

**ОСНОВНЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ И УЗЛЫ  
ЭЛЕКТРОННЫХ  
УСТРОЙСТВ**

Компоненты и узлы электронных устройств (КУЭУ) представляют собой элементную базу электроники, к которой относятся отдельные **детали** или **модули**, представляющие собой предварительно собранные из отдельных деталей схемы неразъемных соединений.

К ним относятся:

- резисторы;
- конденсаторы;
- катушки индуктивности;
- трансформаторы;
- резонаторы;
- коммутирующие устройства;
- диоды;
- транзисторы;
- микросхемы;
- микросборки;
- печатные платы;
- печатные узлы и др.

КУЗУ являются функционально автономными узлами, выполняющими **определенные функции** и оформленные в **единое** неделимое **конструктивное целое**.

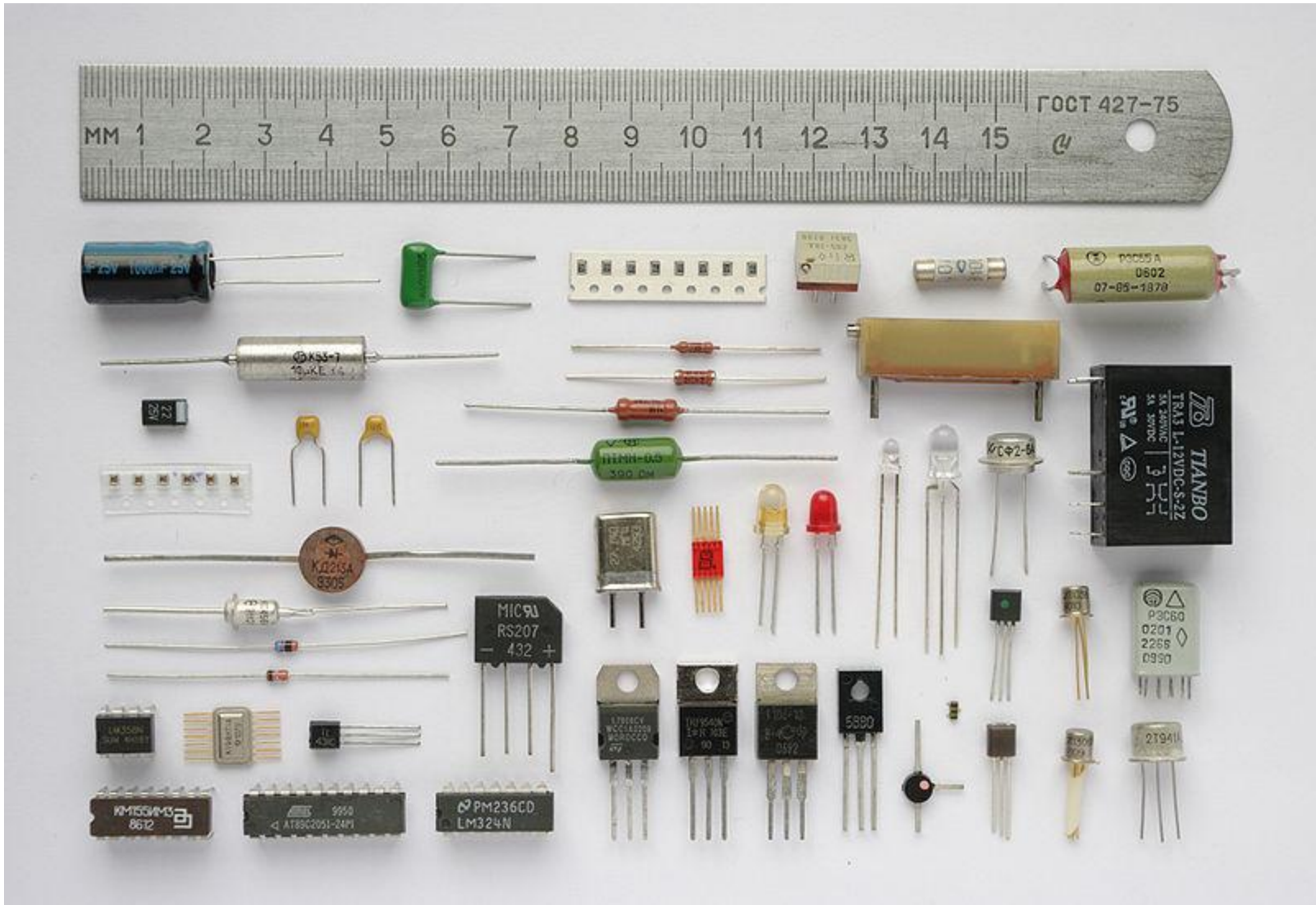
Элементную базу принято разделять на три группы:

- **активные,**
- **пассивные,**
- **преобразующие.**

**Пассивными элементами** называются приборы, которые служат для задания определенного режима работы активных и преобразующих элементов. Пассивными элементами являются резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности (дрессели), трансформаторы и др.

**Преобразующими элементами** называются приборы, которые служат для преобразования сигнала одного вида энергии в сигнал другого вида либо в тот же самый, но с другими значениями параметров преобразуемого сигнала. В качестве преобразующих элементов могут быть электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), различного типа датчики и др.

**Активными элементами** называются электронные приборы, с помощью которых можно получить усиление электрического сигнала по мощности (транзисторы, электровакуумные и газоразрядные приборы, некоторые типы полупроводниковых диодов (туннельный диод) и тиристоры.



**Стандартные КУЭУ** изготавливаются на специализированных заводах.

**Нестандартные КУЭУ** – разрабатываются конструкторами для некоторых определенных групп устройств.

**Основными характеристиками** КУЭУ являются:

1. Номинальные значения параметров.
2. Стабильность выходных параметров.
3. Технологичность.
4. Надежность.
5. Экономичность.
6. Конструктивная совместимость.
7. Габаритные размеры и вес.

# Резисторы

**Резистор** (англ. *resistor*, от лат. *Resisto* – сопротивляюсь) - изделие, предназначенное для создания в электрической цепи заданной величины сопротивления.

На практике резисторы обладают также паразитной ёмкостью, паразитной индуктивностью и нелинейностью вольт-амперной характеристики.

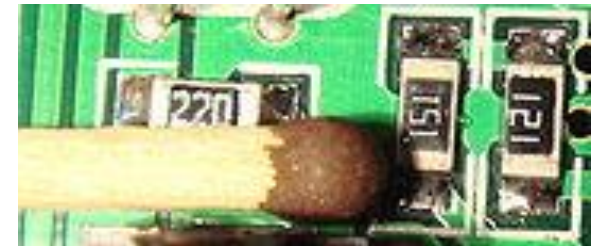
## Обозначение резисторов



**ВИДЕО**  
«1 – Условные обозначения резисторов»

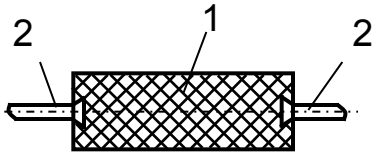


**Резисторы для навесного монтажа**

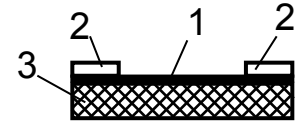
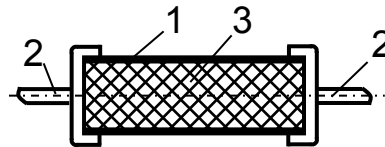


**Резисторы для поверхностного монтажа**

# Конструкция резисторов



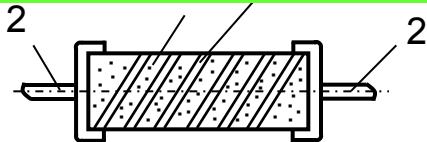
Цилиндрический резистор с



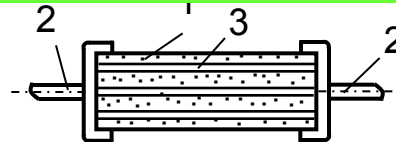
Плоский резистор с

## ВИДЕО

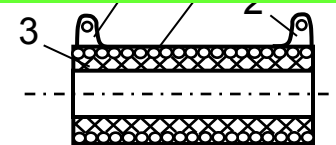
### «3 - Резисторы в интегральной структуре»



