**Классификация резисторов.**

Резистором называется пассивный элемент РЭА, предна­значенный для создания в электрической цепи требуемой величины сопротивления, обеспечивающей перераспределение и регулирование электрической энергии между элементами схемы.

Выпускаемые отечественной промышленностью резисторы классифицируются по различным признакам. В зависимости от характер, а изменения сопротивления резисторы разделяют на постоянные — значение сопротивления фиксировано; пере­менные — с изменяющимся значением сопротивления.

В зависимости от назначения резисторы делятся на об­щего назначения и специальные (прецизионные, сверхпре­цизионные, высокочастотные, высоковольтные, высокоме-гаомные).

***Резисторы общего назначения*** используются в качестве нагрузок активных элементов, поглотителей, делителей в це­пях питания, элементов фильтров, шунтов, в *RC* — цепях формирования импульсных сигналов и т.д. Диапазон номинальных сопротивлений этих резисторов 1 Ом...10 МОм, номи­нальные мощности рассеяния — 0,125... 100 Вт. Допускаемые отклонения сопротивления от номинального значения ±1; ±2; ±5; ±10; ±20 %. Примерами резисторов общего назначения служат С2-33, Р1-12 и др..

***Прецизионные и сверхпрецизионные резисторы*** отличают­ся высокой стабильностью параметров и высокой точностью изготовления (допуск ±0,0005...0,5 %). Данные резисторы применяются в основном в измерительных приборах, систе­мах автоматики. Диапазон этих резисторов значительно шире, чем резисторов общего назначения. Примерами служат резисторы Р1-72, Р2-67, С2-10, С2-29, С2-36, Р1-16, Р1-8 и др.

***Высокочастотные резисторы*** отличаются малыми собствен­ными индуктивностью и емкостью и предназначены для рабо­ты в высокочастотных цепях, кабелях и волноводах. Примерами служат резисторы Р1-69,

***Высоковольтные резисторы*** рассчитаны на работу при больших (от единиц до десятков киловольт) напряжениях. Примерами высоковольтных резисторов служат Р1-32, Р1-35, С2-33НВ и др.

***Высокомегаомные резисторы*** имеют диапазон номиналь­ных сопротивлений от десятков мегаом до единиц тераом. Высокомегаомные резисторы применяются в цепях с рабо­чим напряжением до 400 В и обычно работают в режиме малых токов. Мощности рассеяния их невелики (до 0,5 Вт). Примером служит резистор Р1-33.

В зависимости от способа защиты от внешних факторов резисторы делятся на неизолированные, изолированные, гер­метизированные и вакуумные.

***Неизолированные резисторы*** с покрытием или без него не допускают касания своим корпусом шасси аппаратуры. Пример: Р1-69.

***Изолированные резисторы*** имеют изоляционное покрытие (лак, компаунд, пластмасса) и допускают касание корпусом шасси и токоведущих частей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Примеры: С5-35В, С5-36В, С5-37В, С5-43В, С5-47В и др.

***Герметизированные резисторы*** имеют герметичную кон­струкцию корпуса, которая исключает влияние окружающей среды на его внутреннее пространство. Герметизация осу­ществляется, с помощью опрессовки специальным компаун­дом.

***Вакуумные резисторы*** имеют резистивный элемент, поме­щенный в стеклянную вакуумную колбу.

По способу монтажа резисторы подразделяются на резисторы для навесного и печатного монтажа, для микромо­дулей и интегральных микросхем.

По материалу резистивного элемента резисторы делятся на проволочные, непроволочные, металлофольговые.

***Проволочные*** — резисторы, в которых резистивным эле­ментом является высокоомная проволока (изготавливается из высокоомных сплавов: константан, нихром, никелин).

***Непроволочные*** — резисторы, в которых резистивным эле­ментом являются пленки или объемные композиции с вы­соким удельным сопротивлением.

