

РЕЗИСТОРЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

В век информационных и цифровых технологий основными электронными компонентами в составе современной электронной аппаратуры являются интегральные полупроводниковые микросхемы различного исполнения и назначения. Данные микросхемы состоят как из активных, так и пассивных элементов, поэтому доля дискретных пассивных компонентов (резисторов и конденсаторов) в составе электронных схем в настоящее время значительно снижена по сравнению с предшествующей аппаратурой.

Однако, учитывая, что объемы выпуска современной радиоэлектронной аппаратуры исчисляются десятками и сотнями миллионов штук в год, производство дискретных пассивных компонентов в настоящее время не только не уменьшается, но и с каждым годом увеличивается на 10-20%. Эта тенденция в полной мере относится и к резисторам. Объемы мирового выпуска резисторов сегодня достигают более 500 млрд. шт. в год.

Основное назначение резисторов в электронных схемах - управление и регулирование энергетических и информационных потоков как внутри отдельных электронных схем, так и между ними. Использование резисторов в каждом конкретном случае зависит от типа электронной схемы и применяемых пассивных и активных изделий электронной техники. Ниже приведены некоторые схемные электронные варианты и использование в них постоянных, переменных резисторов и наборов резисторов.

1. Резисторы, ограничивающие ток

Схема на рисунке 1 представляет классический источник питания. Здесь резистор используется для ограничения тока в цепи. В мощных выпрямительных источниках питания этот резистор должен выдерживать значительные токи.

Рисунок 1

2. Резисторы, обеспечивающие цепь разряда

В данном случае резистор (рисунок 2) необходим для обеспечения должной степени безопасности. Посредством резистора и емкости объединяются земля первичной и вторичной цепей. Это необходимо для устранения остаточных зарядов посредством создания дополнительной цепи разряда. Сопротивление резистора не должно превышать 12 МОм. Другая функция этого резистора - ограничение тока поверхностной утечки, который не должен превысить 0,5 мА. Кроме того, этот резистор должен выдержать напряжение 1000 В в течение 1 минуты.

3. Резисторы для устранения влияния выбросов высокого напряжения

Контакт между интегральной схемой видеосуилителя, соединенной с катодом лучевой трубки, может иногда обрываться. Резистор (рисунок 3), добавленный между катодом и схемой усилителя, должен предотвратить поломку, поглощая энергию при разряде высокого напряжения. Также он используется для защиты схемы, с которой подаются управляющие напряжения на электроды G1 и G2.

Рисунок 2

Рисунок 3

4. Терморезистор для температурной компенсации

В данной схеме (рисунок 4) резистор необходим для обеспечения требуемого наклона передаточной характеристики и для компенсации температурных воздействий усилителей высокой частоты.

5. Резисторы осциллятора, управляемого напряжением

В данной схеме (рисунок 5) резистор, стоящий перед варикапом, обеспечивает требуемый ток и задает постоянную времени. Резисторы, входящие в состав эмиттерного повторителя, обеспечивают требуемый режим работы рабочего тока базы, а один из них выполняет роль нагрузки эмиттерной цепи для улучшения стабильности характеристик усилительного каскада.

Рисунок 4

5. Резисторы осциллятора, управляемого напряжением

В данной схеме (рисунок 5) резистор, стоящий перед варикапом, обеспечивает требуемый ток и задает постоянную времени. Резисторы, входящие в состав эмиттерного повторителя, обеспечивают требуемый режим работы рабочего тока базы, а один из них выполняет роль нагрузки эмиттерной цепи для улучшения стабильности характеристик усилительного каскада.

Рисунок 5

6. Резистор - датчик тока

В измерительных схемах резисторы могут играть роль токовых датчиков. На рисунке 6 представлен фрагмент схемы для измерения активных сопротивлений. Здесь падение напряжения на резисторе будет прямо пропорционально значению тока, протекающего в измерительной цепи.