**Цилиндрический резистор со спиральным резистивным слоем на керамической базовой детали**

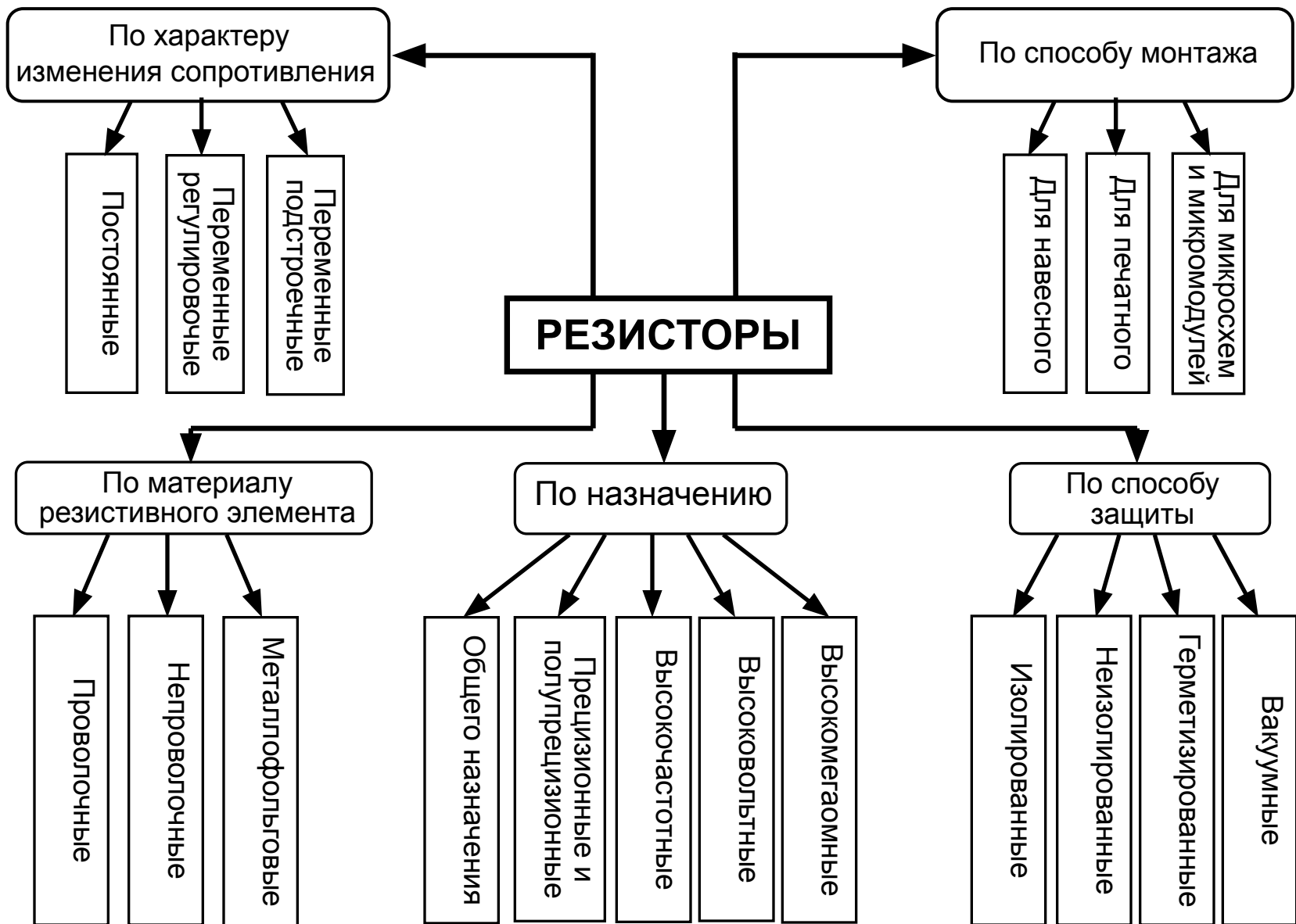


**Цилиндрический резистор с прорезями в пленочном резистивном слое**

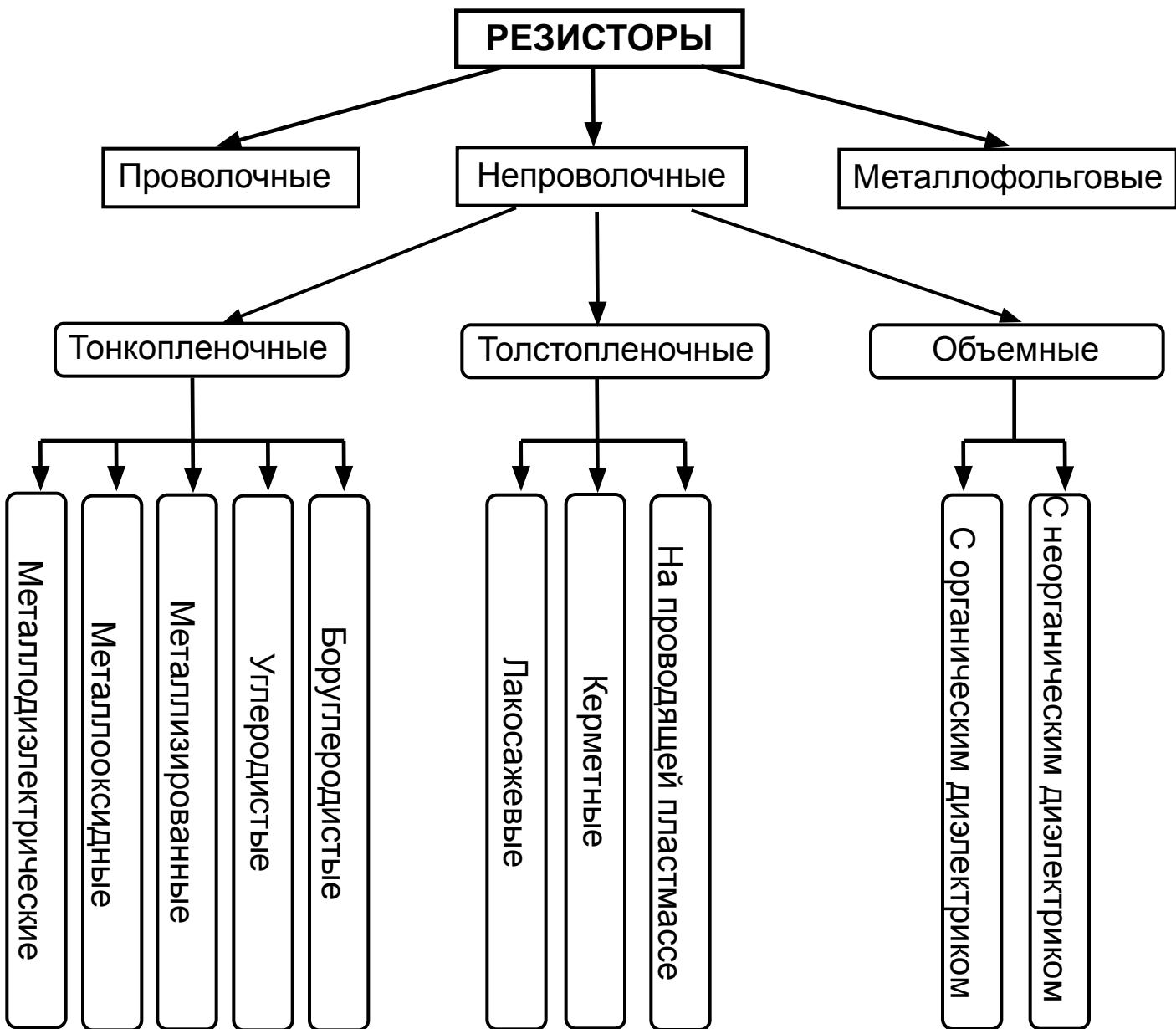


**Цилиндрический резистор с проволочным проводящим элементом на базовой керамической детали**

1- резистивный слой; 2 - вывод; 3 - базовая деталь;  
4 - провод с высоким электрическим сопротивлением.







# **ВИДЕО**

**«4 – Параллельное и последовательное  
соединение резисторов»**

# НАБОРЫ РЕЗИСТОРОВ

Схема 1

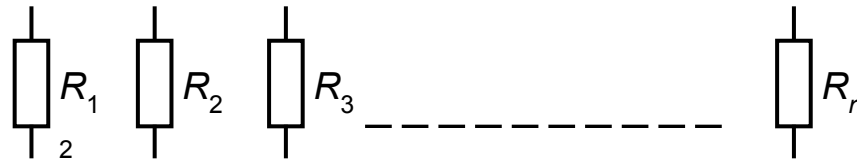


Схема 2

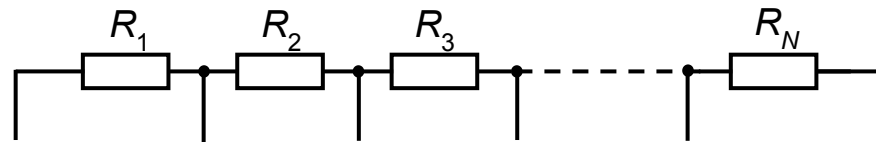


Схема 3

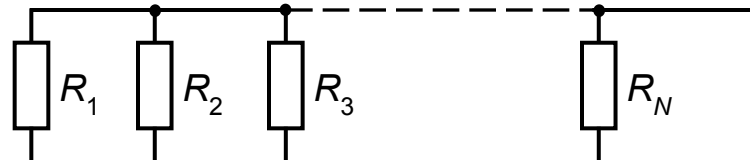
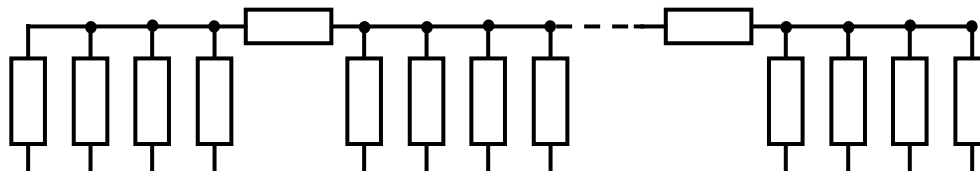


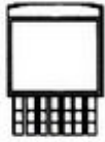
Схема 4



# ВИДЕО

«5 – Резисторные сборки»

# Типы корпусов микросхем



DDPAK



DIP



DPAK



FDIP



PDIP



PENTAWATT



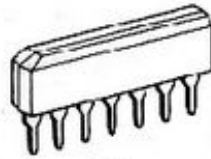
PLCC



QDIP



QFP



SIP



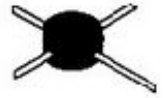
SO



S08



SOT23



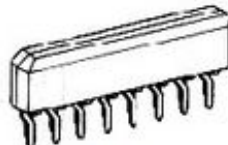
SOT103



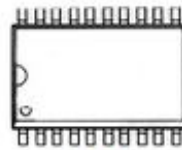
SOT223



SQL



SQP



SW



T7-T0220



TO3



TO5



TO5



TO50



TO52



TO92



TO99



TO100



TO220



TO220-5



TO220ISO



TO252



TO263



TO268



TSOP



ZIP

## ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИСТОРОВ

### 1 Номинальная величина сопротивления

В соответствии с рекомендациями МЭК номинальные значения должны соответствовать рядам E6, E12, E24, E48, E96, E192 и т. д.

#### РЯДЫ НОМИНАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН СОПРОТИВЛЕНИЙ

Индекс ряда	Числовые коэффициенты, умножаемые на любое число, кратное 10						Допуск к номиналу
E6	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	±20%
E12	1,0 1,2	1,5 1,8	2,2 2,7	3,3 3,9	4,7 5,6	6,8 8,2	±10%
E24	1,0 1,1 1,2 1,3	1,5 1,6 1,8 2,0	2,2 2,4 2,7 3,0	3,3 3,6 3,9 4,3	4,7 5,1 5,6 6,2	6,8 7,5 8,2 9,1	± 5%

Соотношение смежных номинальных величин сопротивлений подчиняется десятичным рядам геометрической прогрессии со знаменателями для ряда:

E6 (допуск ±20%)  $10^{1/6} \approx 1,47$ ;

E12 (допуск ±10%)  $10^{1/12} \approx 1,21$ ;

E24 (допуск ± 5%)  $10^{1/24} \approx 1,1$ .

Для резисторов повышенной точности используется нормализованный ряд допусков ±0,01; ±0,02; ±0,05; ±0,1; ±0,2; ±0,5; ±1%.

Для переменных резисторов используют допуски до ±30%.

## **2 Номинальная мощность рассеяния**

**Номинальная мощность рассеяния** – максимально допустимая мощность, которую резистор может рассеивать при режимах и условиях, установленных ТУ.

Нормализованный ряд - 0,01; 0,025; 0,05; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 8; 10; 16; 25; 50; 75; 100; 160; 250; 500.

