

# **ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТ Ы**

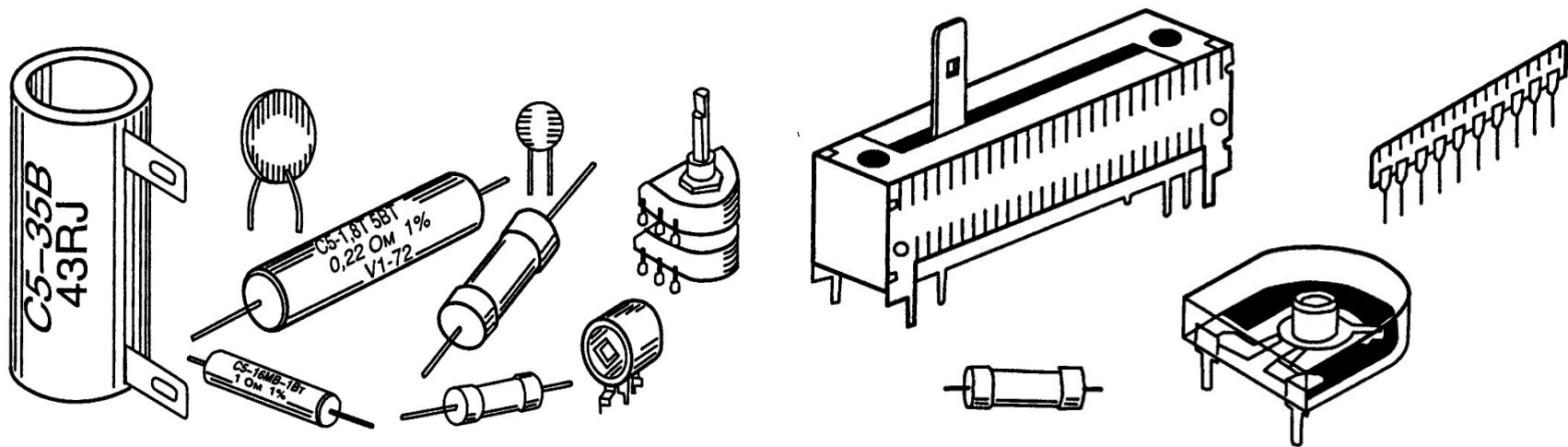
## Введение

Основным направлением развития радиоэлектронной промышленности является создание высокотехнологичной радиоэлектронной аппаратуры на основе четкой организации производства, использования прогрессивной технологии, обеспечения взаимозаменяемости деталей, узлов, блоков и назначения оптимальных допусков и посадок.

Развитие радиоэлектроники и электроники способствует автоматизации многих производственных процессов, обеспечивает управление промышленными роботами на расстоянии, проведение тончайших измерений, а также сложных математических расчетов с огромной скоростью.

# Классификация, основные параметры, обозначения и маркировка резисторов

Резистор - является одним из самых распространенных радиоэлементов. Резисторы составляют до 35 % общего количества элементов в схемах современной радиоэлектронной аппаратуры. Они используются в качестве нагрузочных и токоограничительных элементов, добавочных сопротивлений и шунтов, делителей напряжения. Резисторы обеспечивают режимы работы усилительных и генераторных приборов и позволяют погасить излишек питающего напряжения.



