**1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЗИСТОРАХ. КЛАССИФИКАЦИЯ, СИСТЕМА УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И МАРКИРОВКА**

Резистор - это компонент радиоэлектронного устройства, предназначенный для перераспределения и регулировки энергии между элементами схемы.

Резисторы используют для формирования заданных величин токов и напряжений в электрической цепи радиоэлектронных устройств, создания необходимых электрических режимов активных компонентов, согласования электрических цепей, поглощения электрической мощности, для применения в частотозадающих цепях генераторов и фильтров и т.д.

В настоящее время наравне с дискретными резисторами получают все большее распространение наборы резисторов. Конструктивно наборы, как правило, оформляются в корпусах микросхем.

Резисторы делят на две большие группы: постоянные и переменные резисторы. По назначению постоянные резисторы подразделяют на резисторы общего применения, прецизионные, высокочастотные, высоковольтные, высокомегаомные, а переменные резисторы - на подстроечные (их сопротивление изменяют при технологических регулировках) и регулировочные, сопротивление которых изменяют во время функционирования аппаратуры.

По принципу создания резистивного элемента различают проволочные, непроволочные и металлофольговые резисторы. Основное применение находят непроволочные резисторы - тонкопленочные (металлокерамические, металлоокисные, металлизированные, углеродистые, бороуглеродистые), толстопленочные (лакопленочные, керметные, на проводящей пластмассе) и объемные (с добавлением органических и неорганических диэлектриков).

По способу монтажа подразделяют резисторы для навесного монтажа, печатного монтажа и используемые в составе микросхем и микросборок.

Набор резисторов представляет совокупность резисторов, объединенных в единую конструкцию в корпусах микросхем или корпусах сопрягающихся с микросхемами. Их классифицируют по назначению (общего назначения, прецизионные, высоковольтные, высокомегаомные), типу резистивного элемента и схемотехническому построению (простой набор, функциональный набор, комбинированный набор, который состоит из постоянных и переменных резисторов).

Параметры и характеристики, входящие в полное условное обозначение резистора, указываются в определенной последовательности. Для резисторов постоянного сопротивления указываются: тип резистора; 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).

Для резисторов переменных указываются номинальная мощность рассеяния; номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения (Ом, кОм, МОм); допускаемое отклонение сопротивления в процентах; функциональная характеристика (для непроволочных резисторов); обозначение конструктивных особенностей вала. Например, 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, группой ТКС - Б, все климатического исполнения В, обозначается: P1-4-0.5-10кОм ±1% А-Б-В ОЖО.467.157 ТУ.

Резистор имеет также буквенно-цифровую маркировку. В зависимости от размеров резистора она может быть полной и сокращенной. Полная маркировка содержит: вид, номинальную мощность, номинальное сопротивление, допуск и дату изготовления. Сокращенная - номинальное сопротивление, допуск или дату изготовления.

Обозначение номинальных сопротивлений может быть полным (215 Ом, 150 кОм, 2,2 МОм, 6,8 ГОм, 1 ТОм) или кодированным (215R, 150K, 2M2, 6 G8, 1T), где буквы R, K, M, G, T обозначают соответственно множители 1, 10 3, 106, 109, 1012 для сопротивлений, выраженных в омах.

Полное обозначение допускаемого отклонения состоит из цифр, кодированное - из букв. Применяется и цветная маркировка резисторов, которая выполняется в виде цветных точек или полос.

Обозначение наборов резисторов, выполненных по тонкопленочной технологии состоит из следующих элементов: первый элемент - цифра 3 обозначающая группу микросхем; второй элемент - две цифры, обозначающие порядковый номер разработки серии микросхем; третий элемент - две буквы, обозначающие подгруппу и вид микросхемы: НР - набор резисторов, НФ - наборы функциональные (в том числе и матрицы резисторов типа R-2R);четвертый элемент - условный номер разработки микросхемы по функциональному признаку в данной серии. Например, 301НР2...ТУ. Для наборов резисторов, не отнесенных к классу интегральных микросхем, обозначение может быть сокращенным и полным. Сокращенное обозначение состоит из следующих элементов: первый элемент - буквы НР (набор резисторов); второй элемент - цифра, обозначающая вид материала резистивных элементов (1 - непроволочные, 2 - проволочные или металлофольговые); третий элемент - регистрационный номер конкретного набора резисторов.