***Металлофольговые*** — резисторы, в которых резистивным элементом является фольга определенной конфигурации.

Непроволочные резисторы можно разделить на тонкопле­ночные (толщина слоя в нанометрах), толстопленочные (тол­щина в долях миллиметра), объемные (толщина в единицах миллиметра). Примеры: С2-23, С2-33, С2-14, Р1-32, Р1-35, Р1-12 и др.

**Тонкопленочные резисторы** подразделяются на металло-диэлектрические, металлоокисные и металлизированные с резистивным элементом в виде микрокомпозиционного слоя из диэлектрика и металла, или тонкой пленки окиси металла, или сплава металла; углеродистые и бороуглеродистые, про­водящий элемент которых представляет собой пленку пиролитического углерода или борорганических соединений. К толстопленочным относят лакосажевые, керметные и резисторы на основе проводящих пластмасс. Проводящие резистивные слои толстопленочных и объемных резисторов представляют собой гетерогенную систему (композицию) из нескольких фаз, получаемую механическим смешением проводящего компонента, например графита или сажи, металла или окисла металла, с органическими или неорганическими наполнителями, пластификаторами или отвердителем. После термообработки образуется монолитный слой с необходимым комплексом параметров. Примеры: С2-33, Р1-72, С2-10, С2-36, Р1-8 и др.

В объемных резисторах в качестве связующего компонента используют органические смолы или стеклоэмали. Про­водящим компонентом является углерод.

В резистивных керметных слоях основным проводящим компонентом являются металлические порошки и их смеси, представляющие собой керамическую основу с равномерно распределенными частицами металла.

|  |  |
| --- | --- |
| Классификация резисторов по используемым материалам и технологии изготовления  |   |
|  |

## Обозначение резисторов на схемах

а) обозначение, принятое в России и в Европе
б) принятое в США

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

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

##

## Типы практически применяемых резисторов

Три резистора разных номиналов для поверхностного монтажа (SMD) припаянные на печатную плату

Резисторы классифицируются на постоянные резисторы (сопротивление которых не регулируется), переменные регулируемые резисторы (потенциометры, реостаты, подстроечные резисторы) и различные специальные резисторы, например: нелинейные (которые, строго говоря, не являются обычными резисторами из-за нелинейности ВАХ), терморезисторы (с большой зависимостью сопротивления от температуры), фоторезисторы (сопротивление зависит от освещённости), тензорезисторы (сопротивление зависит от деформации резистора), магниторезисторы и пр.

По используемому материалу резисторы классифицируются на:

* Проволочные резисторы. Представляют собой кусок проволоки с высоким удельным сопротивлением намотанный на какой-либо каркас. Могут иметь значительную паразитную индуктивность. Высокоомные малогабаритные проволочные резисторы иногда изготавливают из микропровода.
* Плёночные металлические резисторы. Представляют собой тонкую плёнку металла с высоким удельным сопротивлением, напылённую на керамический сердечник, на концы сердечника надеты металлические колпачки с проволочными выводами. Иногда, для повышения сопротивления, в плёнке прорезается канавка. Это наиболее распространённый тип резисторов.
* Металлофольговые резисторы. В качестве резистивного материала используется тонкая металлургическая лента.
* Угольные резисторы. Бывают плёночными и объёмными. Используют высокое удельное сопротивление графита.
* Полупроводниковые резисторы. Используется сопротивление слаболегированного полупроводника. Эти резисторы могут иметь большую нелинейность вольт-амперной характеристики. В основном используются в составе интегральных микросхем, где применить другие типы резисторов труднее.

## Резисторы, выпускаемые промышленностью

Резисторы

Выпускаемые промышленностью резисторы одного и того же номинала имеют разброс сопротивлений. Значение возможного разброса определяется точностью резистора. Выпускают резисторы с точностью 20 %, 10 %, 5 %, и т. д. вплоть до 0,01 %[1]. Номиналы резисторов не произвольны: их значения выбираются из специальных номинальных рядов, наиболее часто из номинальных рядов E12 или E24 (для резисторов с точностью до 5 %), для более точных резисторов используются более точные ряды (например E48).