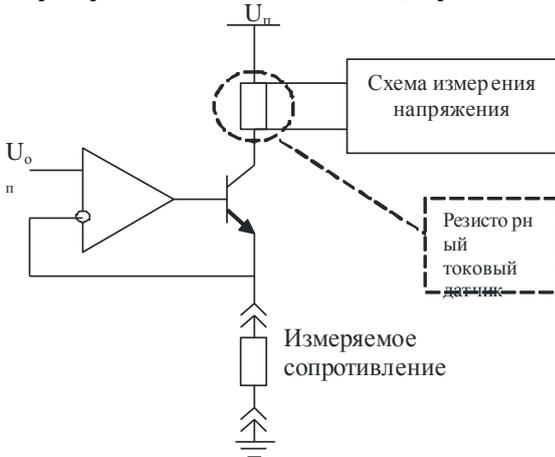


Рисунок 6

7. Наборы резисторов для построения ЦАП и АЦП

На рисунке 7 представлен вариант построения ЦАП по схеме параллельно-взвешенного включения.

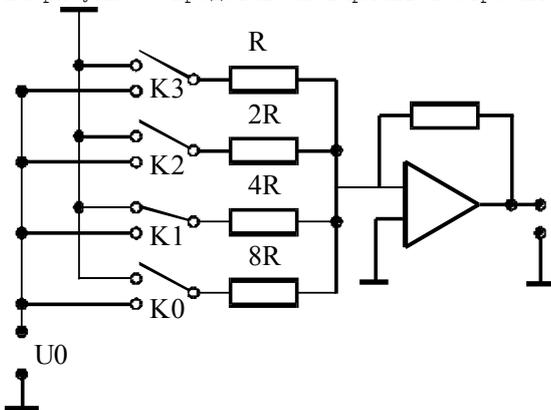


Рисунок 7

Схема содержит источник опорных напряжений U_0 , набор ключей (кодоуправляемый коммутатор) и набор двоичновзвешенных резисторов.

Каждый разряд входного двоичного цифрового кода управляет своим ключом и формирует ток, пропорциональный весу разряда. Токи суммируются сумматором, построенном на операционном усилителе.

Пример 4-х разрядного ЦАП, построенного на резистивной сетки типа R-2R, приведен на рисунке 8.

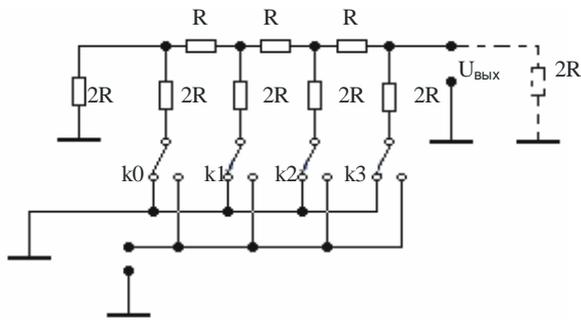


Рисунок 8
 U_0
 $k_0 - k_3$ - ключи соответствующих разрядов.

Эта сетка очень технологична в изготовлении, поскольку содержит резисторы только двух номинальных значений сопротивлений. Выходное сопротивление данной схемы всегда постоянно, а выходное напряжение пропорционально сумме напряжений соответствующих разрядов.

Наборы резисторов также применяются для построения АЦП параллельного преобразования, образуя многоуровневый делитель напряжения, выходные напряжения которого пропорциональны соответствующим разрядам (рисунок 9).

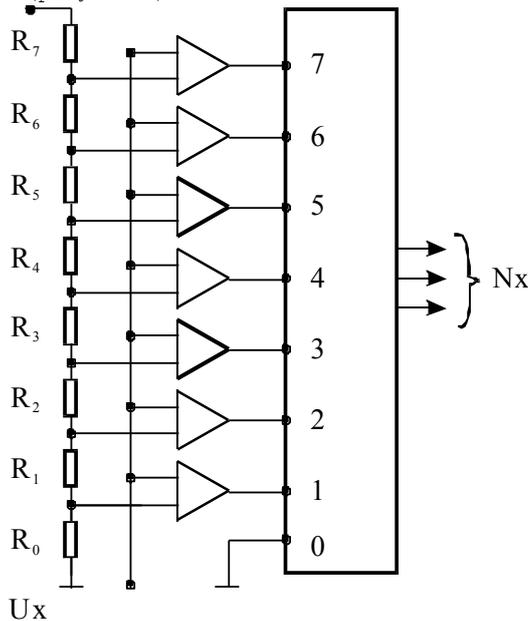


Рисунок 9

Пример использования переменного резистора для регулировки коэффициента усиления приведен на рисунке 10