В состав основных параметров и характеристик наборов резисторов входят: обозначение типовой схемы построения набора; число резисторов или разрядов в наборе; номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения сопротивления (Ом, кОм, МОм); допускаемое отклонение сопротивления в процентах и коэффициент отношения (деления); погрешность коэффициента отношения (деления); группа по ТКС.

**2. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И СВОЙСТВА РЕЗИСТОРОВ**

При использовании резистора в цепях переменного тока и напряжения, особенно на высоких частотах, резистор нельзя рассматривать как элемент, обладающий только активным сопротивлением, необходимо учитывать его паразитные реактивные составляющие.

Сопротивление резистора в цепи постоянного тока

*(*RR*+*RК*)·*RИЗ

R *= ⎯⎯⎯⎯⎯⎯⎯ .*

RR*+* RК*+* RИЗ

Сопротивление RК имеет существенное значение только для низкоомных резисторов, однако в процессе функционирования резистора из-за перегрева, недостаточного контактного усилия, действия влаги оно может значительно возрасти.

Сопротивление Rиз определяется качеством диэлектрика, используемого для основания и защитного изоляционного покрытия, и практически влияет на общее сопротивление R только для высокоомных резисторов (RR > 109 - 1010 Ом).

Постоянные резисторы характеризуются номинальным сопротивлением и допуском, номинальной мощностью, электрической прочностью, ТКС, уровнем собственных шумов, стабильностью, частотными свойствами.

Номинальное сопротивление - это электрическое сопротивление, значение которого обозначено на резисторе или указано в сопроводительной документации и которое является исходным для отсчета отклонения от этого значения.

Диапазон номинальных сопротивлений для резисторов: постоянных - от долей ома до единиц тераом; переменных непроволочных - от 0,47 Ом до 1 МОм; переменных не проволочных от 1 Ом до 10 МОм.

Номинальные сопротивления резисторов стандартизованы и устанавливаются рядами предпочтительных чисел. Это десятичные ряды геометрических прогрессий, первый член которых равен единице, а знаменатель прогрессии qN = 101/N для ряда EN. Цифра после буквы E указывает число номиналов в каждом десятичном интервале. Любой член ряда an = qn-1, где n - номер искомого члена. Наиболее употребительны ряды предпочтительных чисел E6, E12, E24 и т. д. Знаменатели этих рядов соответственно будут: q6 = 10(1/6) = 1,47; q12 = 10(1/12) = 1,21; q24 = 10(1/24) = 1,1. Для постоянных резисторов установлены ряды E6, E12, E24, E48, E96, E192, а для переменных - ряд Е6.

Действительные значения сопротивлений резисторов вследствие технологических погрешностей могут отличаться от номинальных в пределах допусков. Величины допусков также нормированы и задаются рядом: ± 0.001; ±0.002; ±0.005; ±0.01; ±0.02; ±0.05; ±0.1; ±0.25; ±0.5; ±1; ±2; ±5; ±10; ±20; ±30 %.

В резисторах общего применения номиналы сопротивлений согласованны с допусками таким образом, что получается так называемая "безотходная шкала": номиналы и допустимые отклонения сопротивления одного резистора примыкают к номиналу и допустимым отклонениям соседнего. Поэтому изготовленный резистор обязательно попадет в одну из групп.

Номинальная мощность - наибольшая мощность, которую может рассеивать резистор в заданных условиях в течении гарантированного срока службы при сохранении параметров в установленных пределах. Наиболее часто используются постоянные резисторы, обладающие номинальной мощностью 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 Вт, а переменные - 0,5; 1,0; 2,0 Вт.

Значение номинальной мощности зависит от конструкции резистора, геометрических размеров и физических свойств материалов. Чем выше теплостойкость конструкционных и резистивных материалов, тем выше допустимая рассеиваемая мощность для данной конструкции. С повышением температуры окружающей среды теплоотдача ухудшается и происходит нагрев резистора сверх допустимой температуры. Поэтому необходимо уменьшать электрическую нагрузку. Для каждого типа резистора устанавливается предельная температура, при которой его можно нагружать номинальной мощностью. Для непроволочных резисторов это 100 - 120°С, для проволочных - выше.