# **ВИДЕО**

## **«5 – Обозначение номинальной мощности резисторов»**

и величиной мощности, выделяемой на резисторе

$$\Delta T = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{P}{S} = \frac{P_0}{\alpha},$$

где  $\Delta T$  - температура перегрева над окружающей средой, 0С;

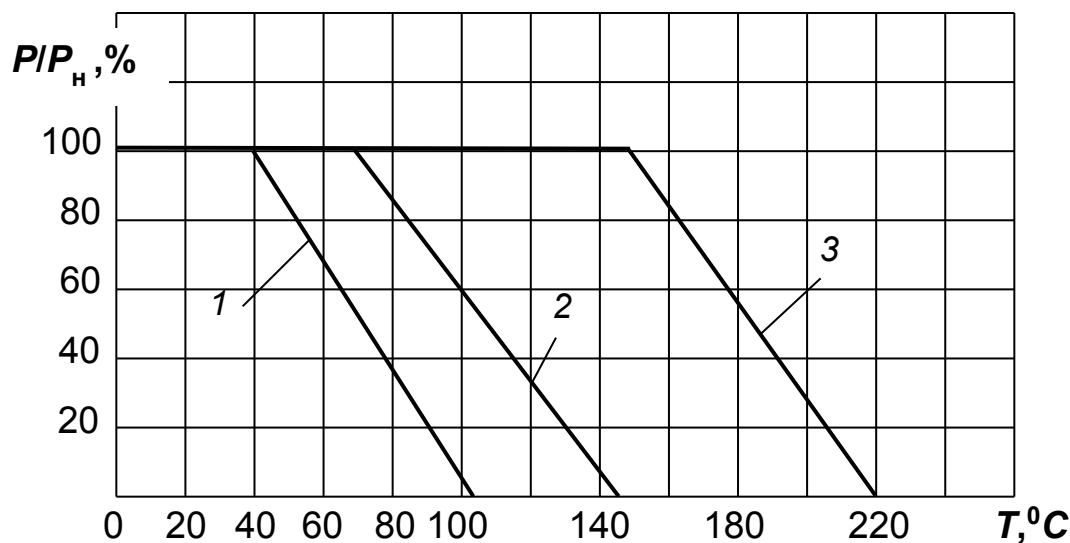
$P$  – мощность, выделяющаяся на резисторе, Вт;

$\alpha$  - коэффициент теплоотдачи, для н.у. он равен (1,5...2,0) Вт/см<sup>2</sup>·0С);

$P_0$  – удельная мощность рассеяния, Вт/см<sup>2</sup> (температуре перегрева 40-50°С соответствует удельная мощность порядка 0,1...0,15 Вт/см<sup>2</sup>).

Для каждого типа резисторов установлена максимальная температура окружающей среды, при которой его можно нагружать номинальной мощностью, не вызывая недопустимого изменения параметров.

При увеличении температуры выше максимальной нагрузка должна уменьшаться примерно на 1,5% на каждый градус повышения температуры среды.



- 1 – резисторы типа ВС;
- 2 – резисторы типа МЛТ;
- 3 – резисторы типа МТ.

При принудительном охлаждении нагрузка может быть увеличена в несколько раз.

При импульсной нагрузке средняя мощность должна быть ниже в несколько раз в зависимости от свойств токопроводящего слоя.

При понижении атмосферного давления нагрузка на резистор также должна быть уменьшена. Приблизительно можно считать, что мощность должна быть уменьшена на 1% на каждые 10 мм рт. ст. понижения атм. давления.

### **3 Рабочее напряжение**

Рабочее напряжение **низкоомных резисторов** определяется нагревом и не должно превышать величины, определяемой выражением

$$U_{\text{раб}} \leq \sqrt{P_{\text{н}} \cdot R_{\text{н}}}$$

У **высокоомных резисторов** рабочее напряжение определяется электрической прочностью, которая устанавливается в зависимости от конструкции резисторов.

Предельные рабочие напряжения постоянных резисторов по ГОСТ 24013-80 выбирается из ряда 25; 50; 100; 150; 200; 250; 500; 750; 1000; 1500; 2500; 3000; 4000; 5000; 10 000; 20 000; 25 000; 35 000; 40 000; 60 000 В.

Предельные рабочие напряжения переменных резисторов выбирается из ряда 5; 10; 25; 50; 100; 150; 200; 250; 350; 500; 750; 1000; 1500; 2500; 3000; 8000 В.



## **4 Стабильность**

### **4.1 Температурная стабильность.**

Температурная стабильность определяется температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), который характеризует обратимое относительное изменение сопротивления при изменении температуры на один градус Цельсия или Кельвина.

# **ВИДЕО**

## **«7 – Температурный коэффициент сопротивления»**

где  $\Delta R$  – алгебраическая разность между сопротивлением при заданных крайней положительной и крайней отрицательной температурах и сопротивлением при нормальной температуре;

$R_n$  - сопротивление при нормальной температуре;

$\Delta t$  - алгебраическая разность между заданной положительной или заданной отрицательной температурой и нормальной температурой.

ТКС проволочных резисторов практически не зависит от температуры и для резисторов общего применения лежит в пределах  $(-5...+10) \cdot 10^{-4}$  1/град, а для точных и прецизионных -  $\pm(0,15...1,5) \cdot 10^{-4}$  1/град. ТКС непроволочных резисторов зависит от температуры и выше, чем у проволочных.

## **4.2 Изменение сопротивления при воздействии влаги.**

Изменение сопротивления при воздействии влаги оценивается **коэффициентом влагостойкости**, который определяется ***отношением изменения сопротивления в условиях повышенной влажности за определенный период к первоначальному значению в процентах.***

Изменения сопротивления обусловлены окислительными и электрохимическими процессами при воздействии на резистор воды.

Коэффициент влагостойкости непроволочных резисторов достигает нескольких процентов, причем у высокоомных резисторов он значительно больше, чем у низкоомных.

Для защиты резисторов от воздействия влаги применяют покрытие их лаками, эмалями опрессовку пластмассами и герметизацию. Благодаря этим мерам современные резисторы допускают работу при относительной влажности до 90-98%.

Коэффициент влагостойкости проволочных резисторов очень мал и практически не учитывается.

### **4.3 Старение**

С течением времени происходит изменение сопротивления резистора, которое вызывается как структурными изменениями резистивного элемента (за счет кристаллизации, окисления и различных электрохимических процессов), так и за счет изменения свойств переходных контактов.

В наибольшей степени старение проявляется в непроволочных резисторах, где изменение сопротивления достигает нескольких процентов. В проволочных резисторах явление старения не имеет практического значения.

Процессы старения ускоряются в условиях повышенных температур, влажности и при электрической нагрузке.

В технических условиях указываются:

- коэффициент сохранности - относительное изменение сопротивления к концу срока хранения;
- коэффициент теплостойкости - относительное изменение сопротивления после теплового воздействия;
- коэффициент старения - относительное изменение сопротивления после совместного действия температуры и электрической нагрузки и т.д.

#### **4.4 Изменение сопротивления при действии электрической нагрузки**

При электрической нагрузке возникают как обратимые, так и необратимые изменения сопротивления резистора.

В непроволочных резисторах из-за зернистой структуры резистивного элемента возникает неравномерный нагрев мест соприкосновения отдельных частиц, под влиянием которого меняется величина переходного сопротивления между ними.

*При малых нагрузках эти изменения носят обратимый характер.*

*При больших нагрузках происходит спекание частиц и изменения становятся необратимыми.*

В проволочных резисторах эти явления не наблюдаются.

Обратимые изменения сопротивления резистора под влиянием нагрузки оценивают **коэффициентом нагрузки** (относительным изменением сопротивления, происходящим при изменении в определенных пределах нагрузки, например от  $0,1P_{\text{НОМ}}$  до  $1P_{\text{НОМ}}$ ).

Обратимые изменения сопротивления резистора под влиянием приложенного напряжения оценивают **коэффициентом напряжения** (относительным изменением сопротивления, происходящим при изменении напряжения в определенных пределах, например от  $0,1U_{\text{НОМ}}$  до  $1U_{\text{НОМ}}$ ).

Коэффициент напряжения характеризует в целом качество резистора, чистоту и однородность исходных материалов, выполнение отдельных элементов в конструкции. Его величина обычно не превышает нескольких процентов.

## 5 Собственные шумы резисторов

Собственные шумы резисторов складываются из тепловых и токовых шумов.

Возникновение **тепловых шумов** связано с флуктуационными изменениями объемной концентрации свободных электронов в резистивном элементе, обусловленными их тепловым движением. Этот шум проявляется на концах резистора в виде переменного напряжения с непрерывным спектром частот.

Величина шумового напряжения может быть определена по формуле Найквиста

$$U_{\text{ш}} = (4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f)^{1/2},$$

где  $U_{\text{ш}}$  – шумовое напряжение в В;

$k$  – постоянная Больцмана  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

$T$  – абсолютная температура, 0К;

$\Delta f$  – полоса частот, Гц.

Для практических расчетов применяется формула

$$U_{\text{ш}} = \frac{1}{8} \sqrt{R \cdot \Delta f}$$

где  $U_{\text{ш}}$  – шумовое напряжение в мкВ;

$R$  – сопротивление, кОм;

$\Delta f$  – полоса частот, кГц.

Тепловые шумы не зависят от величины протекающего тока и для высокоомных резисторов имеют большие значения.

**Токовые шумы** обусловлены флуктуациями контактных сопротивлений между проводящими частицами, а также трещинами и неоднородностями резистивного элемента.

Эти флуктуации являются следствием

- изменения площади контактирования отдельных токопроводящих частей структуры резистивного элемента,

- перераспределения напряжения на отдельных зазорах между этими частицами,

- возникновения новых проводящих цепочек в относительно больших зазорах под действием высокой напряженности электрического поля и т.д.

**Токовые шумы** зависят от материала и конструкции резисторного элемента и наиболее характерны для непроволочных резисторов. Они **значительно больше тепловых шумов**. Их спектр частот также непрерывен и не подчиняется никакому периодическому закону.

Поэтому собственные шумы измеряют действующим значением ЭДС шумов и выражают в микровольтах на вольт приложенного напряжения.

$$E_{\text{ш}}, \text{мкВ/В} = \frac{U_{\text{ш}}}{U_0}$$

Собственные шумы резисторов тем выше, чем больше температура и напряжение. Высокий уровень шумов резистора ограничивает чувствительность электронных схем и создает помехи при воспроизведении полезного сигнала. Значение ЭДС шумов для непроволочных резисторов принимает значение от долей единиц до десятков и сотен микровольт на вольт.

Уровень собственных шумов обычно указывают для полосы частот от 50 Гц до 5 кГц при нагрузке **низкоомных резисторов номинальной мощностью**, а **высокоомных – предельным рабочим напряжением**.

Непроволочные резисторы по величине уровня шумов делятся на две группы, а именно, группу А с  $E_{\text{ш}} \leq 1 \text{ мкВ/В}$  и группу Б с  $E_{\text{ш}} \leq 5 \text{ мкВ/В}$ .

Методы измерения уровня собственных шумов резисторов нормированы с погрешностью  $\pm 10\%$  и  $\pm 20\%$ . Для измерения используют измерители шумов сопротивлений.

# **ВИДЕО**

## **«8 – Шумы»**



## **6 Частотные свойства резисторов и особенности работы в импульсных режимах**

Частотные свойства проявляются при работе резисторов на переменном токе, при этом полное сопротивление становится комплексным

$$Z = R_a + jR_p,$$

где  $Z$  – полное сопротивление резистора на переменном токе;

$R_a$  – активная составляющая сопротивления резистора;

$jR_p$  – реактивная составляющая сопротивления резистора.

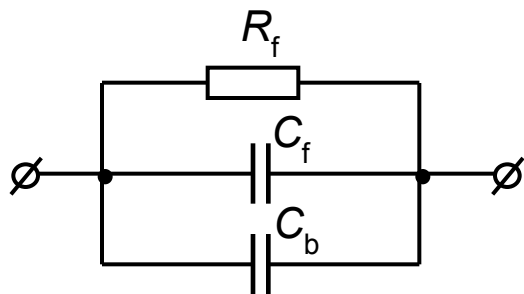
Поэтому при использовании резисторов в цепях переменного тока высокой частоты или в импульсных устройствах с короткими длительностями импульсов (фронтов) необходимо учитывать зависимость их полного сопротивления от частоты, которая обусловлена появлением реактивных составляющих за счет наличия собственных емкостей и индуктивностей.