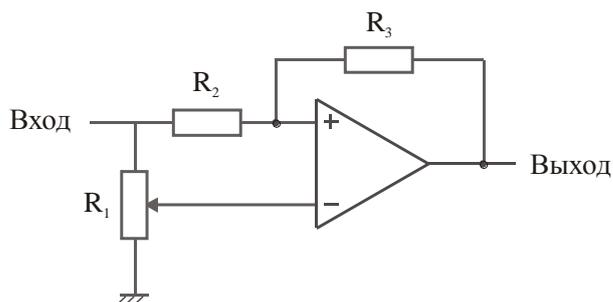


Рисунок 10

Классификация резисторов может осуществляться по ряду признаков, присущих многим изделиям электронной техники: назначению, способу монтажа, способу защиты и т. п. В данной статье приводится подход автора, основы которого предложены в статьях [1-3].

Первым классификационным признаком должен быть технологический принцип формирования резистивного элемента, представляющего собой структуру резистивного материала и проводящих контактов. Такими основополагающими технологическими принципами формирования резистивного элемента являются: тонкопленочная, толстопленочная, проволоочная и металлофольговая базовые технологии. В свою очередь каждая из перечисленных технологий подразделяется, в соответствии существующими нюансами на подтехнологии. Например, тонкопленочная технология формирования резистивного элемента подразделяется на технологии вакуумного термического, магнетронного или ионно-плазменного напыления, осаждения тонких слоев из газовой фазы (пиролитическое осаждение) и др. Тонкопленочные резисторы изготавливаются на основе металлодиэлектрических, металлоокисных и металлизированных резистивных материалов, в виде микрокомпозиционного слоя из диэлектрика и металла, или тонкой пленки металла, окиси металла, или сплава; углеродистых и бороуглеродистых проводящих материалов.

По толстопленочной технологии изготавливаются керметные, лакосажевые резисторы и изделия на основе проводящих пластмасс. Толстопленочные резистивные материалы представляют собой гетерогенную систему (композицию), состоящую из нескольких фаз. Резистивные композиции получают механическим смешиванием проводящего компонента (например, графита или сажи, металла или оксида, бориды, карбида

металлов и т.д.) с органическими или неорганическими связующими (смолы, стекла и стеклоэмали), наполнителем, пластификатором и отвердителем. После соответствующей термообработки образуется монолитный гетерогенный слой с необходимым комплексом параметров.

По толсто пленочной (композиционной) технологии изготавливаются и объемные резисторы, которые могут быть с органическим и неорганическим связующим диэлектриком. В объемных резисторах в качестве связующего компонента используют органические смолы или стеклоэмали. Проводящей фазой является сажа.

Подобные нюансы существуют и в других технологиях.

В общем случае с использованием базовых технологий изготавливаются резисторы и резисторные компоненты различного конструктивного исполнения: постоянные и переменные резисторы, терморезисторы, наборы резисторов, комбинированные резистивные компоненты, как на основе резисторов различных конструкций (например, постоянных и переменных резисторов), так и на основе других классов изделий электронной техники (например, R-C наборы) или резистивные компоненты, сформированные на поверхности полупроводниковых материалов (рисунок 11).

По характеру изменения сопротивления все резисторы подразделяются на постоянные и переменные. Последние, в свою очередь, делятся на подстроечные, регулировочные резисторы и потенциометры.

Постоянные резисторы имеют фиксированное сопротивление, которое в процессе эксплуатации не регулируется. Переменные резисторы допускают изменение сопротивления в процессе их функционирования в аппаратуре. Сопротивление подстроечных резисторов изменяется при разовой или периодической регулировке и не изменяется в процессе функционирования аппаратуры.

Перемещение контактной пружины по резистивному элементу может обеспечиваться за счет различных кинематических схем, которые, например, для керметных резисторов приведены в статье [2].

Переменные резисторы по конструкции могут быть выполнены:

одноэлементными и многоэлементными (двоенные, строенные и счетверенные);

с круговым и прямолинейным перемещением подвижного контакта;

однооборотными и многооборотными;

с выключателем и без выключателя;

с упором и без упора;

с фиксацией и без фиксации положения подвижной системы;

с дополнительными отводами и без них.