Предельное рабочее напряжение резистора - это максимальное напряжение для данного типа резистора, при котором он может работать длительное время, не изменяя своих параметров. Мощность, выделяемая при этом резистором, не должна превышать номинальную. Для высокоомных резисторов максимальное напряжение ограничивается напряжением пробоя, а для низкоомных резисторов - допустимой мощностью рассеивания Рдоп:

Uмакс = (Pдоп·R)1/2.

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) - величина, характеризующая относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры на 1°C.

(R2-R1)

ТКС = ⎯⎯⎯⎯⎯ , 1/°C,

R1·(T2-T1)

где R1 и R2 - сопротивление резистора, измеренное при температуре Т1 и Т2 соответственно.

ТКС характеризует обратимые изменения сопротивления резистора. В диапазоне температур ТКС может менять свою величину и знак. ТКС непроволочных резисторов общего назначения лежит в пределах +(0.5-20)·10-4 1/°C, прецизионных - +(0.05-10)·10-4 1/°C, а проволочных - от 0 до +2·10-4 1/°C.

Необратимые температурные изменения сопротивления резистора возникают после длительного воздействия повышенных температур или после нескольких температурных циклов. Большинство типов непроволочных резисторов допускает работу при температурах от -60 до +(100 - 150)°C и выше. Проволочные резисторы могут работать при более высоких температурах.

Старение резисторов проявляется главным образом в изменении сопротивления, которое вызывается структурными изменениями резистивного элемента за счет кристаллизации, окисления и различных электрохимических процессов, а также за счет изменения свойств переходных контактов. Процессы старения ускоряются в условиях повышенных температур, влажности и при электрической нагрузке. Наиболее устойчивыми к действию факторов старения являются проволочные резисторы, а среди непроволочных - тонкослойные металлодиэлектрические и металлоокисные, менее стойкими считаются композиционные лакопленочные. Процессы старения могут изменить сопротивление резистора на несколько процентов.

Собственные шумы резисторов складываются из тепловых шумов и токовых шумов. Уровень шумов измеряется Э.Д.С. шумов.

Возникновение тепловых шумов связано с флуктуационными изменениями объемной концентрации свободных электронов в резистивном элементе, обусловленными их тепловым движением. Тепловые шумы характеризуются непрерывным, практически равномерным спектром. Напряжение тепловых шумов Ет не зависит от материала, а определяется температурой и величиной сопротивления:

Ет = (4·k·Т·R·ΔF)1/2, B,

где k - постоянная Больцмана, к = 1,38·1023 Дж/K;

Т - температура, К;

R - сопротивление, Ом;

ΔF - ширина полосы частот, Гц.

При Т = 300К можно пользоваться формулой:

ЕТ =(R ΔF)1/2 / 8, мкв,

где R - сопротивление, кОм;

ΔF - ширина полосы частот, кГц.

Тепловые шумы нельзя исключить или уменьшить, они существуют независимо от тока, протекающего в резисторе. Тепловые шумы определяют шумовые характеристики проволочных резисторов. Высокоомные резисторы могут иметь напряжение тепловых шумов значительно выше шумов усилительных приборов.

При прохождении тока по непроволочному резистору дополнительно возникают токовые шумы. Они обусловлены дискретной структурой резистивного элемента. Интенсивность токовых шумов зависит от проходящего тока. При прохождении электрического тока происходят локальные нагревы, сопровождающиеся разрушением контактов между одними частицами и появлением контактов между другими в результате их спекания, возникновением новых проводящих цепочек. Это вызывает флуктуацию сопротивления и тока и на резисторе появляется шумовая составляющая напряжения. Токовый шум имеет непрерывный спектр, спектральная плотность которого пропорциональна величине 1/f. Поскольку Э.Д.С. шума зависит от тока, то она зависит и от напряжения U, приложенного к резистору:

Ei=ki·U,

где ki - коэффициент, зависящий от конструкции резистора, свойств резистивного слоя, полосы частот, в пределах которой определяется шум; для различных типов резисторов ki меняется от 0,2 до 50 мкВ/В.

Уровень шума определяется в полосе частот 60-6000 Гц.