**Предельная частота** использования резисторов ограничивается:

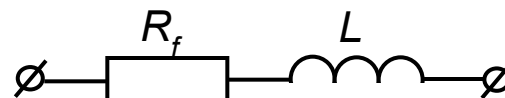
- для непроволочных резисторов с номинальным сопротивлением порядка килоома и выше в основном собственной емкостью;

- для низкоомных (единицы и десятки Ом) – индуктивностью арматуры и нарезки резистивного элемента.

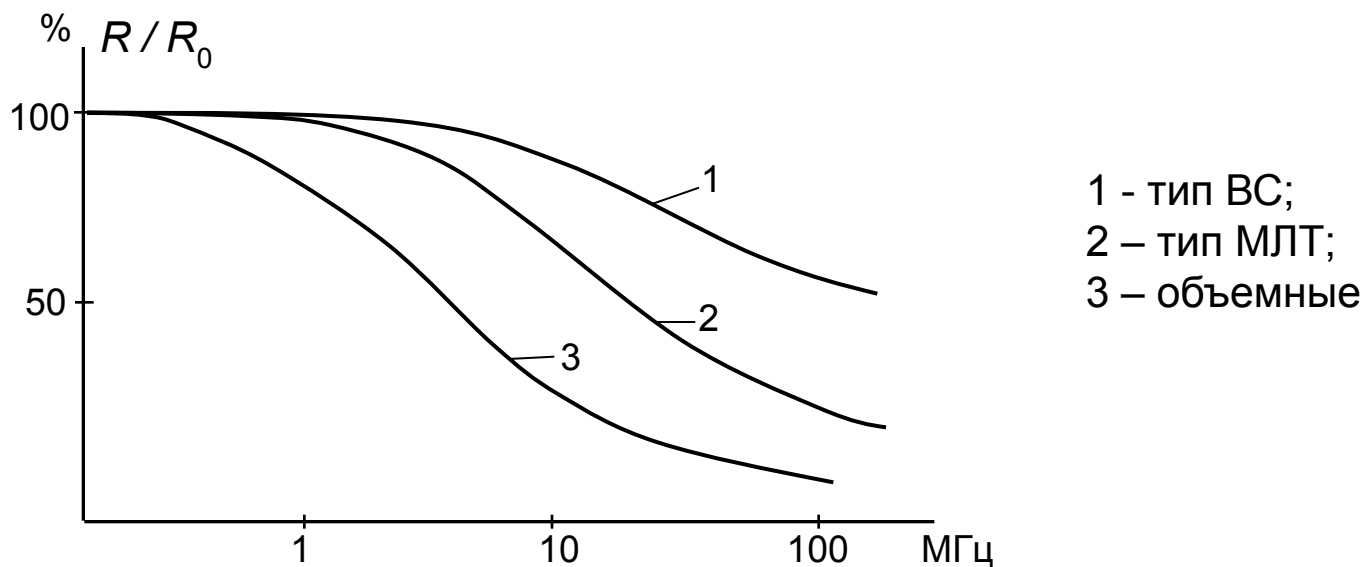
## Схемы замещения резисторов



Высокоомные резисторы



Низкоомные резисторы



Зависимость полного сопротивления непроволочных резисторов от частоты

Полная индуктивность непроволочного резистора складывается из двух составляющих:

- индуктивности резистивного элемента;
- индуктивности выводов.

Индуктивность резистивного элемента зависит от его формы и размеров. Для резистора цилиндрической формы со сплошным резистивным слоем при  $l \geq (3...5)D$  распределенная индуктивность резистора  $L' \approx 3\text{нГ}/1\text{см}$ . Спиральная нарезка резистивного элемента увеличивает индуктивность в десятки и сотни раз пропорционально квадрату числа витков спирали.

Индуктивность выводов будет тем меньше, чем они короче и толще. Поэтому высокочастотные резисторы, к которым предъявляются требования особенно малых значений собственной индуктивности, не имеют обычных проволочных выводов, а снабжаются плоскими контактными наконечниками, которые непосредственно впаиваются в соответствующие участки схемы.

Распределенная емкость зависит от формы и размеров резистора, а также от диэлектрической проницаемости каркаса и защитного покрытия. Чем длиннее резистор и меньше его диаметр, чем ниже диэлектрическая проницаемость каркаса и покрытия, тем распределенная емкость будет меньше.

Для типовых резисторов она равна 0,05...0,15 пФ на 1 см длины резистора ( $C' \approx 0,05...0,15\text{пФ}/1\text{см}$ ).

Полная емкость резистора складывается из распределенной емкости, емкости между выводами и емкости относительно «земли».

Установлено, что при  $R > \sqrt{L'/C'}$  преобладающее влияние имеет емкость.

Резисторы, удовлетворяющие этому неравенству, условно называют высокоомными. У резисторов со сплошным резистивным слоем это достигается при  $R \geq 300$  Ом, а у резисторов с нарезным резистивным слоем при  $R \geq 3000$  Ом.

Реактивность элемента удобно характеризовать интервалом частот или граничной частотой, при которой погрешность не превышает допустимого значения.

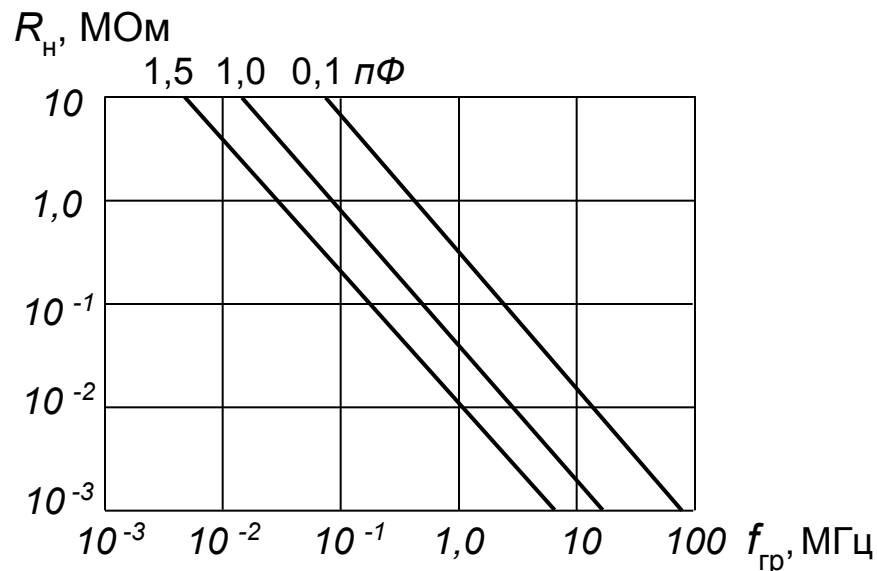
Считается приемлемым, если полное сопротивление резистора на переменном токе отличается от сопротивления постоянному току не более чем на 10%.

Граничная частота – частота, на которой может работать резистор, определяется по формуле

$$f_{гр} = 1/4\pi RC,$$

где  $R$  – номинальное сопротивление резистора,

$C$  – собственная емкость резистора (определяется по справочным данным).



Зависимость граничной частоты от номинального сопротивления и собственной емкости непроволочных резисторов

## 7 Надежность

Статистика отказов:

- более 50% происходит из-за нарушения контактного соединения выводов с резистивным элементом и его обрыва;
- до 40% - из-за перегорания резистивного элемента;
- до 10% - из-за недопустимых изменений сопротивления.

Отказы резисторов вызываются как недостатками конструкции и технологии производства, так и неправильной эксплуатацией (электрическими перегрузками, перегревом за счет окружающей среды, плотного монтажа и т. п.)

При нормальных условиях эксплуатации и номинальных нагрузках интенсивность отказов резисторов:

- постоянного сопротивления -  $(1...10) \cdot 10^{-6}$  1/ч;
- переменного сопротивления -  $20 \cdot 10^{-6}$  1/ч.

Интенсивность отказов выше у высокоомных резисторов и у резисторов с большей номинальной мощностью.

Интенсивность отказов увеличивается при повышенных электрических нагрузках и температурах.

Для повышения надежности и удлинения периода нормальной работы резисторы обычно используют в облегченных (по мощности и напряжению) режимах.

При работе в нормальных условиях коэффициент нагрузки для резисторов с допусковым отклонением  $\pm 5\%$  и больше выбирают порядка 0,5; для резисторов с допусковым отклонением меньше  $\pm 5\%$  - порядка 0,2.

Рекомендуется мощные резисторы располагать вертикально. При групповом монтаже зазоры между отдельными резисторами должны быть не менее величины их диаметра, а нагрузка снижена до 30% допускаемой, не рекомендуется совместный монтаж мощных и маломощных резисторов.

## СИСТЕМА УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И МАРКИРОВКА РЕЗИСТОРОВ

В соответствии с действующей системой сокращенных и полных условных обозначений сокращенное условное обозначение, присваиваемое резисторам, должно состоять из следующих элементов:

- первый элемент – буква или сочетание букв, обозначающие подкласс резисторов (Р - резисторы постоянные; РП - резисторы переменные; НР - набор резисторов);

- второй элемент – цифра, обозначающая группу резисторов по материалу резистивного элемента (1 - непроволочные; 2 - проволочные или металлофольговые);

- третий элемент – регистрационный номер конкретного типа резистора.

Между вторым и третьим элементом ставится дефис.

Например, постоянные непроволочные резисторы с номером 4 или переменные непроволочные резисторы с номером 46 следует писать **Р1-4** и **РП1-46** соответственно.

**Полное условное обозначение** состоит из:

- сокращенного обозначения;
- варианта конструктивного исполнения (при необходимости);
- значений основных параметров и характеристик резисторов;
- климатического исполнения;
- обозначения документа на поставку.

Параметры и характеристики, входящие в полное условное обозначение резистора, указываются в следующей последовательности.

