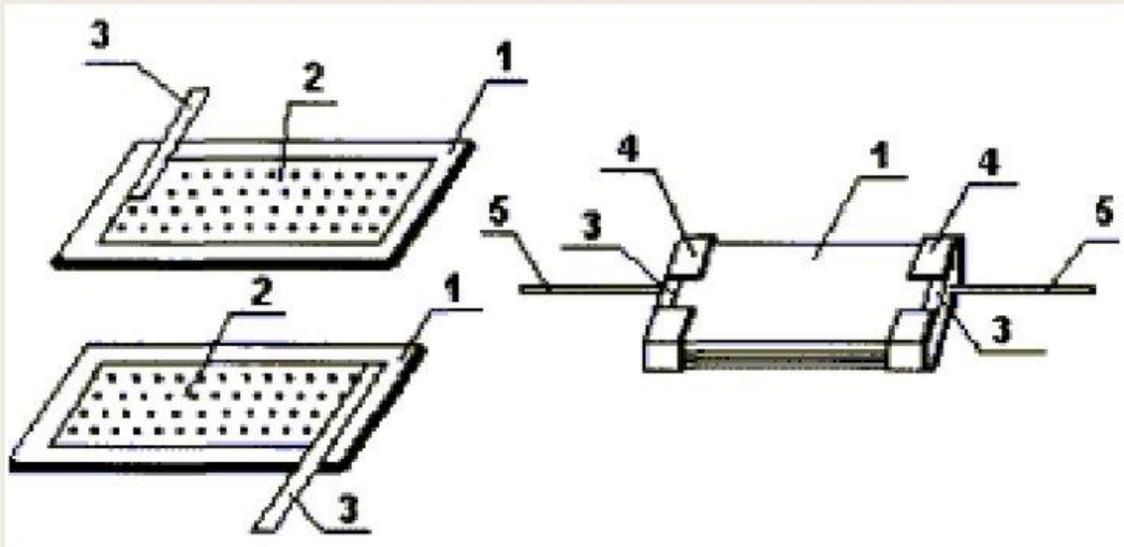


Рис. 9. Пакетная конструкция конденсатора:

- 1 – диэлектрическая пластина;
- 2 – металлизированная обкладка;
- 3 – полоски фольги;
- 4 – обжимы;
- 5 – гибкие выводы

# Конденсаторы

## Конструкция конденсаторов

### 2. Дисконная конструкция

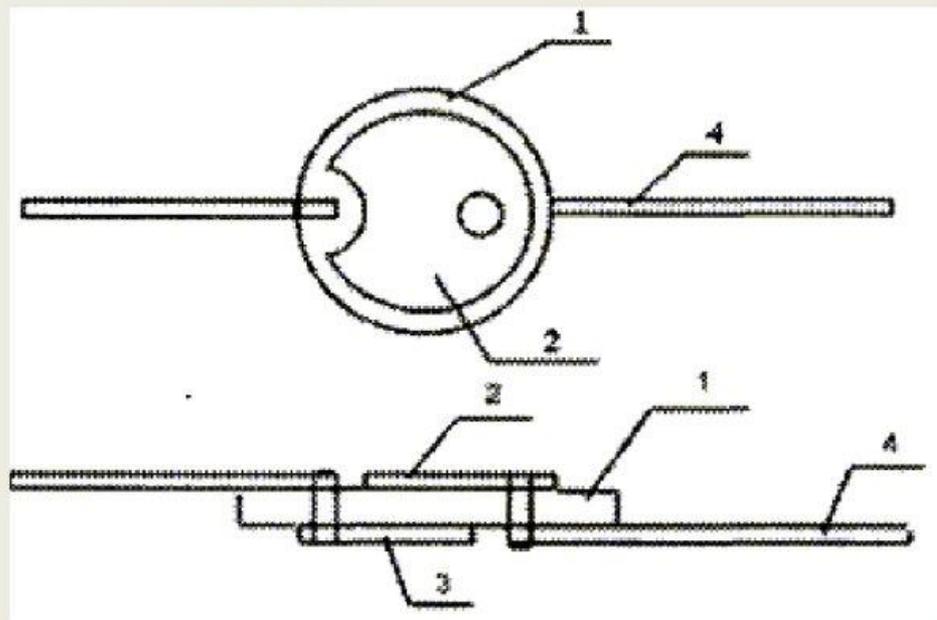


Рис. 10. Конструкция дискового конденсатора:

- 1 – керамический диск;
- 2,3 – серебряные обкладки;
- 4 – гибкие выводы

# Конденсаторы

## Конструкция конденсаторов

### 3. Секционная (многослойная) конструкция

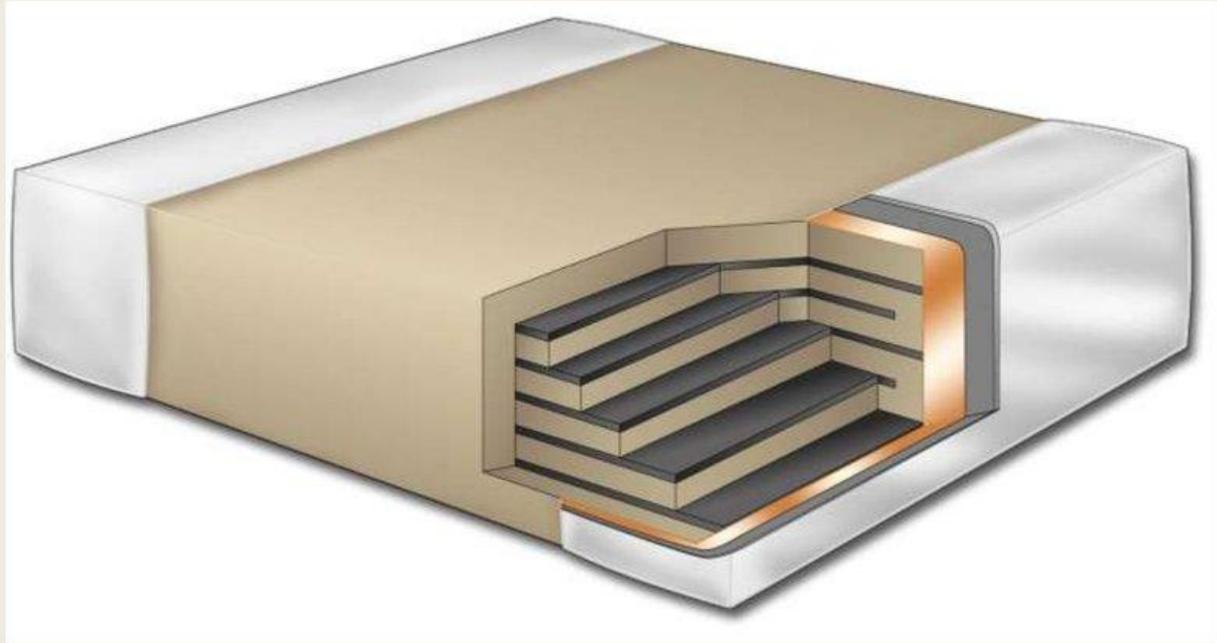


Рис. 11. Конструкция секционного (многослойного) конденсатора

# Конденсаторы

## Конструкция конденсаторов

### 4. Рулонная конструкция



Рис. 12. Рулонная конструкция на примере электролитического конденсатора