При выбранном конструктивном исполнении резисторов или резисторных компонентов следующим классификационным признаком является тип монтажа изделия на печатной плате: объемный или поверхностный. Тип монтажа зачастую определяет форму и конфигурацию резистора или набора резисторов, вид и расположение выводов или их отсутствие (чип резисторы) и т.д.

Основная доля выпускаемых в настоящее время резисторов и резисторных компонентов выпускается для автоматизированного поверхностного монтажа. Самыми массовыми поверхностномонтируемыми резисторами являются дискретные чип резисторы. При этом доля потребления миниатюрных и суперминиатюрных чип резисторов с каждым годом постоянно увеличивается, если 4-5 лет тому назад основными чип резисторами являлись резисторы серии 0603 и 0805 серии, то сегодня это чип резисторы серии 0402 и 0201. В ближайшее время следует ожидать массовое применение чип резисторов серии 1005 (размеры 0,4×0,2 мм).

В чип исполнении изготавливаются и наборы резисторов, при этом для чип наборов резисторов, в основном, используются керамические корпуса типа SON. Контактные площадки в этих корпусах могут располагаться как на плоских участках боковой поверхности, так называемые convex – контакты, так и в скругленных углублениях concave – контакты. За счет использования таких корпусов происходит самоориентация набора резисторов на печатной плате при пайке [3].

Корпусированные наборы резисторов также выпускаются для поверхностного монтажа, для этих целей используют корпуса типов SOIC, QS0IC и др.

Подстроечные резисторы открытого и закрытого типов практически все в настоящее время являются поверхностномонтируемыми.

Даже проволочные резисторы, выпускаемые ведущими фирмами в настоящее время, обеспечивают их поверхностный монтаж.

Резисторы или резисторные компоненты для навесного монтажа могут иметь жесткие или мягкие выводы, аксиальные, планарные или радиальные из проволоки круглого сечения или ленты, в виде лепестков и т. п.

В зависимости от способа защиты от внешних воздействующих факторов резисторы конструктивно выполняются: изолированными, неизолированными, герметизированными.

Неизолированные резисторы (с покрытием или без покрытия) не допускают касания своим корпусом печатной платы или шасси аппаратуры. Напротив, изолированные резисторы имеют достаточно хорошее изоляционное покрытие (лаки, компаунды, пластмассы и т. п.) и допускают касания корпусом печатной платы или токоведущих частей аппаратуры.

Герметизированные резисторы имеют герметичную конструкцию корпуса, которая исключает возможность сообщения окружающей среды с его внутренним пространством. Герметизация осуществляется за счет использования металлостеклянных или металлокерамических корпусов, а также с помощью опрессовки специальными компаундами.

Резисторы могут изготавливаться в защищенном и незащищенном вариантах. Защищенные допускают эксплуатацию в условиях повышенной влажности в аппаратуре любого конструктивного исполнения, незащищенные – только в составе герметизированной аппаратуры или в корпусах микросхем.

Заключительным классификационным признаком являются назначение и область применения резисторов и резисторных компонентов. Именно область применения и назначение данного класса изделий электронной техники определяет все широчайшую гамму номенклатурно-параметрических рядов резисторов и резисторных компонентов.