**Для резисторов постоянных:**

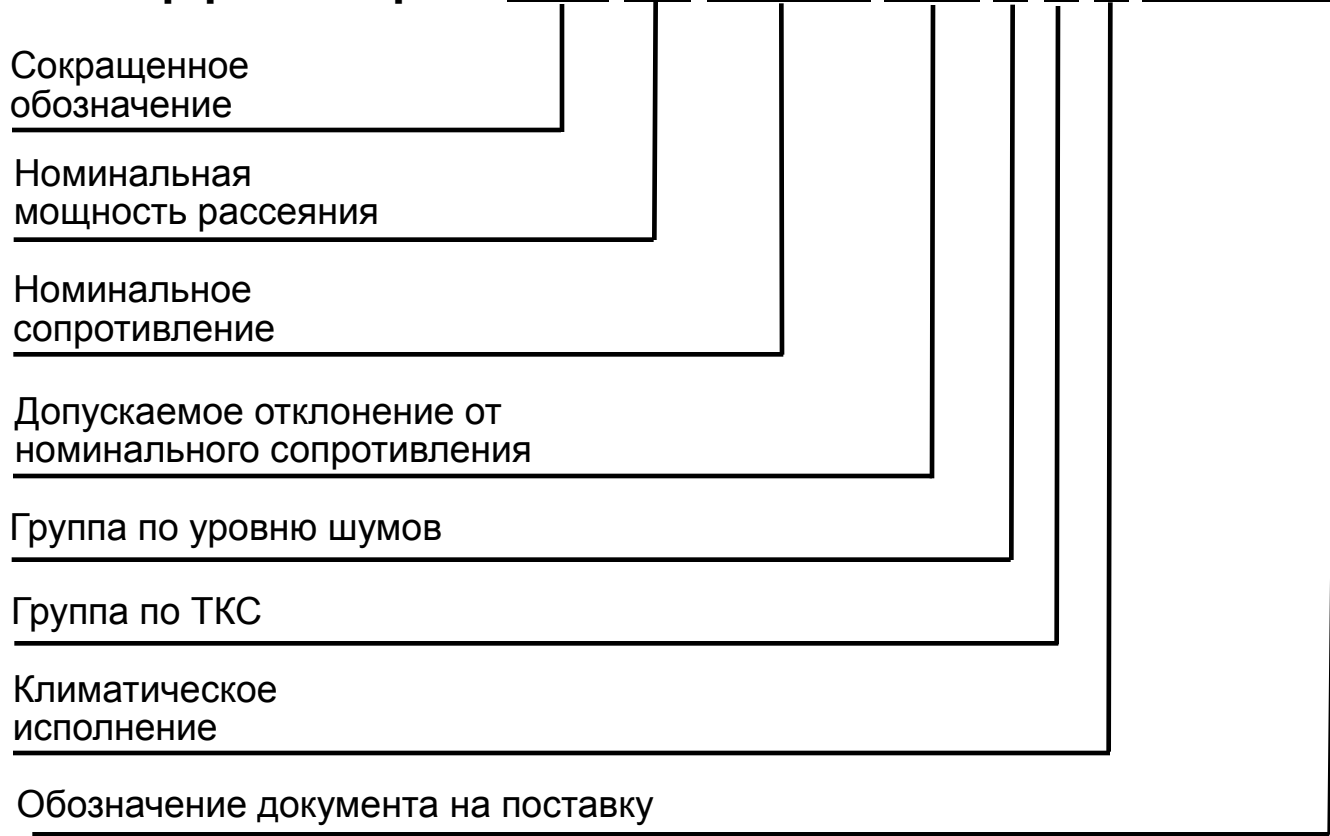
- номинальная мощность рассеяния;
- номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения (Ом, кОм, Мом, ГОм, ТОм);
- допускаемое отклонение сопротивления в процентах (допуск);
- группа по уровню шумов (для непроволочных резисторов);
- группа по температурному коэффициенту сопротивления (ТКС).

Группа по ТКС, $10^{-6} \cdot 1/^\circ\text{C}$		<b>С</b>	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>Д</b>	<b>Е</b>
ТКС	$(-60...+20)^\circ\text{C}$	$\pm 55$	$\pm 75$	$\pm 150$	$\pm 200$	$\pm 500$	$\pm 800$	$\pm 1200$
	$(-20...+155)^\circ\text{C}$	$\pm 15$	$\pm 25$	$\pm 50$	$\pm 100$	$\pm 250$	$\pm 500$	$\pm 1000$

Например, **Р1-4-0,5-10 кОм ± 1% А-Б-В ОЖО.467.157 ТУ**.

Постоянный непроволочный резистор с регистрационным номером 4, номинальной мощностью рассеяния 0,5 Вт, номинальным сопротивлением 10 кОм, с допуском ±1%, группой по уровню шумов А, группы ТКС – Б, всеклиматического исполнения В.

**Набор резисторов Р1-4-0,5-10 кОм ±1% А-Б-В ОЖО.467.157 ТУ**





Для резисторов переменных:

- номинальная мощность рассеяния;
- номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения (Ом, кОм, МОм);
- допускаемое отклонение сопротивления в процентах (допуск);
- функциональная характеристика (для непроволочных резисторов);
- обозначение конца вала и длины выступающей части вала (размер от монтажной плоскости до конца вала) по ГОСТ 4907-73:

ВС-1 – сплошной гладкий;  
ВС-2 – сплошной со шлицем;  
ВС-3 – сплошной с лыской;  
ВС-4 – сплошной с двумя лысками;  
ВП-1 – полый гладкий;  
ВП-2 полый с лыской.

Например.

	0,125-1 кОм ± 10% А	
РП1-33Д	0,125-3,3 кОм ± 20% А	ВП-1-32 ОЖО.468...ТУ
	0,125-1 кОм ± 20% В	
	0,125-2 МОм ± 20% А	

Переменный непроволочный счетверенный резистор с регистрационным номером 33, варианта конструктивного исполнения Д с параметрами и характеристиками в указанной выше последовательности, с видом конца вала ВП-1, с длиной выступающей части вала 32 мм.

По ГОСТ 13453-68 резисторы обозначали согласно нижеприведенной таблице

Постоянные резисторы	Переменные резисторы	Вид резистивного элемента
С1	СП1	Углеродистый.
С2	СП2	Металлопленочный и металлооксидный.
С3	СП3	Пленочный композиционный.
С4	СП4	Объемный композиционный.
С5	СП5	Проволочный.

На резисторах наносится **маркировка**, которая в зависимости от размеров может быть представлена в полном и сокращенном (кодированном) виде.

Маркировка содержит:

- вид;
- номинальную мощность;
- номинальное сопротивление;
- допуск;
- дату изготовления.

Полное обозначение номинальных сопротивлений состоит из значения номинального сопротивления (цифра) и обозначения единицы измерения (Ом - омы, кОм – килоомы, МОм – мегаомы, ГОм – гигаомы, ТОм – тераомы).

Например, 215 Ом; 150 кОм; 2,2 МОм; 6,8 ГОм; 1ТОм.

**Кодированное обозначение** номинальных сопротивлений состоит из трех или четырех знаков, включающих две цифры и букву или три цифры и букву.

Буква кода из латинского алфавита обозначает множитель, составляющий сопротивление, и определяет положение запятой десятичного знака.

Буквы R, K, M, G, T обозначают соответственно множители 1,  $10^3$ ,  $10^6$ ,  $10^{12}$  для сопротивлений, выраженных в омах.

Для приведенного выше примера 215 Ом, 150 кОм, 2,2 МОм, 6,8 ГОм, 1ТОм.  
215R    150K    2M2    6G8    1T0.

Сопротивление		Допуск		Примеры обозначения	
Множитель	Код	Допуск, %	Код	Полное обозначение	Код
1	R(E)	±0,1	B(Ж)	3,9 Ом±5%	3R9J
		±0,25	C(Y)	215 Ом±2%	215RG
$10^3$	K(K)	±0,5	D(Д)	1 кОм±5%	1KOJ
		±1	F(P)	12,4 кОм±1%	12K4F
$10^6$	M(M)	±2	G(Л)	10 кОм±5%	10KJ
		±5	J(И)	100 кОм±5%	M10J
$10^9$	G(Г)	±10	K(С)	2,2 МОм±10%	2M2K
		±20	M(B)	6,8 ГОм±20%	6G8M
$10^{12}$	T(T)	±30	N(Ф)	1 ТОм±20%	1ТОМ

**Примечание:**

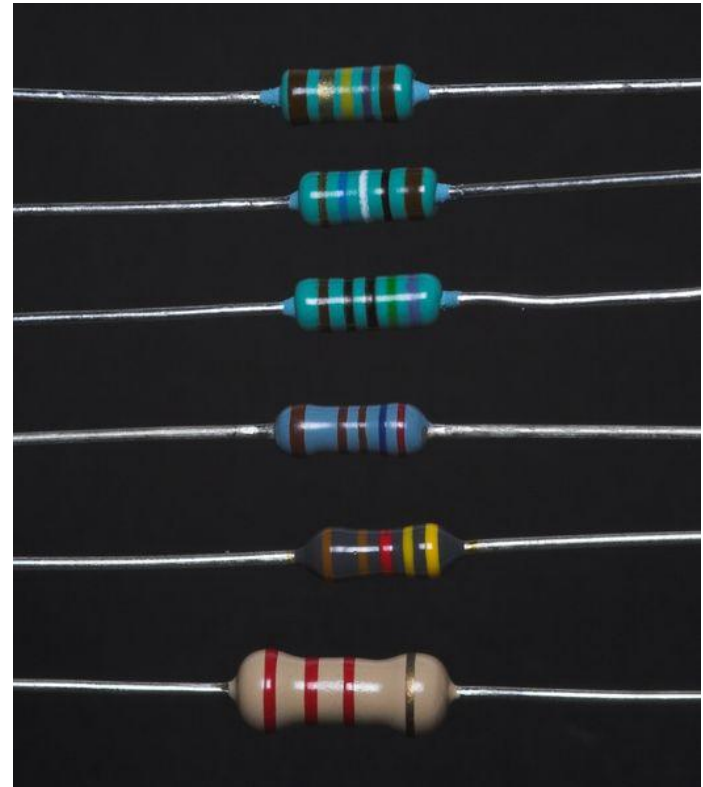
В скобках указано старое обозначение.

Для прецизионных резисторов кодированное обозначение допусков следующее: ±0,001% - E;  
±0,002% - L; ±0,005% - R; ±0,01% - P; ±0,02% - U; ±0,05% - X;

На постоянных резисторах в соответствии с ГОСТ 17598-72 и требованиями Публикации 62МЭК допускается маркировка цветным кодом. Ее наносят знаками в виде кругов или полос. Для маркировки цветным кодом номинальное сопротивление резисторов в омах выражается двумя или тремя цифрами (в случае трех цифр последняя цифра не равна нулю) и множителем  $10^n$ , где  $n$  – любое число от -2 до +9.

Маркировочные знаки сдвигают к одному из торцов резистора и располагают слева направо в следующем порядке:

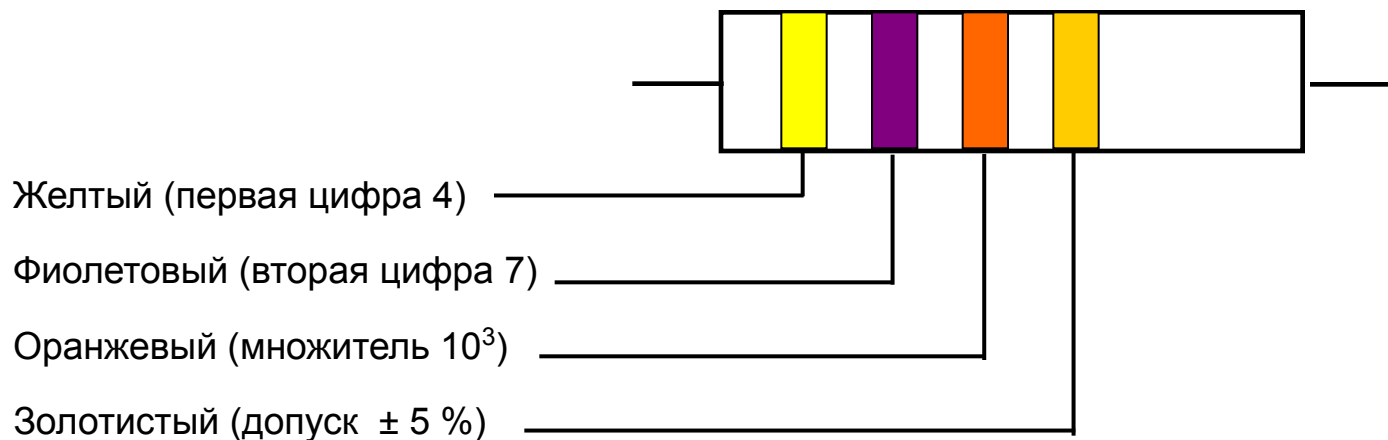
- первая полоса – первая цифра;
- вторая полоса – вторая цифра;
- третья полоса – третья цифра;
- четвертая полоса – множитель;
- пятая полоса – допуск.