# Конденсаторы

## Конструкция конденсаторов

### 5. Переменный конденсатор

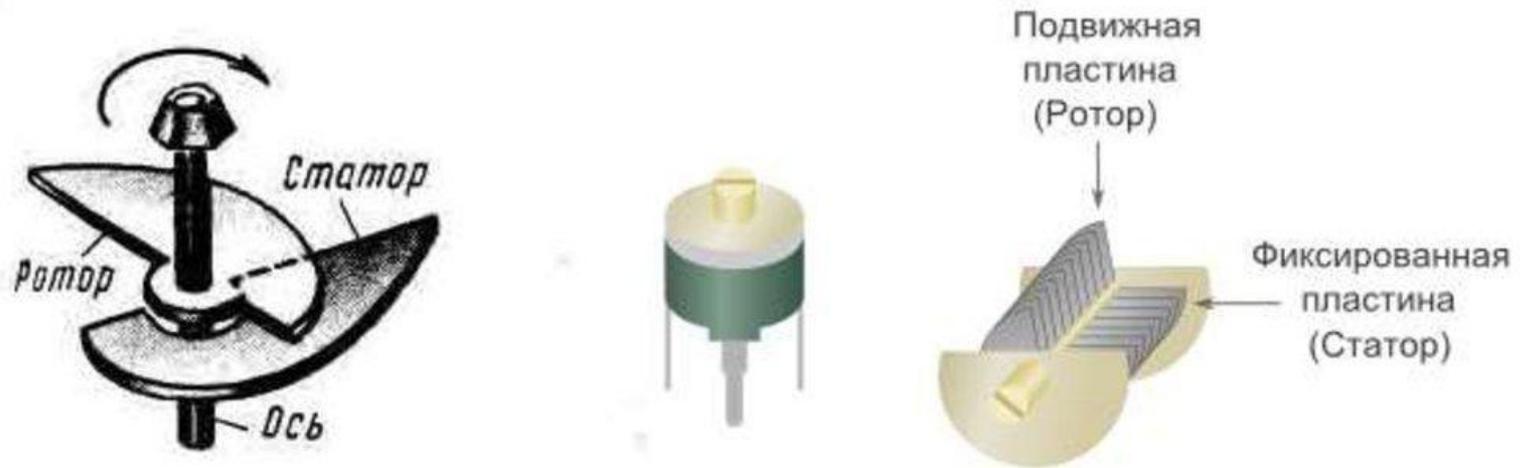


Рис. 13. Конструкция переменного конденсатора

# Конденсатор

## Эквивалентная схема конденсатора

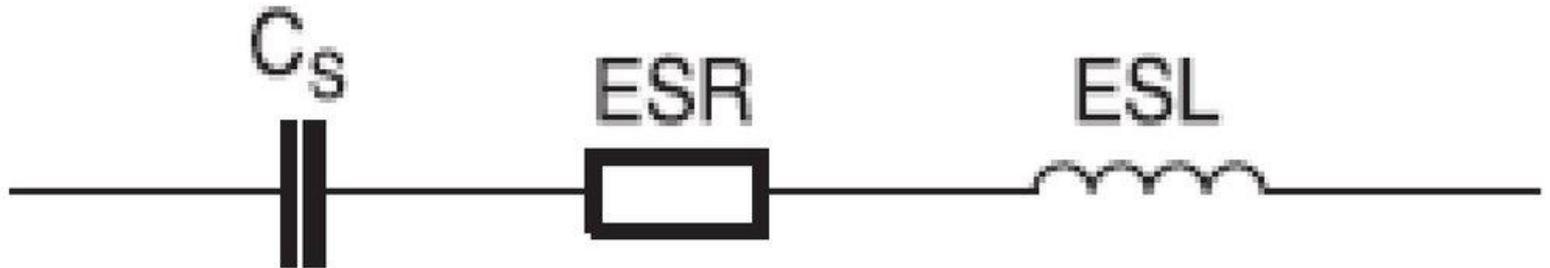


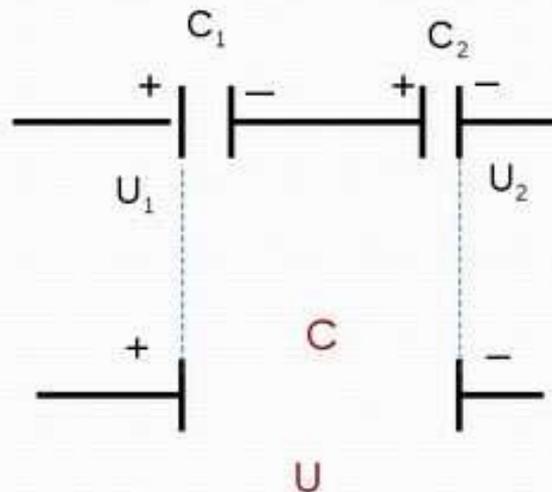
Рис. 14. Эквивалентная схема конденсатора:

$C_s$  – номинальная емкость конденсатора;

ESR – эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора;

ESL – эквивалентная последовательная индуктивность конденсатора

## Последовательное соединение



$d \uparrow$ , следовательно,  $C \downarrow$

$$q = q_1 = q_2$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$\frac{q}{C} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

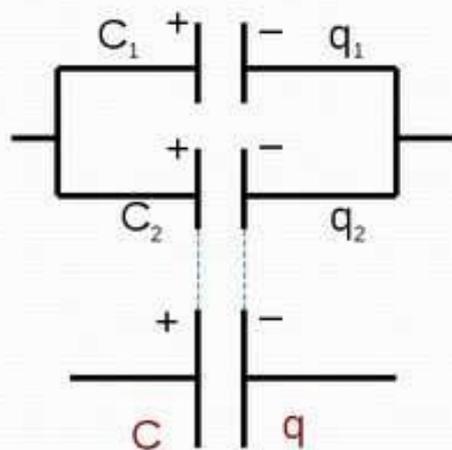
## Параллельное соединение

$$q = q_1 + q_2$$

$$U = U_1 = U_2$$

$$CU = C_1U_1 + C_2U_2$$

$$C = C_1 + C_2$$



$S \uparrow$ , следовательно,  $C \uparrow$

Конденсатор  
используется в медицине  
– в рентгеновской  
аппаратуре и в  
устройствах  
электротерапии.



Мобильные телефоны



Зарядное  
устройство



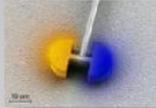
Конденсатор

применяется в телефонии и телеграфии – для  
разделения цепей переменного и постоянного токов,  
разделения токов различной частоты, искрогашения  
в контактах, симметрирования кабельных линий и  
т.д.





Светильники с  
разрядными лампами



Резонансный контур лазера  
с двумя полукруглыми лазерами



Лампа фотовспышки



Лампа дневного света



Конденсатор  
используется в схемах зажигания и  
для искрогашения в контактах  
транспорта.



## Емкостная клавиатура

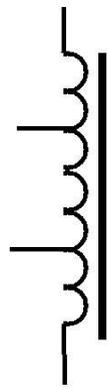
- Название технологии говорит само за себя – этот тип работает за счет конденсаторов, расположенных в устройстве. Две площадки из олова и никелированной меди, которые, кстати, никак не соединены друг с другом, ни механически, ни электрически, формируют каждую клавишу.
- Рассмотрим, как это работает. Мы нажимаем клавишу – расстояние между площадками увеличивается, при этом изменяется электрическая емкость, которая при нажатом состоянии равна приблизительно 2 пикофарадам, а при не нажатом – 20 пикофарадам.
- Уменьшение емкости создает поток заряженных частиц, который обрабатывается контроллером клавиатуры, который, в свою очередь, генерирует код нажатой клавиши. Кажется долго, но при этом такая клавиатура позволяет вводить текст со скоростью до 300 символов в секунду.



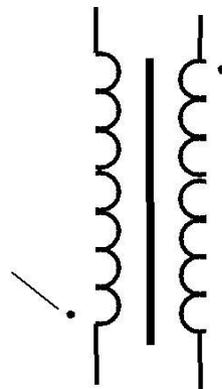
**Трансформатором** называется элемент ЭА, предназначенный для получения различных по амплитуде, мощности и фазе переменных напряжений, а также осуществления гальванической развязки в электрической цепи.

Трансформаторы делятся на трансформаторы питания (силовые), сигнальные (согласующие), импульсные.