Типы  
резисторов

## Классификация резисторов

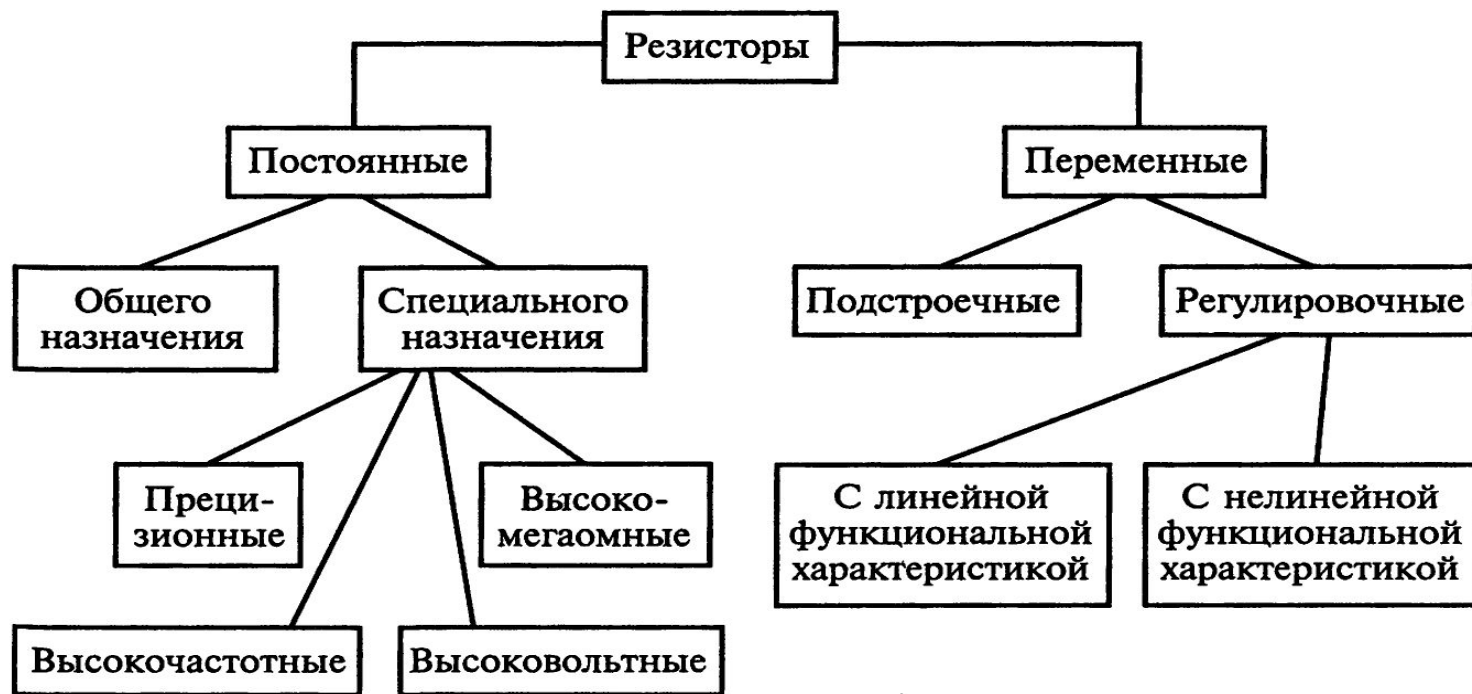
В зависимости от назначения различают постоянные и переменные резисторы.

Наибольшее распространение имеют *постоянные резисторы общего назначения*, которые используются практически во всех видах радиоаппаратуры и блоках питания. Номинальные значения таких резисторов находятся в пределах от 1 Ом до 10 МОм, а номинальные мощности составляют 0,125... 100 Вт. Класс точности резисторов общего назначения составляет 2, 5, 10 или 20% номинала.

Кроме того, применяются *постоянные резисторы специального назначения*. К ним относятся, например, прецизионные (особо точные) резисторы, которые используются в основном в измерительных приборах в качестве шунтов. Допуск этих резисторов составляет от  $\pm 0,001$  до 1 %. Они отличаются высокой стабильностью.

Высокочастотные резисторы также являются резисторами специального назначения. Они отличаются низкой собственной индуктивностью и предназначены для работы в высокочастотных узлах. Кроме того, имеются и другие виды постоянных резисторов.

*Переменные резисторы* подразделяются на подстроечные и регулировочные. Подстроечные резисторы впаиваются в схему, и при наладке их сопротивление подстраивается с помощью регулятора. На лицевую панель радиоаппаратуры регуляторы подстроечных резисторов не выводятся. Износоустойчивость подстроечных резисторов составляет до 1000 циклов.



Классификация резисторов по назначению

Регуляторы регулировочных резисторов выводятся на лицевую панель. Они служат для регулировки параметров в процессе эксплуатации. Такие резисторы обеспечивают до 5000 циклов перестройки.

По виду зависимости номинального сопротивления регулировочного резистора от смещения его подвижной системы различают резисторы с пропорциональным и непропорциональным (нелинейным) законами регулирования сопротивления.



Классификация резисторов по материалу резистивного элемента

## Основные параметры резисторов

1. *Номинальная мощность рассеяния*  $P_{\text{ном}}$  — мощность, которую резистор может рассеивать при непрерывной нагрузке, номинальных давлении и температуре. В радиоэлектронной аппаратуре чаще всего используются непроволочные резисторы с номинальными мощностями 0,125; 0,25; 0,5; 1 и 2 Вт. Мощность резистора определяется по формуле  $P = V^2/K$ , где  $V$  — напряжение на резисторе, В;  $K$  — сопротивление резистора, Ом.