Если напряжение, приложенное к резистору, соответствует номинальной мощности, то

Uмакс = (Pном·Rном)1/2 или Ei = ki(Pном·Rном)1/2 ,

отсюда следует, что токовый шум пропорционален Rном1/2. Токовый шум значительно превышает тепловой. Уровень токовых шумов у композиционных резисторов в несколько раз больше, чем у пленочных. Чем однороднее структура резистивного слоя, тем меньше токовый шум. По уровню шумов резисторы подразделяют на группу А, обладающих ki ≤ 1 мкВ/В и группу Б - ki ≤ 5 мкВ/В.

Частотные свойства резисторов. Полное сопротивление резистора имеет комплексный характер и зависит от частоты. Это вызвано наличием распределенных по длине резистивного элемента емкости и индуктивности, поверхностным эффектом, диэлектрическими потерями в каркасе и покрытиях. Изменяются активные и реактивные составляющие полного сопротивления, и соответственно фазовые сдвиги, создаваемые резистором в электрической цепи.

Проволочные резисторы отличаются большими значениями распределенных емкости и индуктивности, поэтому их реактивность проявляется уже на частотах в несколько килогерц. Непроволочные резисторы имеют значительно меньшие значения распределенных параметров и могут применяться на частотах в сотни и даже тысячи мегагерц.

Индуктивность резистора определяется конструкцией и размерами резистивного элемента и выводов. Обычно она невелика и погонная индуктивность составляет примерно 3 нГн/см кроме случаев, когда для увеличения сопротивления резистора резистивному слою придается вид спирали. В этом случае погонная индуктивность увеличивается до десятых долей микрогенри на сантиметр. Индуктивность выводов тем меньше, чем они короче и толще. Поэтому высокочастотные резисторы не имеют проволочных выводов, они снабжаются плоскими контактами, расположенными непосредственно на резистивном элементе, контакты впаиваются в соответствующие участки схемы.

Емкость резистора зависит от его формы, размеров, конструкции выводов, от диэлектрической проницаемости материалов каркаса и защитного покрытия. Распространенные типы резисторов обладают погонной емкостью от 0,05 до 0,15 пФ/см. Емкость зависит и от расположения резистора относительно других элементов конструкции.

Активное сопротивление Rf и емкость Cf являются частотнозависимыми. При f·C·R0 ≤ 0,1 (где C - полная емкость резистора, пФ; R0 - сопротивление постоянному току, Мом; f - частота, МГц). Эта зависимость выражена слабо и может не учитываться. С точностью до 1% можно считать Rf = R0. На более высоких частотах, когда f·C·R0 > 0,1, сопротивление резистора падает и до значения f·C⋅R0⋅ ≤ 0,5 может быть определено по формуле

Rf=R0·[ 1-0,9·(f·C·R0)2 ].

Из этой формулы можно определить граничную частоту резистора fгр, на которой активное сопротивление уменьшается на 1%.

fгр=0,1/(С·R0).

На частотах выше 1МГц дополнительное уменьшение активной составляющей вызывается диэлектрическими потерями в каркасе и в защитном покрытии. Поэтому каркасы высокочастотных резисторов изготавливают из специальной керамики с малыми величинами диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, не применяют защитное покрытие.

Преобладающее влияние индуктивности проявляется у резисторов имеющих сопротивление ниже 300 Ом. Полное сопротивление увеличивается с ростом частоты до возникновения шунтирующего влияния емкости.

Наименьшее значение реактивности имеют металлодиэлектрические и металлопленочные резисторы.

В импульсном режиме через резистор проходят повторяющиеся импульсы тока, мгновенные значения которых могут превышать величины режима непрерывной нагрузки.

Паразитные емкости и индуктивности искажают форму импульсов, уменьшают максимальное значение сигнала за счет изменения модуля сопротивления. Форма импульса сохраняется удовлетворительной при выполнении условия

fмакс ≤ 0,35/τф,

где fмакс - частота, на которой модуль полного сопротивления уменьшается в 1,41 раз;

τф - длительность фронта импульса.

Импульсная мощность может значительно превышать мощность рассеяния при непрерывной нагрузке. Для импульсов прямоугольной формы средняя мощность определяется выражением

Pср = Uи2·τи·Fи /R = (Uи2 /R)( τи / Tи) = Pи/Q ,

где Uи - амплитуда импульса;

τи - длительность импульса;

Fи - частота повторения импульсов;

Ти = 1/Fи - период повторения импульсов;

Q = Tи/τи - скважность;

Pи - импульсная мощность.