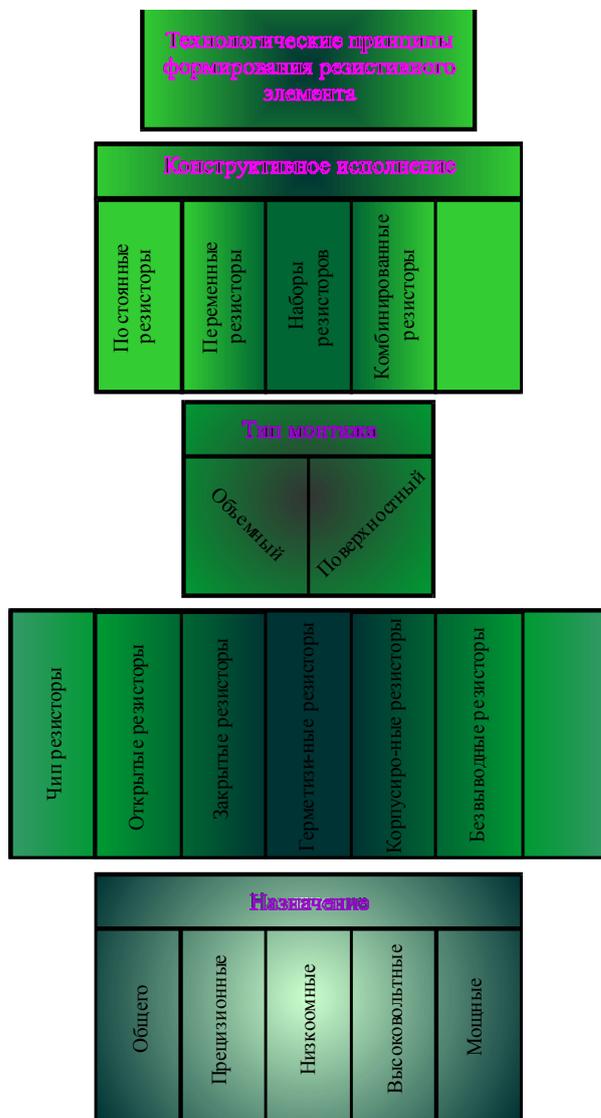


Рисунок 11. Классификация резисторов и резисторных компонентов

В зависимости от назначения резисторы делятся на резисторы общего назначения и специальные (прецизионные и суперпрецизионные, высокочастотные, высоковольтные, высокоомные, низкоомные, мощные и др.).

Резисторы общего назначения используются в качестве различных нагрузок, поглотителей и делителей в цепях питания, элементов фильтров, в цепях формирования импульсов и т. п. Диапазон номинальных сопротивлений таких резисторов 1 Ом...10 МОм, номинальные мощности рассеяния 0,062...100 Вт. Допускаемые отклонения сопротивления от номинального значения ± 1 ; ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ; $\pm 20\%$.

Прецизионные и суперпрецизионные резисторы отличаются высокой стабильностью параметров при эксплуатации и большой точностью изготовления (от $\pm 0,0005$ до $0,5\%$). Они применяются в измерительных приборах, вычислительной технике и системах автоматики. Диапазон их номинальных сопротивлений в ряде случаев шире, чем резисторов общего назначения. Например, в качестве шунтов используют резисторы с номинальным сопротивлением менее 1 Ом, а в эталонных катушках и магазинах сопротивлений применяют резисторы с номинальным сопротивлением до сотен гигаом. Мощности рассеяния их сравнительно небольшие и, как правило, не превышают 2 Вт. Объясняется это высокими требованиями к стабильности, которые трудно выполнить при больших мощностях рассеяния.

Высокочастотные резисторы отличаются малыми значениями индуктивности и емкости, предназначены для работы в высокочастотных цепях, кабелях и волноводах радиоэлектронной аппаратуры в качестве согласующих нагрузок, аттенюаторов, направленных ответвителей, эквивалентов антенн и т. п. Непроволочные высокочастотные резисторы способны работать на частотах до сотен МГц и более, а высокочастотные проволочные – до сотен кГц.

Высоковольтные резисторы рассчитаны на большие рабочие напряжения (от единиц до десятков киловольт). Они используются в качестве высоковольтных делителей напряжения, искрогасителей, поглотителей, в зарядных и разрядных высоковольтных цепях и т. п.

Высокоомные резисторы имеют диапазон номинальных сопротивлений от десятков мегаом до единиц тераом и рассчитаны на небольшие рабочие напряжения (100...400 В), поэтому они работают в ненагруженном режиме, и мощности рассеяния их малы (менее 0,5 Вт). Высокоомные резисторы применяют в электрических цепях с малыми токами, в приборах ночного видения, дозиметрах и измерительной аппаратуре.

Представленный на рисунке 11 подход к классификации резисторов и резисторных компонентов имеет квазилинейный характер, и выражает только алгоритм решения данной проблемы. В реальных условиях классификация имеет характер «цепной реакции» и каждый высший элемент классификационной схемы дает от 2 до десятка элементов классификации более низкого уровня.

На рисунке 12 представлено схематичное изображение резисторов различного конструктивного исполнения.