С учетом возможного повышения температуры резисторы выбирают с номинальной мощностью на 20...30% больше расчетной. Численное значение мощности обычно входит в обозначение резистора, например МЛТ-1, где  $P_{\text{ном}} = 1$  Вт. Обычно на корпусах непроволочных резисторов приводится мощность при  $P_{\text{ном}} > 2$  Вт.

*Максимальное напряжение*  $U_{\text{Max}}$  — наибольшее напряжение (постоянное или действующее переменное), которое может быть приложено к токоотводам резистора с сопротивлением  $R_{\text{ном}} > U^2/P_{\text{max}}$ .

*Температурный коэффициент сопротивления* (ТКС) характеризует относительное изменение сопротивления при изменении температуры на 1 °С. Если сопротивление резистора при повышении температуры возрастает, а при понижении уменьшается, то ТКС положительный, если же с повышением (уменьшением) температуры сопротивление снижается (увеличивается) — ТКС отрицательный. Температурный коэффициент сопротивления непроволочных резисторов составляет 0,03...0,1 1/°С, а резисторов повышенной точности — на порядок меньше.

*Уровень шумов резистора*, который оценивается по величине их переменной ЭДС, возникающей на его зажимах и отнесенной к 1 В приложенного к резистору напряжения постоянного тока.

*Номинальное сопротивление* — это электрическое сопротивление, обозначенное на корпусе резистора и являющееся исходным для определения его допустимых отклонений. Резисторы выпускаются с таким значением номинального сопротивления, чтобы вместе с допуском оно было приблизительно равно значению сопротивления следующего номинала минус его допуск. Установлены следующие диапазоны номинальных сопротивлений: для постоянных резисторов — от долей ома до единиц тераом; для переменных проволочных — от 0,47 Ом до 1 МОм; для переменных непроволочных — от 1 Ом до 10 МОм. Иногда допускается отклонение от указанных пределов.

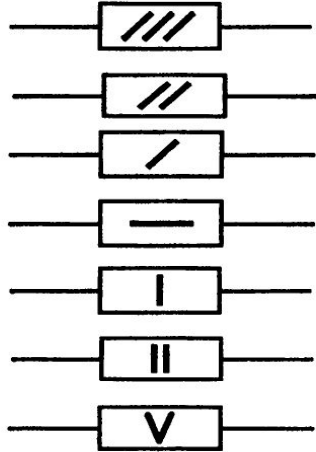
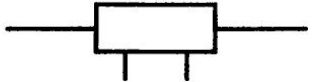
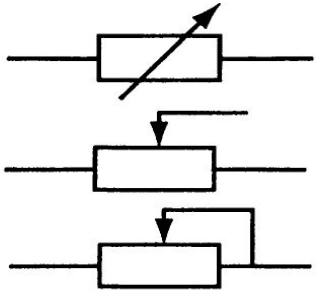

Разница между номинальным и действительным значениями (из-за погрешностей изготовления) сопротивления, отнесенная к номинальному значению, характеризует допускаемое отклонение (допуск) от номинального сопротивления (в %). Допуски также стандартизованы и согласно ГОСТ 9667—74 имеют следующие значения:  $\pm 0,001$ ,  $\pm 0,002$ ,  $\pm 0,005$ ,  $\pm 0,01$ ,  $\pm 0,02$ ,  $\pm 0,05$ ,  $\pm 0,1$ ,  $\pm 0,25$ ,  $\pm 0,5$ ,  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 10$ ,  $\pm 20$  и  $\pm 30$ . Допуски указывают максимальное и минимальное значения номинального сопротивления.

Фактические значения сопротивлений могут отличаться от номинальных на величину стандартных допусков. Допуски указываются в процентах (от  $\pm 0,001$  до  $\pm 30$ ).

Допустимые отклонения сопротивления (% от номинального значения) также обозначают буквами.



## Обозначение резисторов на электрических схемах

Тип	Обозначение
<p><b>Резистор постоянный с номинальной мощностью рассеяния:</b></p> <p style="text-align: center;">0,05 Вт</p> <p style="text-align: center;">0,125 Вт</p> <p style="text-align: center;">0,25 Вт</p> <p style="text-align: center;">0,5 Вт</p> <p style="text-align: center;">1 Вт</p> <p style="text-align: center;">2 Вт</p> <p style="text-align: center;">5 Вт</p>	
<p><b>Резистор постоянный с отводами</b></p>	
<p><b>Резистор регулируемый:</b></p> <p>общее назначение</p> <p>с разрывом цепи</p> <p>без разрыва цепи</p>	
<p><b>Резистор подстроечный</b></p>	

## Виды соединения резисторов

В радиосхемах применяются последовательное, параллельное и комбинированное соединения резисторов.