Для нормальной работы резистора необходимо, чтобы средняя мощность не превосходила номинальную мощность резистора. Максимально допустимая длительность импульса ограничивается температурой нагрева резистивного элемента за время действия импульса, т.е. ограничивается допустимой энергией каждого отдельного импульса и средней температурой резистора. Напряжение на резисторе во время импульса не должно превышать напряжение пробоя изоляционных материалов и воздушных зазоров. Резисторы, предназначенные для работы в импульсном режиме, должны обладать высокой степенью однородности резистивного элемента, чтобы исключить локальные перегревы в местах неоднородностей.

**3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЗИСТОРОВ**

Переменные резисторы дополнительно характеризуют рядом параметров: функциональной характеристикой, разрешающей способностью, шумами скольжения, износоустойчивостью и некоторыми другими.

Функциональная характеристика определяет зависимость сопротивления переменного резистора или напряжения от положения подвижного контакта. По характеру функциональной зависимости переменные резисторы делятся на линейные - типа А и нелинейные - типов Б, В, И, Е и др.. Из резисторов с нелинейной функциональной характеристикой наиболее распространены резисторы с логарифмической (Б) и обратнологарифмической (В) зависимостями. Резисторы с такими зависимостями применяются для регулировки громкости и тембра звука, яркости свечения индикаторов и др. Резисторы с характеристиками Е и И используют в регулировке стереобаланса, а резисторы с косинусными и синусными зависимостями применяют в устройствах автоматики и вычислительной техники.

Отклонения от заданной кривой определяются допусками. Для резисторов общего применения допуск устанавливается в пределах 2 - 20%, а для прецизионных - в пределах 0,05 - 1%.

Разрешающая способность показывает, при каком наименьшем изменении угла поворота или перемещении подвижной системы может быть различимо изменение сопротивления резистора. У непроволочных резисторов разрешающая способность очень высокая и ограничивается дефектами резистивного элемента и контактной щетки, а также переходным сопротивлением между проводящим слоем и подвижным контактом.

Разрешающая способность переменных проволочных резисторов зависит от числа витков резистивного элемента и определяется изменением сопротивления при перемещении подвижного контакта на один виток. Чем больше витков содержит резистивный элемент, тем выше разрешающая способность. Разрешающая способность резисторов общего применения находится в пределах 0,1 - 3%, а прецизионных - до тысячных долей процента.

Шумами скольжения переменных резисторов принято считать шумы (напряжение помех), возникающие при движении (скольжении) подвижного контакта по резистивному элементу. Причиной таких шумов являются контактная разность потенциалов между щеткой и резистивным элементом, неоднородность структуры переходного контакта и э.д.с., возникающая при быстром вращении подвижной системы. Уровень этих шумов выше уровня тепловых и токовых шумов резистора.

Под износоустойчивостью понимают способность резистора сохранять свои параметры при многократных перемещениях подвижной системы. Износоустойчивость в основном определяется материалом и формой подвижного контакта и резистивного элемента и контактным давлением. При движении происходит износ резистивного элемента и подвижного контакта, интенсивность которого возрастает с увеличением контактного давления. Однако уменьшение контактного давления способствует увеличению шумов вращения и снижению стойкости к механическим воздействиям. Количественно износоустойчивость оценивается максимально допустимым числом циклов перемещения подвижной системы, при котором параметры резистора остаются в пределах норм. Износоустойчивость прецизионных резисторов 105 - 107 циклов, но их вибрационная и ударная стойкость ниже, чем резисторов общего назначения. Регулировочные резисторы общего назначения обладают износоустойчивостью 5000 - 100000 циклов, а подстроечные - не больше 1000.

**4. Постоянные резисторы**

Углеродистые резисторы представляют собой тонкую пленку углерода, осажденную на основание из керамики (стержень или трубку). Углеродистые резисторы характеризуются высокой стабильностью сопротивления, низким уровнем собственных шумов, небольшим отрицательным ТКС (5-20)·10-4 1/°C, слабой зависимостью сопротивления от частоты и приложенного напряжения. Выпускаются резисторы общего назначения (С1-4, ВСа, ВС), высокочастотные (УНУ, УНУ-Ш). Для повышения стабильности в углерод добавляют бор. Бороуглеродистые резисторы (БЛП) имеют ТКС = -(0,12-0,2)10-4 1/ °C, меньший уровень шумов (не более 0,5 мкВ/В и допуск ±0.5; ±1%).