Резисторы, выпускаемые промышленностью характеризуются также определённым значением максимальной рассеиваемой мощности (выпускаются резисторы мощностью 0,125Вт 0,25Вт 0,5Вт 1Вт 2Вт 4Вт?) (Согласно ГОСТ 24013-80 и ГОСТ 10318-80 советской радиотехнической промышленностью выпускались резисторы следующих номиналов мощностей, в Ваттах, Вт.: 0.01, 0.025, 0.05, 0.062, 0.125, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 500)

[А.А.Бокуняев, Н.М, Борисов, Р.Г. Варламов и др. Справочная книга радиолюбителя-конструктора.-М.Радио и связь 1990-624с.:

ISBN 5-256-00658-4]

### Маркировка резисторов с проволочными выводами

Резисторы, в особенности малой мощности — чрезвычайно мелкие детали, резистор мощностью 0,125Вт имеет длину несколько миллиметров и диаметр порядка миллиметра. Прочитать на такой детали номинал с десятичной запятой невозможно. Поэтому, при указании номинала вместо десятичной точки пишут букву, соответствующую единицам измерения (К — для килоомов, М — для мегаомов, E или R для единиц Ом). Например 4K7 обозначает резистор, сопротивлением 4,7 кОм, 1R0 — 1 Ом, 120К — 120 кОм и т. д. Однако и в таком виде читать номиналы трудно. Поэтому, для особо мелких резисторов применяют маркировку цветными полосками.

Для резисторов с точностью 20% используют маркировку с тремя полосками, для резисторов с точностью 10% и 5% маркировку с четырьмя полосками, для более точных резисторов с пятью или шестью полосками. Первые две полоски всегда означают первые два знака номинала. Если полосок 3 или 4, третья полоска означает десятичный множитель, то есть степень десятки, которая умножается на двузначное число, указанное первыми двумя полосками. Если полосок 4, последняя указывает точность резистора. Если полосок 5, третья означает третий знак сопротивления, четвёртая — десятичный множитель, пятая — точность. Шестая полоска, если она есть, указывает температурный коэффициент сопротивления (ТКС). Если эта полоска в 1,5 раза шире остальных, то она указывает надёжность резистора (% отказов на 1000 часов работы)[1]

Следует отметить, что иногда встречаются резисторы с 5-ю полосами, но стандартной (5 или 10%) точностью. В этом случае первые две полосы задают первые знаки номинала, третья - множитель, четвёртая - точность, а пятая - температурный коэффициент.

|  |
| --- |
| Цветная кодировка резисторов |
| **Цвет** | **как число** | **как десятичный множитель** | **как точность в %** | **как ТКС в ppm/°C** | **как % отказов** |
| серебристый | — | 1·10-2 = «0,01» | 10 | — | — |
| золотой | — | 1·10-1 = «0,1» | 5 | — | — |
| чёрный | 0 | 1·100 = 1 | — | — | — |
| коричневый | 1 | 1·101 = «10» | 1 | 100 | 1% |
| красный | 2 | 1·102 = «100» | 2 | 50 | 0,1% |
| оранжевый | 3 | 1·103 = «1000» | — | 15 | 0,01% |
| жёлтый | 4 | 1·104 = «10 000» | — | 25 | 0,001% |
| зелёный | 5 | 1·105 = «100 000» | 0,5 | — | — |
| синий | 6 | 1·106 = «1 000 000» | 0,25 | 10 | — |
| фиолетовый | 7 | 1·107 = «10 000 000» | 0,1 | 5 | — |
| серый | 8 | 1·108 = «100 000 000» | — | — | — |
| белый | 9 | 1·109 = «1 000 000 000» | — | 1 | — |
| отсутствует | — | — | 20 % | — | — |

**Пример**

Допустим на резисторе видим 4 полоски коричневую, чёрную, красную, золотую. Первые две полоски дают 1 0, третья 100, четвёртая даёт точность 5 %, итого резистор сопротивлением 10·100 Ом = 1 кОм, с точностью ±5 %.