Эквивалентное сопротивление последовательно соединенных резисторов равно сумме величин сопротивлений этих резисторов:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

При **последовательном соединении** сила тока, протекающего через все соединенные резисторы, одинакова. Следовательно, суммарная мощность распределяется между резисторами пропорционально их номинальным сопротивлениям.

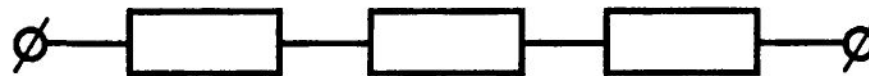


Схема последовательного соединения резисторов

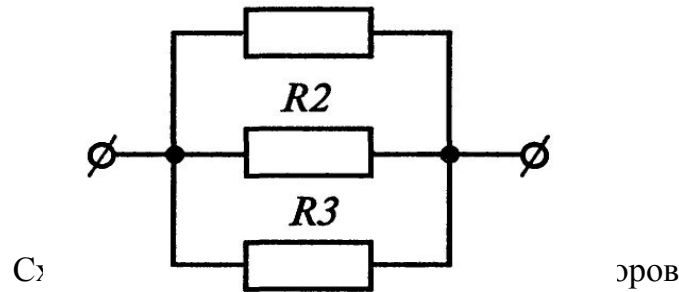
**При параллельном соединении** на все резисторы действует одинаковое напряжение. Общая сила тока, протекающего по цепи, равна сумме сил токов, проходящих через соединенные резисторы. Поэтому эквивалентное сопротивление будет меньше минимального номинального сопротивления и сопротивления соединенных резисторов.

Эквивалентное сопротивление двух параллельно соединенных резисторов определяется по формуле

$$R_э = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Эквивалентное сопротивление трех и более резисторов вычисляется по формуле

$$1/R_э = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n.$$



**Комбинированное соединение** включает в себя последовательную и параллельную схемы подсоединения резисторов.

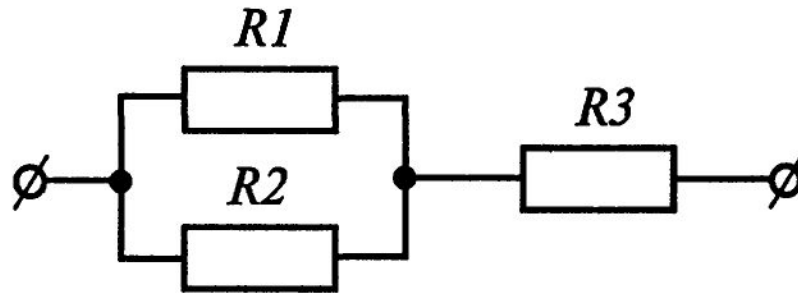


Схема комбинированного соединения резисторов

Эквивалентное сопротивление вычисляется по формуле

$$R_3 = (R_1 R_2) / (R_1 + R_2) + R_3.$$

## **Система условных обозначений и маркировка резисторов**

В соответствии с ОСТ 11.074.009—78 сокращенное условное обозначение резисторов состоит из нескольких элементов.

**Первый элемент** — буква или сочетание букв — обозначает подкласс резисторов:

Р — резисторы постоянные;

РП — резисторы переменные;

НР — наборы резисторов.

**Второй элемент** — цифра — обозначает группу резисторов по материалу резистивного элемента:

— непроволочные;

— проволочные и металлофольговые.

**Третий элемент** представляет собой регистрационный номер конкретного типа резистора. Между вторым и третьим элементами ставится дефис.

Так, например, Р1-22 обозначает резистор постоянный, непроволочный;

НР1-7 обозначает набор резисторов непроволочных.

До введения указанного выше стандарта использовалась система обозначений, состоящая из букв и цифр, которая была введена в 1968 г.

**Буквы** обозначают группу изделий:

С — резисторы постоянные;

СП — резисторы переменные.