Композиционные резисторы. Резистивный элемент этих резисторов изготавливается из смеси (композиции), состоящей из проводящего компонента (сажа, графит) и органического или неорганического диэлектрика. Композиционные резисторы выпускаются пленочного и объемного видов. Пленочные резисторы изготавливают нанесением композиции на керамическую трубку или стержень. Объемные композиционные резисторы представляют собой стержни, прессованные из композиционной смеси.

Достоинством пленочных композиционных резисторов является простота их изготовления и повышенная надежность, обусловленная значительной толщиной резистивного слоя. Недостатками этого вида резисторов являются зависимость сопротивления от напряжения, низкая стабильность, большой уровень собственных шумов, большие диэлектрические потери на высокой частоте, зависимость сопротивления от частоты, температуры и влажности. Это резисторы специального назначения: высокомегаомные (С3-13, С3-14, КВМ, КЛМ), сопротивление которых лежит в пределах от 100кОМ до 1тОм, высоковольтные (С3-9, С3-12, С3-14, С3-5, КЭВ) с сопротивлением до 45ГОм и предельным напряжением до 60кВ (КЭВ), а также малогабаритные резисторы типа КИМ для микроэлементной аппаратуры.

Объемные композиционные резисторы более дешевы и просты в производстве, чем пленочные. Они менее чувствительны к кратковременным перегрузкам, характеризуются большей надежностью, особенно при работе в тяжелых климатических условиях. К ним относятся резисторы общего назначения типа С4-2, С4-3, ТВО.

Металлодиэлектрические, металлизированные и металлоокисные резисторы. Резистивный элемент этих резисторов изготавливают в виде тонкой пленки, представляющей собой микрокомпозицию из диэлектрика (стекло, керамика, полимерные материалы) и проводника (палладий, родий, двуокись олова и др.), пленки металла (вольфрама, хрома, тантала, титана) или сплавов металлов с хромом, кремнием, пленки окиси металла (чаще всего окиси олова).

Эти резисторы характеризуются высокой стабильностью, слабой зависимостью сопротивления от частоты и напряжения, теплостойкостью и влагостойкостью, малым уровнем шумов, небольшими размерами, высокой надежностью. Их недостатком является пониженная стойкость к импульсным нагрузкам, а также невозможность изготовления высокомегаомных резисторов.

На основе металлоокисного резистивного элемента изготавливают прецизионные резисторы (С2-1), которые могут работать при высоких (до 200°C) температурах, высокочастотные (МОУ, МОУ-Ш).

Металлизированные резисторы типа С6-1 - С6-9 применяют для работы в диапазоне СВЧ вплоть до частот 26 ГГц. Они используются в аттенюаторах СВЧ, в измерительных цепях и т.д. Конструктивно выполнены без выводов, за исключением резисторов типа С6-5, у которых рабочий диапазон ограничен частотой 100МГц.

Металлодиэлектрические резисторы общего назначения МЛТ и ОМЛТ наиболее широко используются в радиоэлектронной аппаратуре. Они обладают высокими электрическими, конструктивными и эксплуатационными характеристиками: диапазон номинальных значений сопротивления от 8,2 до 10 · 106 Ом; номинальная мощность рассеивания в зависимости от типоразмера - 0,125 - 2 Вт; ТКС = (5-12)·10-4 1/°C; допустимые отклонения сопротивления ±2; ±5; ±10%; масса 0,15 - 3,5 г.

Аналогичную конструкцию имеют резисторы типа МТ (обладают повышенной теплостойкостью, могут эксплуатироваться при температуре окружающей среды до 200°C), С2-33И, С2-50 (характеризуются малым допуском на номинал - ±0,5; ±1 ; ±2%; небольшим ТКС - +(1-2,5)· 10 -4 1/°C; меньшим уровнем шумов - до 1,5 мкВ/В).