Запомнить цветную кодировку резисторов нетрудно: после чёрной 0 и коричневой 1 идёт последовательность цветов радуги. Так как маркировка была придумана в англоязычных странах, голубой и синий цвета не различаются (вот она, иллюстрация гипотезы Сепира-Уорфа)!

Поскольку резистор симметричная деталь, может возникнуть вопрос: «Начиная с какой стороны читать полоски?» Для четырёхполосной маркировки обычных резисторов с точностью 5 и 10 % вопрос решается просто: золотая или серебряная полоска всегда стоит в конце. Для трёхполосочного кода первая полоска стоит ближе к краю резистора, чем последняя. Для других вариантов важно, чтобы получалось значение сопротивления из номинального ряда, если не получается, нужно читать наоборот.

Особый случай использования цветовой маркировки резисторов — перемычки нулевого сопротивления. Они обозначаются одной чёрной (0) полоской по центру. (Использование таких резисторо-подобных перемычек вместо дешёвых кусков проволоки объясняется желанием производителей сократить расходы на перенастройку сборочных автоматов).

###

### Маркировка SMD-резисторов

«Резисторы» нулевого сопротивления (перемычки на плате) кодируются одной цифрой «0». Бо́льшее количество знаков обозначает:

#### Кодирование 3 или 4 цифрами

* ABC обозначает AB•10C Ом

например 102 — это 10•102 Ом = 1 кОм

* ABCD обозначает ABC•10D Ом, точность 1 % (ряд E96)

например 1002 — это 100•102 Ом = 10 кОм

#### Кодирование буква-цифра-цифра

Ряды E24 и E12, точность 2 %, 5 % и 10 %. (Ряд E48 не используется).

Степень при 10 кодируется буквой (так же, как для 1 %-х сопротивлений, см список выше), мантисса m значения сопротивления и точность кодируется 2 цифрами (см таблицу).

Примеры:

* 2%, 1,00 Ом = S01
* 5%, 1,00 Ом = S25
* 5%, 510 Ом = A42
* 10%, 1,00 Ом = S49
* 10%, 820 кОм = D60

##

## Некоторые дополнительные свойства резисторов. Зависимость сопротивления от температуры

*Основная статья*: ***Терморезистор***

Сопротивление металлических и проволочных резисторов немного зависит от температуры. При этом зависимость от температуры практически линейная , так как коэффициенты 2 и 4 порядка достаточно малы и при обычных измерениях ими можно пренебречь. Коэффициент называют температурным коэффициентом сопротивления. Такая зависимость сопротивления от температуры позволяет использовать резисторы в качестве термометров. Сопротивление полупроводниковых резисторов может зависеть от температуры сильнее, возможно, даже экспоненциально по закону Аррениуса, однако в практическом диапазоне температур и эту экспоненциальную зависимость можно заменить линейной.


###

### Шум резисторов

Даже идеальный резистор при температуре выше абсолютного нуля является источником шума. Это следует из фундаментальной флуктуационно-диссипационной теоремы ( в применении к электрическим цепям это утверждение известно также как теорема Найквиста). При частоте, существенно меньшей чем (где — постоянная Больцмана, — абсолютная температура резистора в градусах Кельвина, — постоянная Планка) спектр теплового шума равномерный («белый шум»), спектральная плотность шума (преобразование Фурье от коррелятора напряжений шума) , где . Видно, что чем больше сопротивление, тем больше эффективное напряжение шума, также, эффективное напряжение шума пропорционально корню из температуры.

Даже при абсолютном нуле температур у резисторов, составленных из квантовых точечных контактов будет иметься шум, обусловленный Ферми-статистикой. Однако такой шум устраним путём последовательного и параллельного включения нескольких контактов.

Уровень шума реальных резисторов выше. В шуме реальных резисторов также всегда присутствует компонента, интенсивность которой пропорциональна обратной частоте, то есть 1/f шум или «розовый шум». Этот шум возникает из-за множества причин, одна из главных перезарядка ионов примесей, на которых локализованы электроны.