## Цвета знаков маркировки номинального сопротивления и допусков

Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск, %
	первая цифра	вторая цифра	третья цифра	множитель	
Серебристый	-	-	-	$10^{-2}$	$\pm 10$
Золотистый	-	-	-	$10^{-1}$	$\pm 5$
Черный	-	0	-	1	-
Коричневый	1	1	1	10	$\pm 1$
Красный	2	2	2	$10^2$	$\pm 2$
Оранжевый	3	3	3	$10^3$	-
Желтый	4	4	4	$10^4$	-
Зеленый	5	5	5	$10^5$	$\pm 0,50$
Голубой	6	6	6	$10^6$	$\pm 0,25$
Фиолетовый	7	7	7	$10^7$	$\pm 0,10$
Серый	8	8	8	$10^8$	$\pm 0,05$
Белый	9	9	9	$10^9$	-

Пример цветной маркировки резистора с номинальным сопротивлением 47кОм и допуском  $\pm 5\%$ .



Для резисторов с номинальным сопротивлением, выраженным тремя цифрами и множителем, цветная маркировка состоит из пяти знаков (полос).

Первые три полосы – три цифры, четвертая и пятая – множитель и допуск. Если размеры резистора не позволяют разместить маркировку ближе к одному из торцов резистора, площадь первого знака (ширина первой полосы) делается примерно в два раза больше других знаков.

**ВИДЕО «9 – Калькулятор цветной маркировки»**

Сокращенное обозначение наборов резисторов состоит из следующих элементов:

первый элемент – сочетание букв НР, обозначающий подкласс резисторов (набор резисторов);

второй элемент – цифра, обозначающая вид материала резистивных элементов (1 – непроволочные, 2 – проволочные или металлофольговые);

третий элемент – регистрационный номер конкретного типа набора резисторов.

Пример. Сокращенное обозначение набора непроволочных резисторов с регистрационным номером 3 обозначается - **НР1-3 ... ТУ**;

Полное обозначение состоит из:

- сокращенного обозначения варианта конструктивного исполнения;
- значений **основных параметров и характеристик набора**;
- климатического исполнения;
- обозначения документа на поставку.

В состав **основных параметров и характеристик наборов резисторов** входят:

- обозначение типовой схемы построения набора;
- число резисторов в наборе;
- номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения сопротивления;
- допускаемое отклонение сопротивления в процентах и коэффициент отношения (деления);
- погрешность коэффициента отношения (деления);
- группа по температурному коэффициенту сопротивления (ТКС).

Пример полного обозначения резистора.

Полное обозначение набора непроволочных резисторов, с регистрационным номером 11, типовой схемы построения 3, с числом резисторов 15, имеющих номинальное сопротивление 220 кОм и допускаемое отклонение  $\pm 5\%$ , с документом на поставку ОЖО.467.408 ТУ обозначается

**Набор резисторов**      **НР1-11-3-15-220 кОм  $\pm 5\%$  ОЖО.467.408 ТУ**

Сокращенное обозначение

Типовая схема построения

Количество резисторов

Номинальное сопротивление

Допускаемое отклонение от номинального сопротивления

Обозначение документа на поставку



# РАЗНОВИДНОСТИ И ТИПЫ РЕЗИСТОРОВ

## Резисторы постоянного сопротивления

**Углеродистые резисторы** (тип С1) – резисторы поверхностного типа, проводящим элементом которых является пиролитический углерод.

Пленку пиролитического углерода наносят на поверхность изоляционных сплошных или трубчатых заготовок путем разложения при высокой температуре (1200-1300° С) без доступа кислорода (**пиролиза**) газообразных углеводородов (гептана  $C_7H_{16}$ ).

Углеродистые резисторы характеризуются **малой стоимостью и параметрами, позволяющими широко применять** во многих типах электронной аппаратуры.

**Предельные рабочие температуры** углеродистых пленок в нормальных условиях не превышают 150°С. В длительном режиме рекомендуется не превышать 120°С.

**Номинальная мощность** рассеяния резисторов составляет от 0,125 до 10 Вт.

Данных тип резисторов изготовляют без нарезки с величиной сопротивления не более 1000 Ом, а с нарезкой до 10 МОм.

Для защиты от проникновения влаги в резистивный слой **резисторы покрывают** двумя слоями эмали, а предназначенные для использования в условиях тропического климата – четырьмя слоями.

**ТКС высокоомных резисторов** отрицательный и находится в пределах (800...1600) · 10<sup>-6</sup> 1/град.

**Коэффициент напряжения** углеродистых резисторов не превышает 1,5-2%. С повышением напряжения сопротивления резистора уменьшается, т.е. коэффициент напряжения – отрицательный.

**По уровню шумов** резисторы делятся на две группы: группы А и Б.

**Металлопленочные резисторы** (тип С2)– резисторы, у которых резистивный слой выполнен в виде пленки из различных металлов или сплавов высокого удельного электросопротивления.

Для этого используются следующие материалы: вольфрам, хром, титан, тантал и сплавы различных металлов с хромом и кремнием. Нанесение пленки на изоляционное основание производится методом вакуумного напыления или катодного распыления.

По отношению к углеродистым металлопленочные имеют следующие преимущества: более стабильны, более теплостойки, более влагостойки, имеют меньшие габариты.

Недостаток – пониженная устойчивость к импульсным нагрузкам, вызванная неоднородностью токопроводящей пленки (средняя мощность при импульсной нагрузке не должна быть выше 10% номинальной).

**Металлооксидные резисторы** (тип С2) – резисторы, у которых резистивный образуется пленками жаропрочных окислов металлов получаемых в результате пиролиза хлористых соединений.

Наиболее часто используют соединения олова, в результате чего получают низкоомные резисторы общего применения.

Преимущества: малые размеры, повышенная стабильность, высокие теплостойкость и электрическая прочность, малый уровень токовых шумов.

Недостатком является пониженная стойкость к электролитическим процессам, которые возникают при наличии постоянных напряжений.

**Композиционные пленочные резисторы** (тип С3)– резисторы, проводящим элементом которых является композиция проводящего материала (например, углерода) с органическими или неорганическими связующими в виде термореактивных смол кремнийорганических соединений, стекол и т.п.

Достоинства: технологическая простота изготовления и малая стоимость.

Недостатки: *повышенная зависимость величины от приложенного напряжения и частоты, значительный уровень шумов, заметное старение при длительной нагрузке.*

Композитные резисторы с проводящими компонентами из благородных металлов обладают улучшенными параметрами. Их параметры близки к параметрам металлопленочных резисторов.

В настоящее время в качестве проводящих компонентов используют золото, платину, палладий. Данные композиции позволяют получать проводящие элементы в виде толстых пленок, стержней и таблеток.

**Композиционные резисторы с объемным проводящим элементом** (тип С4) – резисторы, проводящим элементом которых является композиция проводящего материала связующим и наполнителем.

Составляющие композиции: окислы металлов, углерод карбид кремния и др. (проводящий элемент); порошки из специальных стекол (связующего компонент); электрокоррунд в виде порошка  $Al_2O_3$  (наполнитель).

Компоненты смешиваются в необходимых соотношениях, подвергаются тщательному помолу в шаровых мельницах и далее горячим прессованием при температуре  $1100...1200^{\circ}C$  формируются объемный проводящий элемент.

Номинальные величины – от 3 до 1 Мом.

Мощности – от 0,125 – до 60 Вт.

ТКС – не более  $1800 \cdot 10^{-6}$  1/град.

Уровень собственных шумов не превышает 5мкВ/В.

Достоинства: высокие перегрузочная способность, надежность, термостойкость и влагостойкость.

**Проволочные резисторы** (тип С5) - резисторы, проводящим элементом которых является провод из сплавов с высоким удельным электрическим сопротивлением.

Материал проводящего элемента	Состав	Уд. эл. сопр. $\rho$ , Ом/мм	Темп. коэф. сопр. ТКС, 1/град
Манганин	Cu 86%, Mg 12%, Ni 2%	480	$\pm(30-40) \cdot 10^{-6}$
Константан	Cu 60%, Ni 40%	490	$-5 \cdot 10^{-6}$
Нихром	Хромоникелевые сплавы	1-1,2	$\pm(100-120) \cdot 10^{-6}$

Конструктивно проволочные резисторы (ПЭ, ПЭВ, ПЭВР) представляют собой изоляционные основания, на которые намотан провод высокого удельного сопротивления.

В качестве изоляционного основания используется керамическая трубка из талько-шамотной массы или из ультрафарфора.

Выводы обмотки делаются из отожженного многожильного провода или из полос красной меди и латунного контакта, соединяемых с проводом обмотки электродуговой сваркой.

Достоинствами проволочных резисторов являются повышенная стабильность, повышенная термостойкость, повышенная влагостойкость, малый уровень шумов, высокая перегрузочная способность.

Недостаток – использование ограничивается частотой 1...2 МГц.

Для снижения собственной емкости рекомендуется:

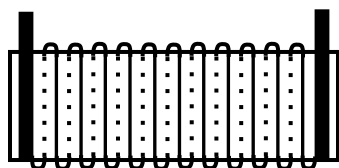
- применять намотку с шагом или подразделять ее на секции;
- уменьшать диаметр намотки;
- применять каркасы с невысокой диэлектрической проницаемостью.

Для снижения индуктивности рекомендуется:

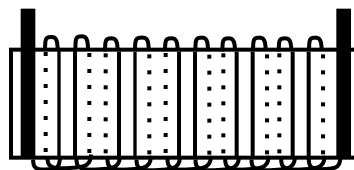
- уменьшать сечение пластины с намоткой провода на тонкую пластину;
- применять специальные способы намотки.

При намотке провода на тонкую пластинку происходит сближение участков витка, в которых токи текут в противоположных направлениях и создаваемые магнитные поля взаимно уничтожаются. Чем ближе друг к другу противоположные стороны витка, т.е. чем тоньше пластина, тем меньше будет индуктивность. Поэтому намотку высокочастотных резисторов выполняют на тонкой слюдяной пластине, на концах которой располагают контакты для включения резистора и его крепления.

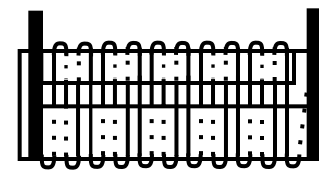
Для уменьшения индуктивности применяют специальные виды намоток – петлевую (б), восьмерочную (в), параллельную (г), бифилярную (д), последовательно-бифилярную (е), секционированная (ж).