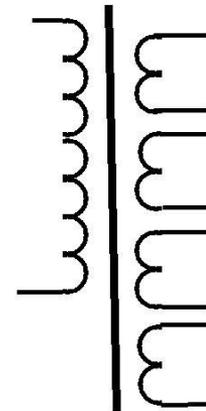
Основными элементами трансформатора являются магнитопровод и размещенные на нем обмотки.



Автотрансформатор



Двухобмоточный трансформатор



Многообмоточный трансформатор

По виду используемого сердечника различают трансформаторы с пластинчатым, ленточным и прессованным сердечниками.

## Маркировка трансформаторов

*Трансформаторы питания:* первый элемент – буква Т; второй - буква или две буквы (А – трансформатор питания анодных цепей, Н – трансформатор питания накальных цепей, АН – трансформатор питания анодно-накальных цепей, ПП – трансформатор для питания полупроводниковой аппаратуры, С – силовой трансформатор для бытовой аппаратуры); третий элемент (число) – номер разработки; четвертый элемент (число) – номинальное напряжение питания (110, 127, 220,В); пятый элемент (число) – рабочая частота (50, 60, 400, 1000 Гц); шестой элемент – буква или сочетание букв (В – всеклиматического исполнения, ТС – для сухого тропического климата, ТВ – для влажного тропического климата), например, ТА5 -127/220 -50-В.

*Сигнальные трансформаторы:* первый элемент – буква Т; второй элемент – сочетание букв (ВТ – входной для транзисторной аппаратуры, М – межкаскадный, ОТ – оконечный трансформатор для транзисторных устройств); третий элемент – порядковый номер разработки. Например, ТОТ-1 – выходной трансформатор для транзисторной аппаратуры.

*Импульсные трансформаторы:* первый элемент – буква Т; второй элемент – буква И для импульсов длительностью 0,5...100 мкс, буквы ИМ для импульсов длительностью 0,02...100 мкс; третий элемент - порядковый номер разработки.

## Основные электрические параметры

**Для трансформаторов питания:**  $U_1$  – напряжение на первичной обмотке;  $n$  – коэффициент трансформации при разомкнутой вторичной обмотке (в режиме холостого хода);  $P_n$  – номинальная мощность – сумма мощностей вторичных обмоток;  $F$  – частота питающей сети; КПД – коэффициент полезного действия. Существуют ряды значений  $P_n$  и  $n$ .

**Для сигнальных трансформаторов,** помимо перечисленных выше, выделяют следующие параметры: полоса рабочих частот, входной и выходной импеданс на рабочих частотах, индуктивности обмоток, сопротивления обмоток постоянному току, коэффициент нелинейных искажений.

**Специфические параметры импульсных трансформаторов:** длительность импульса, частота следования импульсов, амплитуда импульса на первичной обмотке, спад плоской вершины выходного импульса, длительность фронтов выходного импульса.

## Твердотельные аналоги LC цепей

Эти элементы используют явление механического резонанса на ультразвуковых частотах в твердотельных структурах. По выполняемой функции делятся на **фильтры и резонаторы**.

Фильтры делятся на **пьезоэлектрические** и **электромеханические**.

**Пьезоэлектрические фильтры** выполняются из кварцевых и пьезокерамических пластин, в которых возникают резонансные колебания при возбуждении поперечных или поверхностных акустических волн на частоте

$$f = N_f / l,$$

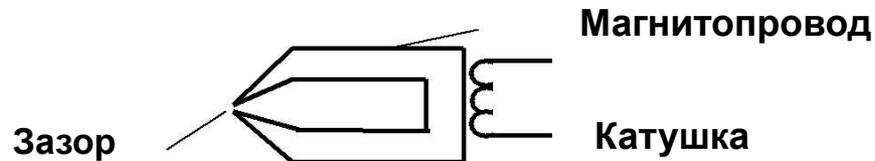
где  $N_f$  - частотная постоянная материала;  $l$  – характерный линейный размер. Промышленностью выпускается широкая номенклатура пьезокерамических фильтров (ПКФ) с рабочим диапазоном от единиц кГц до нескольких МГц, используемых в аналоговых трактах радио и телевизионной аппаратуры.