Предложенный в данной статье алгоритм классификации резисторов и резисторных компонентов вполне может быть применим и для других пассивных электронных компонентов: конденсаторов, нелинейных резисторов и индуктивностей.

Перед разработчиками и производителями электронной аппаратуры практически всегда стоит дилемма, какую электронную комплектацию заложить в аппаратуру. Каждый из разработчиков решает эту задачу по-своему. В связи с этим в заключении рассмотрим краткие комментарии автора о различных резисторах и резисторных компонентах и их возможности использования и применения.

Наиболее старой технологией изготовления резисторов является проволочная технология. В настоящее время проволочные резисторы имеют ограниченные использование, что связано с особенностями технологии их изготовления и низким уровнем частотных характеристик. Традиционная проволочная технология имеет дискретный характер и достаточно сложно поддается автоматизации. Однако данное технологическое ограничение изготовления проволочных резисторов было устранено фирмой «Yageo» при производстве негорю-

Таблица Условное обозначение резисторов

№ п/п	Конструктивное исполнение	Условное обозначение на электрических схемах
1	Резистор постоянный	
2	Резистор постоянный с одним симметричным дополнительным отводом	
3	Резистор постоянный с одним несимметричным дополнительным отводом	
4	Шунт измерительный	
5	Резистор переменный	
6	Общее обозначение переменного резистора в реостатном включении	
7	Переменный резистор с нелинейным регулированием в реостатном включении	
8	Резистор переменный с дополнительными отводами	
9	Резистор переменный двоянный	
10	Резистор подстроечный (неиспользуемый вывод допускается не изображать)	
11	Подстроечный резистор в реостатном включении	
12	Тензорезистор линейный	
13	Тензорезистор нелинейный	
14	Элемент нагревательный	

чих нагрузочных проволочных резисторов типа SQP в case – керамических корпусах. Данное технологическое ограничение устранено за счет намотки резистивной проволоки на стеклоткань, что обеспечивает непрерывность технологического процесса изготовления данных резисторов. Проволочным резисторам практически нет замены при производстве высокоомных прецизионных и суперпрецизионных резисторов. Такие резисторы выпускаются многими фирмами, например, фирмами «Caddock», «Vishay» и др.

Таким образом, проволочная технология в настоящее время используется для изготовления нагрузочных, прецизионных и суперпрецизионных высокоомных резисторов, а также до сих пор на ее основе осуществляется производство прецизионных проволочных потенциометров, которые достаточно часто используются как датчики положения и угла.

Пожалуй самыми массовыми резисторами являются керметные толстопленочные. Преимущество керметных толстопленочных резисторов перед другими обеспечивается спецификой технологии их изготовления, которая базируется на принципах порошковой металлургии нанодисперсных порошков; основывается на элементах планарной полупроводниковой технологии и методе трафаретной печати, заимствованной из полиграфии. Симбиоз этих технологий обеспечивает массовый, практически непрерывный и безотходный технологический процесс изготовления резисторов, отличающийся незначительными энергетическими затратами. В том случае, когда требуются резисторы общего или полупрецизионного класса данные резисторы имеют наиболее предпочтительное применение из-за оптимального соотношения «цена – качество». С использованием данной технологии изготавливается широчайшая гамма резисторов и резисторных компонентов, охватывающая практически все существующие номенклатурно – параметрические ряды резисторов и резисторных компонентов.

По толстопленочные керметной технологии изготавливаются изделия различного конструктивного исполнения: постоянные, переменные и наборы резисторов. При этом основная масса постоянных и переменных керметных резисторов и наборов резисторов выпускается в чип – исполнении для автоматизированного поверхностного монтажа. Практически полный анализ рынка керметных резисторов и основные сведения о данных пассивных компонентах приведены в статьях автора [1-3].

Толстопленочные лакосажевые резисторы и резисторы на основе проводящих пластмасс используются, в основном, для изготовления переменных резисторов. Однако, учитывая, то что в современной электронной аппаратуре используются сенсорные методы плавного регулирования энергетическими потоками, использование, и соответственно, производство таких резисторов в настоящее время уменьшается из-за их ограниченного применения.