Для применения в микроэлектронной аппаратуре и микросборках можно использовать резисторы Р1-4-0,25 и резисторы безвыводной конструкции Р1-11 и Р1-12, которые в схему впаивают непосредственно. Резисторы типа Р1-12 характеризуются следующими параметрами: диапазон номинальных сопротивлений 1 - 6,8·106 Ом; допуск на номинал ±5; ±1 0; ± 20%; ТКС=+(1,5-5)·10-4 1/°C; уровень собственных шумов зависит от величины сопротивления и изменяется от 1 до 50мкВ/В.

Кроме резисторов общего применения выпускают металлодиэлектрические прецизионные резисторы (С2-29В, С2-36, С2-1 и др.) и высокочастотные (С2-10, С2-34).

Прецизионные металлодиэлектрические резисторы обладают мощностью рассеяния от 0,062 до 2Вт, диапазоном номинальных сопротивлений от 1 до 20·106 Ом, допуском от ±0,05 до ± 1%; ТКС - +(0,05-10)·10-4 1/°C; уровнем шумов - от 0,5 до 5 мкВ/В.

Проволочные резисторы выполняют на цилиндрическом изоляционном основании с одно- или многослойной обмоткой. Для защиты от механических и климатических воздействий и закрепления витков все устройство покрывается лаками и эмалями или герметизируется.

Проволочные резисторы характеризуются высокой стабильностью сопротивления, низким уровнем шумов, большой номинальной мощностью, высокой точностью сопротивления.

В зависимости от назначения проволочные резисторы можно разделить на резисторы общего назначения (нагрузочные) и прецизионные.

Нагрузочные резисторы имеют номинальную мощность от 3 до 100Вт и номинальное сопротивление от 0,066 до 50·103 Ом. Применяют такие резисторы в качестве делителей напряжения, различных нагрузок, поглотительных и балластных сопротивлений.

Прецизионные резисторы характеризуются меньшей номинальной мощностью от 0,125 до 10Вт, большим диапазоном номинальных значений от 1 до 106 Ом, допуском от ±0,05 до ±2,0%, ТКС - (0,01-2)·10-4 1/°C.

Для использования в микроэлектронной аппаратуре и микросборках выпускают металлофольговые прецизионные резисторы С5-62, которые предназначены для функциональной подгонки высокоточных ГИС. Эти резисторы характеризуются диапазоном номинальных значений от 30 до 10·103 Ом, допуском от ±0,05 до ±1,0%; ТКС - +(0,2-0,3)·10-4 1/°C.

**5. Наборы резисторов**

Наборы резисторов предназначены для использования в устройствах вычислительной, измерительной техники и другой радиоэлектронной аппаратуре.

По функциональному назначению наборы резисторов подразделяют на декодирующие матрицы и последовательные делители напряжения.

В декодирующих матрицах значения сопротивлений резисторов изменяются по закону R-2R, R-2R-4R-8R и др.

Наборы резисторов характеризуются номинальным сопротивлением резисторов, коэффициентом деления, допуском на номинал, ТКС и разбалансом ТКС (т.е. разностью между ТКС двух резисторов), входным напряжением (чаще всего от 2,0 до 30В, для некоторых типов наборов резисторов до 1500В), выходным напряжением, мощностью рассеяния одного резистора и набора в целом (от 0,3 до 1,5 Вт), разрядностью для декодирующих матриц, паразитной емкостью между резисторами; динамическими параметрами - временем установления выходного напряжения (0,1-5мкс) или верхней граничной частотой (до 60МГц).

Наборы резисторов изготавливают на основе тонкопленочных резисторов (серии 301-320), толстопленочных (НР1-1 - НР1-11), металлофольговых (НР2-2), проволочных (НС5-4-1), керметных подстроечных (НР1-9, НРП1-1).

**Литература**

1. Суриков В.С. – Основы электродинамики – М. «Протон» - 2000 г.
2. Карков И.С. – Физика элементарных частиц. – М. – 1999 г.
3. Синджанов И.К. Электродинамика – М. 1998 г.
4. Электротехнические материалы. Справочник / В.Б. Березин, Н.С. Прохоров, А.М. Хайкин. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 504с.
5. Рычина Т.А., Зеленский А.В. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы . - М.: Радио и связь, 1999. - 352с.