**Электромеханические фильтры** используют магнитострикционные или пьезоэлектрические преобразователи, селекция осуществляется в механически связанных резонаторах. Отличительная особенность – узкая полоса пропускания ( $\sim 3$  кГц), для рабочих частот до 2 мГц.



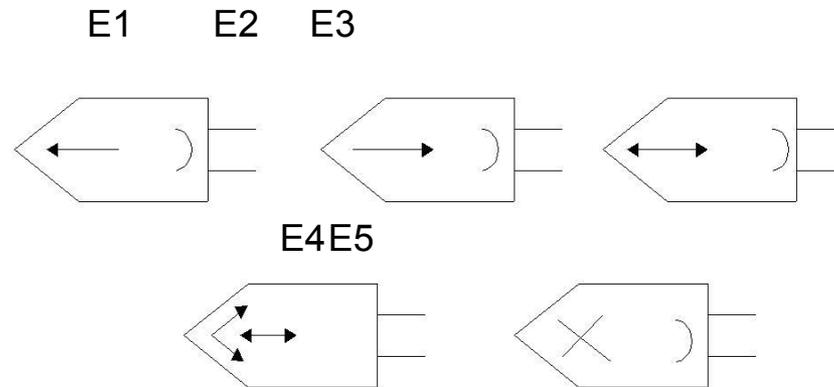
**Магнитные головки** – это элементы ЭА, предназначенные для записи, считывания и стирания информации на магнитном носителе. Они являются тороидальными катушками индуктивности, магнитопровод которых имеет зазор.

По назначению делятся на: звуковые (аудио), видео, цифровые и специальные.



Устройство магнитной головки

По выполняемой функции в электронной аппаратуре различают головки: записывающие, воспроизводящие (считывающие), стирающие.



Обозначения магнитных головок на схемах: E1 – записывающая; E2 – воспроизводящая; E3, E4 – универсальная; E5 – стирающая

**Индуктивность головки** характеризует полный импеданс (от 1 Гн до долей мкГн).

**Ток записи** – величина тока, протекающего через обмотку головки, при котором обеспечивается получение номинальной ЭДС при считывании с заданного магнитного носителя.

**Ток стирания** – величина тока, обеспечивающая заданное подавление предыдущих записей по отношению к последующей (от 30 дБ и выше).

**ЭДС воспроизведения** – напряжение на выходе головки при нормированных условиях записи на носитель (на заданной частоте).

**Рабочий диапазон частот** характеризует АЧХ тракта запись – воспроизведение.

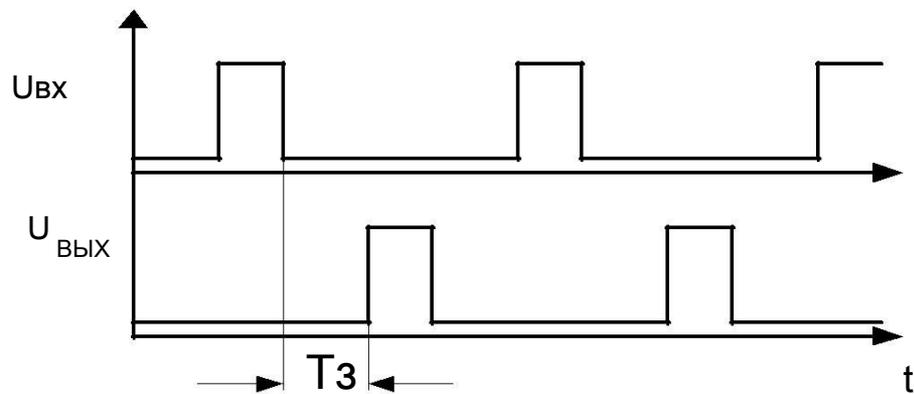
Маркировка магнитных головок зависит от фирмы производителя аппаратуры. Для отечественной звуковой аппаратуры используют следующую маркировку, поэлементно: цифра – соответствует ширине магнитной ленты в мм (3, 6, 12,...); буква – соответствует назначению головки (А – для записи, В – воспроизведения, С – стирания, D – универсальная головка); цифра – максимальное число дорожек одновременно записываемых или воспроизводящих; цифра – максимальное число дорожек; буква – сопротивление головки (Н – низкое, П – высокое); цифровой код модификации.