Технический уровень и основные тенденции развития производства резисторов и резисторных компонентов, в первую очередь, определяются изделиями, имеющими уникальные параметры по временной и температурной стабильности сопротивления, по величине токовых шумов, по точности обеспечения номинального сопротивления и т.д. Такими уникальными характеристиками обладают прецизионные и суперпрецизионные резисторы, изготавливаемые по металлофольговой технологии. Точностные параметры и стабильность электрических и эксплуатационных характеристик металлофольговых резисторов находятся на уровне вто-

ричных эталонов сопротивления. Именно в этих резисторах достигаются в настоящее время рекордные характеристики, которые невозможно достичь за счет применения других технологий.

Разработка металлофольговых резисторов стала возможной благодаря глубокой научной проработке, использованию прогрессивных групповых технологий и специальных конструкторских и материаловедческих решений.

Прецизионные и суперпрецизионные металлофольговые резисторы определяют научно-технический прогресс в смежных областях, использующих эти изделия, и способствуют созданию прецизионной радиоэлектронной аппаратуры, приборов и комплексов для общепромышленного и военного назначения, отличающихся высокой точностью, стабильностью, надежностью и качеством.

Анализ рынка металлофольговых резисторов и основные тенденции развития данного направления резисторостроения приводятся в статье [4].

Тонкопленочная технология, также как и толстопленочная, обеспечивает разработку и производство широчайшей номенклатуры изделий, начиная от изделий общего применения, и заканчивая изделиями специального назначения, включая полупрецизионные и прецизионные резисторы. Но пожалуй наибольшее применение данная технология находит при производстве наборов резисторов как простых, так и специальных, в том числе и заказных.

Незаменимым является использование тонкопленочной технологии при производстве резистивных сеток типа R-2R, которые являются основным элементом любой цифро-аналоговой и аналогово-цифровой схемы (ЦАП и АЦП). Замены тонкопленочной технологии сегодня не существует, когда речь идет о прецизионных гибридных ЦАП и АЦП, которые сегодня имеют самые высокие метрологические характеристики для данного класса изделий.

Если говорить о точности и прецизионности тонкопленочных резисторов и резисторных компонентов, то в настоящее время изделия, изготавливаемые по данной технологии приближаются по уровню параметров к изделиям на основе металлофольговой технологии.

Пензенским научно-исследовательским институтом электронно-механических приборов за время его существования разработано более 250 типов резисторов и резисторных компонентов (рисунок 13), производство которых осуществляется. Он сегодня представляет собой по сути производственно - научную фирму. Российские предприятия резисторостроения, также выпускают резисторы разработанные НИИЭМП.

В настоящее время НИИЭМП располагает практически всеми резистивными технологиями и занимается разработкой и производством резисторов и резисторных компонентов различного назначения для использования в различных отраслях народного хозяйства и в интересах министерства обороны.



Рисунок 13 Номенклатура продукции НИИ электронно-механических приборов

На основе проведенного анализа рынка резисторов и резисторных компонентов и основных тенденций развития данной отрасли техники можно сделать следующие выводы:

Резисторы и резисторные компоненты являются самыми массовыми изделиями электронной техники.

Основная тенденция развития пассивных резистивных компонентов связана с миниатюризацией и суперминиатюризацией и созданием изделий для автоматизированного поверхностного монтажа.

Резисторы и резистивные компоненты имеют широчайшую гамму номенклатурно-параметрических рядов, удовлетворяющие жестким требованиям современного рынка радио-теле - аудио аппаратуры.

Практически вся выпускаемая в настоящее время резистивная компонентная база выпускается в блистер - упаковке, в специальных тарах, что позволяет осуществлять автоматизированный поверхностный и навесной монтаж данных компонентов на печатную плату.

ЛИТЕРАТУРА

1. Недорезов В.Г. Резисторы и резисторные компоненты// Электронные компоненты: М., №4, 2005, с. 29-31.
2. Недорезов В.Г. Подстроечные керметные резисторы. Часть 2 // Электронные компоненты: М., №6, 2005, с. 132-134.
3. Недорезов В.Г. Наборы керметных резисторов. Часть 3 // Электронные компоненты: М., №9, 2005, с.118-121.
4. Недорезов В.Г. Металлофольговые резисторы и наборы резисторов. Часть 4// Электронные компоненты: М., №6, 2005, с..