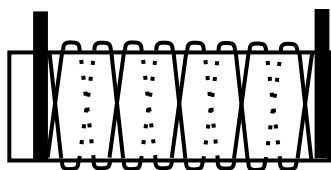
а)



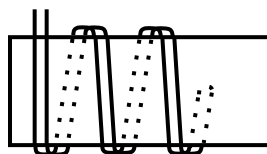
б)



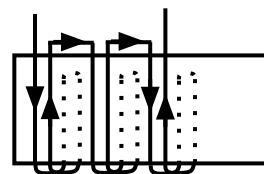
в)



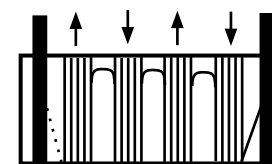
г)



д)

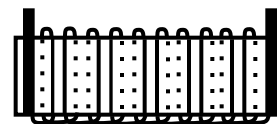


е)



ж)

Петлевая и восьмерочная намотки применяются для **резисторов сопротивлений средней величины** (от нескольких сотен Ом до нескольких кОм), остальные - для низкоомных резисторов.



петлевая



восьмерочная

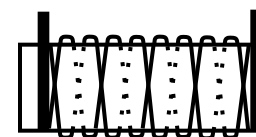
Параллельная, бифилярную и последовательно-бифилярную намотки применяют для **низкоомных резисторов**.

**Параллельная намотка** состоит из двух одинаковых частей, намотанных на общий каркас в противоположных направлениях так, что витки одной части располагаются между витками другой. Токи, которые протекают по смежным участкам витков обеих частей, имеют противоположное направление, поэтому их магнитные поля компенсируют друг друга.

Достигается уменьшение индуктивности в десять и более раз.

Намотка обладает высокой электрической прочностью и малой собственной емкостью, так как напряжение между смежными витками очень мало.

Недостаток - сложность изготовления.

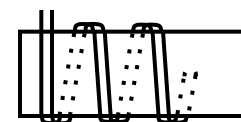


параллельная

**Бифилярная намотка** выполняется на плоском или круглом каркасе проводом, плотно сложенным вдвое.

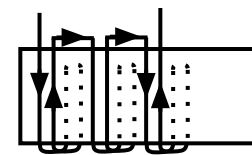
Достоинством является очень малая индуктивность

Недостатки – большая собственная емкость и пониженная электрическая прочность. Эти недостатки обусловлены тесным расположением проводников, между которыми действует большое напряжение.



бифилярная

Несколько меньшей емкостью благодаря секционированию обладает последовательно-бифилярная намотка.



последовательно-  
бифилярная

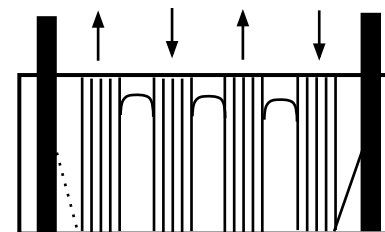
**Секционированная намотка** применяется для **высокоомных резисторов**. Намотка осуществляется на плоский или круглый каркас с четным числом одинаковых секций.

На каждую секцию наматывают одинаковое число витков, но секции мотают, чередуя в противоположных направлениях. При такой намотке (иногда называемой намоткой Шаперона) магнитные поля смежных секций, равные по величине, но противоположные по направлению, будут компенсировать друг друга и уменьшать общую индуктивность.

Чем уже секции и чем ближе друг к другу они расположены, тем меньше будет остаточная индуктивность. Кроме уменьшения индуктивности, секционирование намотки повышает электрическую прочность и уменьшает собственную емкость.

Такая намотка пригодна для частот не выше 1,0-1,5 МГц.

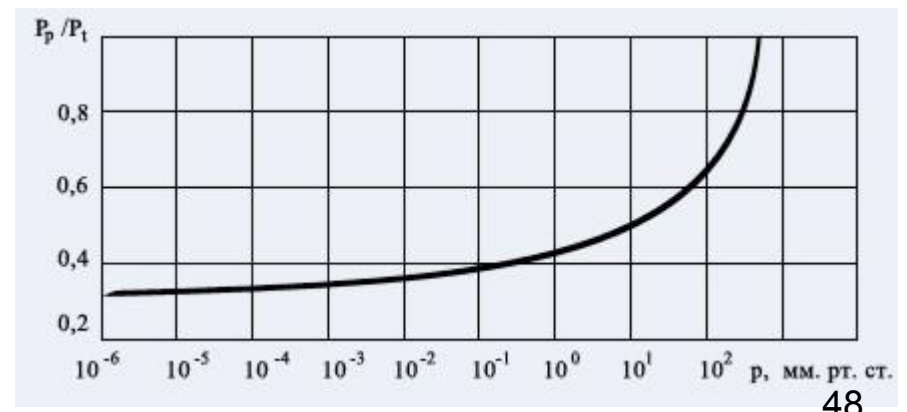
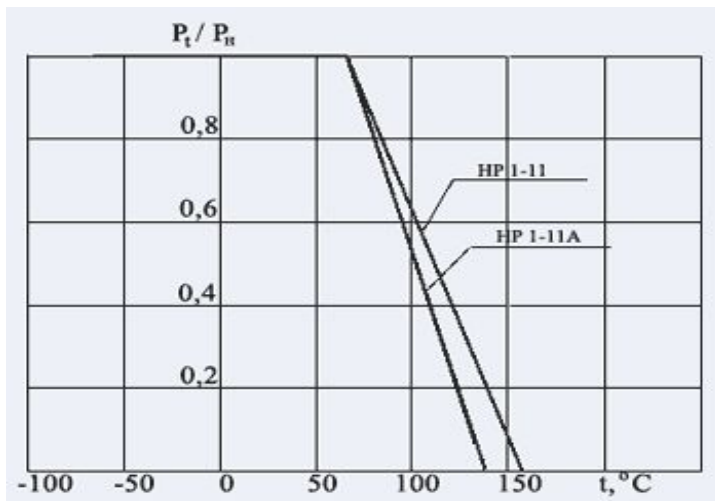
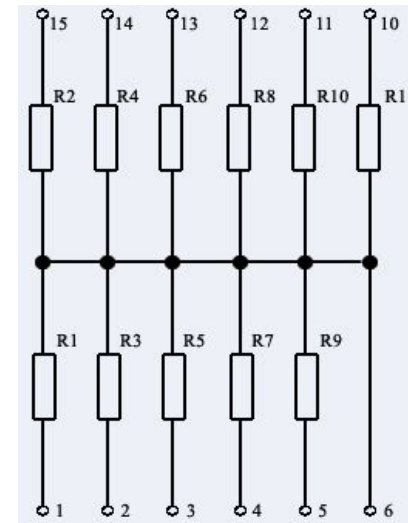
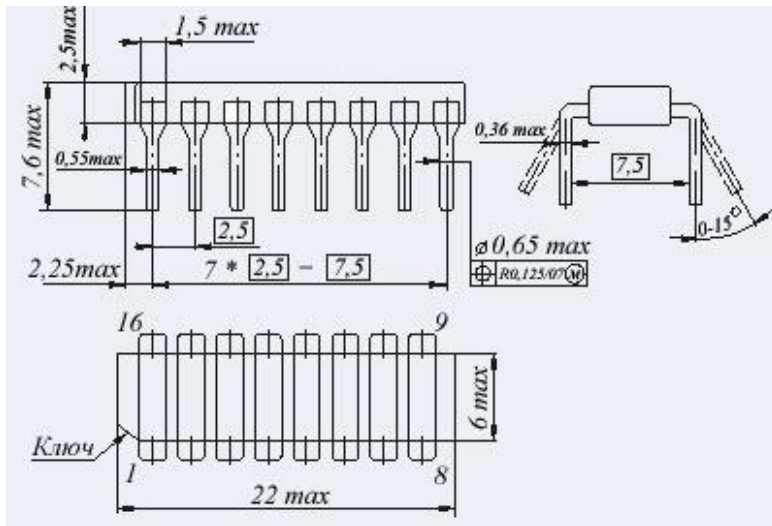
Для частот выше 10 МГц резистор до 200 Ом можно выполнить в виде тонкой проволоочки, расположенной над металлической пластиной из хорошего проводника. Эта пластина уменьшает индуктивность проволоочки за счет размагничивающего действия массы металла. Поэтому необходимо очень близкое расположение проволоочки около металла.



секционированная

# НАБОРЫ РЕЗИСТОРОВ

Толстопленочные наборы резисторов НР1-11 предназначены для работы в электрических цепях постоянного и переменного токов в вычислительной технике и другой электронной аппаратуре народнохозяйственного назначения.





## Прецизионные металлофольговые резисторные сборки серии MSE

Защищенный корпус

Диапазон сопротивлений: 30 Ом - 120 кОм,

общее сопротивление до 600 кОм

Допустимое отклонение сопротивления: от 0,05%

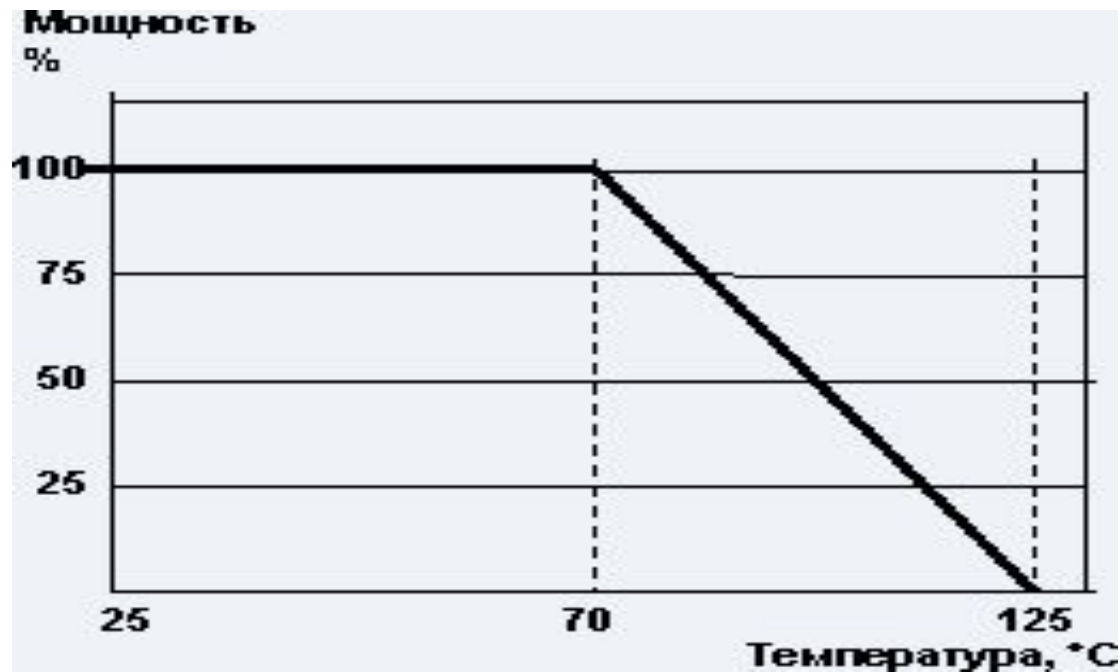
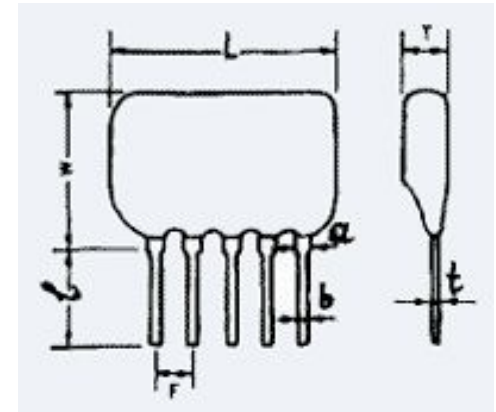
Допустимое отклонение сопротивлений в наборе: от 0,01%