**Цифра** после буквенного обозначения указывает на материал токопроводящего элемента:

— непроволочные тонкослойные углеродистые и бороуглеродистые;

— непроволочные тонкослойные металлодиэлектрические и металлоокисные;

— непроволочные композиционные пленочные;

— непроволочные композиционные объемные;

— проволочные;

— непроволочные тонкослойные металлизированные.

После первой цифры через дефис присоединяется вторая цифра (число), обозначающая номер разработки.

Кроме того, в эксплуатации находятся резисторы с маркировкой, принятой до 1966 г.:

МТ — металлизированные теплостойкие;

МЛТ — металлизированные лакированные теплостойкие;

МОН — металлоокисные низкоомные;

КИМ — композиционные изолированные малогабаритные;

УЛИ — углеродистые лакированные измерительные;

БЛП — бороуглеродистые лакированные прецизионные;

МЛП — металлизированные лакированные прецизионные;

ВС — влагостойкие углеродистые;

ПЭВ — проволочные эмалированные влагостойкие.

В условное обозначение могут также входить необходимые параметры.

На постоянные резисторы в соответствии с ГОСТ 17598—72 и требованиями Публикации 62 МЭК может наноситься цветная маркировка в виде колец или полос. Цвет каждого кольца соответствует цифрам, составляющим величину номинального сопротивления или величину допуска. Пример цветной маркировки резистора с сопротивлением 47 МОм и допуском +5% приведен на рис. 2.7.

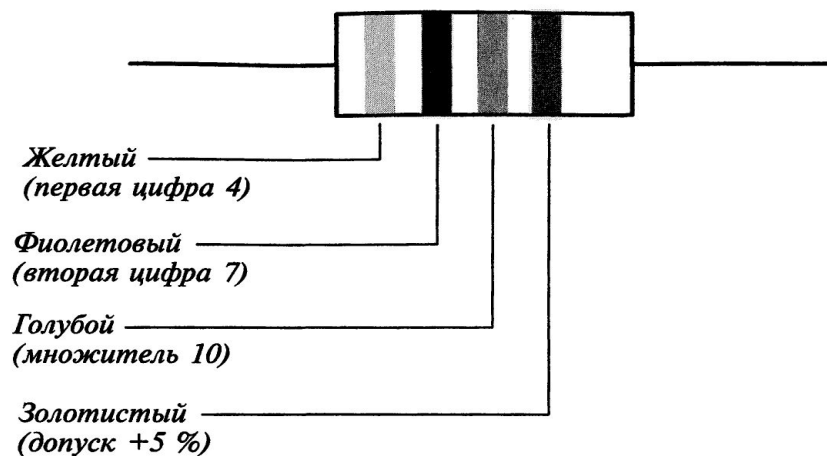
Маркировочные знаки должны быть смещены к одному из торцов резисторов и расположены слева направо в следующем порядке:

1-й — первая цифра: 4

2-й - вторая цифра; ) номинальное сопротивление

3-й — множитель;

4-й — допуск.



*Расположение маркировочных знаков на многоцветных резисторах*

Резисторы с номинальным сопротивлением, выраженным тремя цифрами и множителем, имеют цветную маркировку из пяти знаков. Если размеры резистора не позволяют разместить маркировку ближе к одному из торцов, площадь первого знака делается в 2 раза больше площади других знаков.

**Цвета знаков, используемые для маркировки номинального  
сопротивления и допустимых отклонений**

Цвет	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск, %
	первая цифра	вторая цифра	третья цифра	множи- тель	
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	$10^5$	$\pm 0,5$
Голубой	6	6	6	$10^6$	$\pm 0,25$ (0,2)
Фиолетовый	7	7	7	$10^7$	$\pm 0,1$
Серый	8	8	8	$10^8$	$\pm 0,05$
Белый	9	9	9	$10^9$	—



Промышленностью выпускаются различные типы переменных резисторов. Наибольшее распространение получили непроволочные композиционные переменные резисторы СП, состоящие из изолирующего основания, токопроводящего элемента, скользящего контакта и подвижной системы с осью (рис. 2.8).

Переменные резисторы имеют различные зависимости изменения сопротивления от угла поворота подвижного контакта (рис. 2.9): *A* — линейная; *B* — логарифмическая; *B* — экспоненциальная; *E* и *И* — симметрично-обратная.

Допустимые отклонения сопротивлений на переменных резисторах не указывают. Допустимое отклонение сопротивления от номинального значения для резисторов до 220 кОм составляет +20 %, а для резисторов более 220 кОм +30.