## **Искусственные линии**

Искусственные линии в импульсной технике используются для формирования импульсов и задержки их во времени.

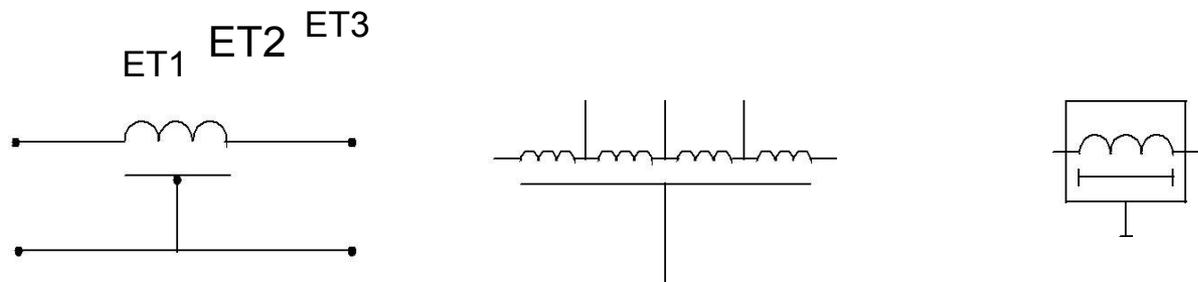
**Формирующие линии** применяются, как правило, в модуляторах мощных импульсных станций для получения стабильных по длительности импульсов высокого напряжения.

**Линии задержки** (ЛЗ) – элементы ЭА, предназначенные для номинальной временной задержки выходных видеоимпульсов относительно входных.



**Электрические ЛЗ** предназначены для задержки видеоимпульсов от единиц наносекунд до десятков микросекунд. Они делятся на **однородные** (с распределенными элементами) и на **линии с сосредоточенными параметрами**.

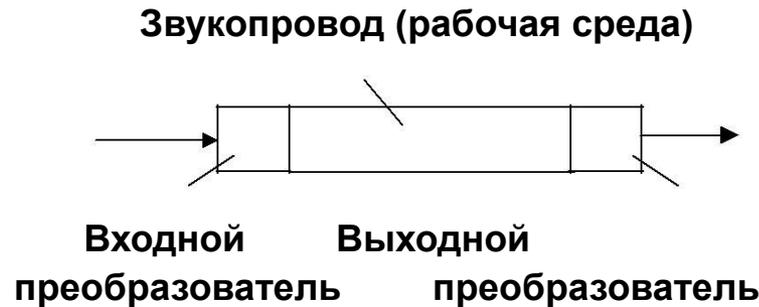
На принципиальных электрических схемах ЛЗ обозначаются прописными буквами ЕТ с порядковым числовым или буквенным индексом. Как правило, указывается марка ЛЗ.



**Ультразвуковые линии задержки** применяются, когда необходимо получить  $T_3$  от десятков микросекунд до единиц миллисекунд. В этих ЛЗ последовательно происходят : преобразование электрических колебаний в акустические, создание задержки:

$$T_3 = L / V_{cp}$$

( $L$  - путь волны в среде и  $V_{cp}$  - скорость распространения в рабочей среде), обратное преобразование в электрический сигнал.



**Магнестрикционные линии задержки** используют прямое и обратное явление магнестрикции в ферромагнетиках.



Достоинства – возможность плавно изменять время задержки, простота конструкции, малые температурные влияния, малая стоимость.