ТКС:  $\pm 5$  ppm/K , отслеживание от  $\pm 1$

Диапазон температур:  $- 25^{\circ}\text{C} - +125^{\circ}\text{C}$

Малоиндуктивные

Малозащумящие



# **ВИДЕО**

**«9 – Резисторные сборки»**

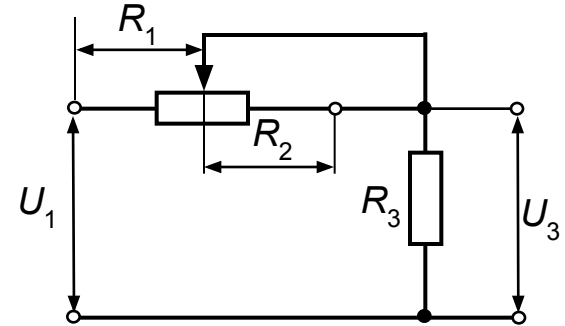
## Резисторы переменного сопротивления

Подгонка или периодическая регулировка некоторых параметров электрической цепи осуществляется с помощью резисторов переменного сопротивления.

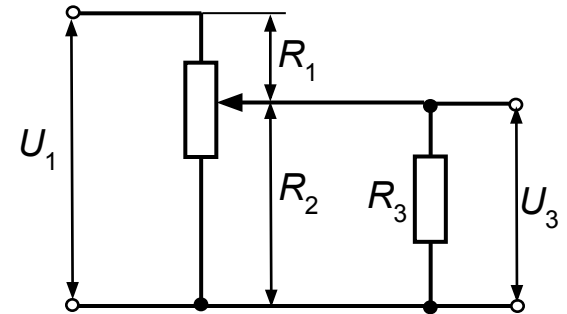
При использовании резистора переменного сопротивления необходимо иметь в виду, что мощность, рассеиваемая на проводящем элементе, существенно меняется в зависимости от способа его включения в электрическую цепь.

Резисторы переменного сопротивления характеризуются следующими параметрами:

- полным (номинальным) сопротивлением;
- минимальным сопротивлением,
- диапазоном регулирования;
- формой функциональной характеристики и ее погрешностью;
- номинальной мощностью,
- уровнем шумов вращения,
- моментом вращения,
- параметрами, характеризующими поведение резистора при климатических воздействиях,
- износостойчивость;
- размерами, массой, стоимостью.



Реостатная схема



Потенциометрическая схема

**Полным (номинальным) сопротивлением** резистора называют сопротивление между крайними выводами. Допускаемые отклонения от номинального значения устанавливаются до  $\pm 30\%$ .

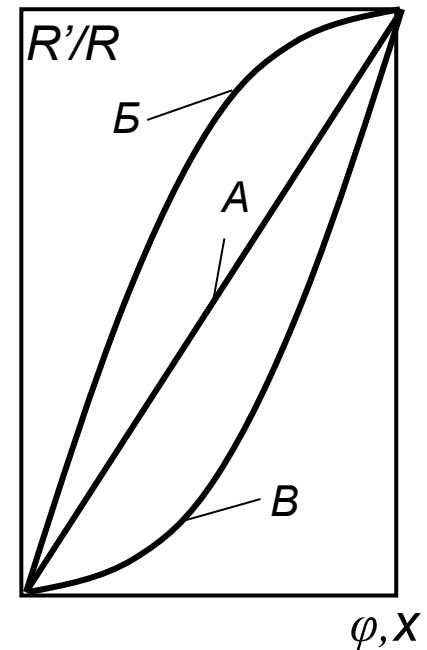
**Минимальным (начальным) сопротивлением** называют его величину в начальном положении контактной метки, которое всегда в силу особенностей конструкции больше нуля, ограничивая диапазон регулировки. В непроволочных резисторах эта величина составляет обычно 50-200 Ом, в проволочных - она может быть очень мала.

**Диапазон регулирования** определяется как отношение полного сопротивления резистора к минимальному

$$S = 20 \lg \frac{R_{\text{макс}}}{R_{\text{мин}}}, \text{ дБ}$$

По форме **функциональной зависимости**, т.е. зависимости величины сопротивления между подвижным контактом и начальным (одним из неподвижных) от угла поворота или перемещения, резисторы переменного сопротивления делятся на:

- линейные (А);
- логарифмические (Б);
- обратно-логарифмические (В).



**Номинальная мощность** определяется размерами резистора и условиями охлаждения. При одинаковом устройстве и размерах резисторы с нелинейной характеристикой имеют примерно в 2 раза меньшую мощность по сравнению с линейными из-за перегрузки отдельных участков неоднородного резистивного слоя. Некоторое применение находят также сдвоенные резисторы, имеющие общую или самостоятельные оси. В ряде случаев на защитном колпачке располагают выключатель.

**Шумы вращения** – шумы, возникающие в процессе перемещения подвижного контакта. Величина шумов вначале эксплуатации составляет около 1мВ/В и возрастает в конце эксплуатации, достигая 10..100 мВ/В.

**Момент вращения** определяет усилие, которое необходимо приложить к оси вращения, чтобы произвести перемещение подвижного контакта.

**Износоустойчивость** характеризуется стабильностью основных характеристик при многократных циклах перемещения подвижного контакта.

В качестве резистивного элемента в резисторах переменного сопротивления используется гетинаксовая скоба с нанесенными на нее несколькими слоями лакосажевой композиции для получения заданного закона изменения сопротивления (СП), или объемный элемент, полученный на основе композиции сажи и микропорошка электрокоррунда (СПО). Резисторы типа СПО по сравнению с пленочными типа СП имеют значительно меньшую плотность в проводящем элементе, лучшие условия рассеяния мощности, повышенную влагостойкость.

**ВИДЕО** «10 – Резисторы подстроечные и регулировочные»  
«11 – Резисторы переменные»

# ВАРИСТОР

**Вари́стор** (англ. *vari(able) (resi)stor* - переменный резистор) - полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление (проводимость) которого нелинейно зависит от приложенного напряжения, то есть обладающий нелинейной симметричной вольт-амперной характеристикой и имеющий два вывода. Благодаря отсутствию сопровождающих токов при скачкообразном изменении приложенного напряжения, варисторы являются основным элементом для производства устройств защиты от импульсных перенапряжений.

Изготавливают варисторы спеканием при температуре около 1700°C полупроводника преимущественно порошкообразного карбида кремния SiC или оксида цинка ZnO, и связующего вещества (глина, жидкое стекло, лаки, смолы и др.). Далее поверхность полученного элемента металлизуют и припаивают к ней выводы.

Конструктивно варисторы выполняются обычно в виде дисков, таблеток, стержней; существуют бусиновые и плёночные варисторы. Широкое распространение получили стержневые подстроечные варисторы с подвижным контактом.

# СВОЙСТВА

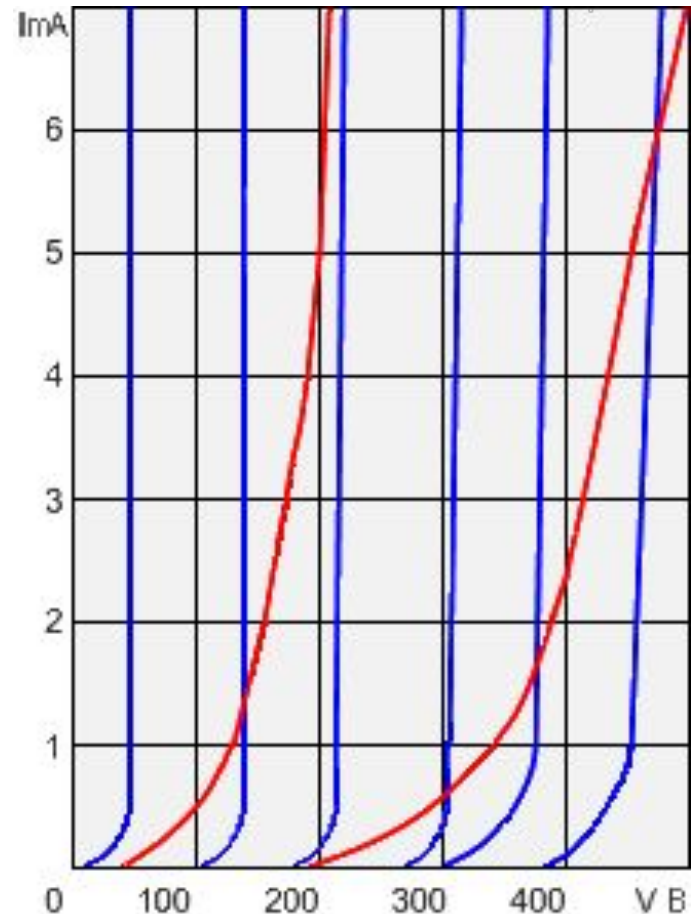
Нелинейность характеристик варисторов обусловлена локальным нагревом соприкасающихся граней многочисленных кристаллов карбида кремния (или иного полупроводника). При локальном повышении температуры на границах кристаллов сопротивление последних существенно снижается, что приводит к уменьшению общего сопротивления варисторов.

Один из основных параметров варистора - коэффициент нелинейности  $\lambda$  — определяется отношением его статического сопротивления  $R$  к динамическому сопротивлению  $R_d$ :

$$\lambda = \frac{R}{R_d} = \frac{U}{I} : \frac{dU}{dI}$$

и  $U$  и  $I$  — напряжение и ток варистора. Коэффициент нелинейности лежит в пределах 2-10 у варисторов на основе SiC и 20-100 у варисторов на основе ZnO.

Температурный коэффициент сопротивления варистора - отрицательная величина.



## ПРИМЕНЕНИЕ

Низковольтные варисторы изготавливают на рабочее напряжение от 3 до 200 В и ток от 0,1 мА до 1 А; высоковольтные варисторы - на рабочее напряжение до 20 кВ.

Варисторы применяются для стабилизации и регулирования низкочастотных токов и напряжений, в аналоговых вычислителях - для возведения в степень, извлечения корней и других математических действий, в цепях защиты от перенапряжений (например, высоковольтные линии электропередачи, линии связи, электрические приборы) и др.

Высоковольтные варисторы применяются для изготовления ограничителей перенапряжения. Как электронные компоненты, варисторы дешёвы и надёжны, способны выдерживать значительные электрические перегрузки, могут работать на высокой частоте (до 500 кГц).

Среди недостатков - значительный низкочастотный шум и старение - изменение параметров со временем и при колебаниях температуры.

