

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ, РЕЗИСТОРЫ И ИНДУКТИВНОСТИ БЛЕСТЯЩЕЕ БУДУЩЕЕ МИНИАТЮРНЫХ ПРЕЦИЗИОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

М.Гольцова

Пассивные компоненты играют важную роль в развитии электронной промышленности и электронного сообщества в целом. Каждая новая электронная функция, каждый новый полупроводниковый прибор предъявляют новые требования к параметрам пассивных компонентов. За многие годы крупные, средние и малые компании и предприятия, занятые в этой отрасли промышленности, накопили значительный опыт и научно-технические навыки в области разработки и производства пассивных компонентов, отвечающих требованиям конструкторов электронных систем. Промышленность успешно решает задачи уменьшения габаритов, повышения надежности и эффективности пассивных компонентов. В первую очередь, это относится к высококачественным специализированным приборам, в частности, к полимерным и гибридным конденсаторам, резисторам с высокой плотностью компоновки и сильноточным индуктивностям, которым в 2015 году уделяется особое внимание. Ведущие производители пассивных компонентов Vishay, Panasonic, Ohmite, Fair-Rite Products и Bourns активно осваивают производство новых пассивных приборов, которые смогут более полно удовлетворять требованиям инженеров-разработчиков электронных устройств.

СТРУКТУРА РЫНКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Пассивные электронные компоненты, относящиеся к классу специализированных приборов, – дорогостоящие изделия мелкосерийного производства, качество которых имеет первостепенное значение по отношению к стоимости. Они отличаются высокой операционной рентабельностью при наименьшей доле продаж на рынке пассивных компонентов (конденсаторов,

резисторов и индуктивностей) – примерно 13% мирового рынка по прогнозам на 2015 финансовый год (рис.1) [1]. Основные области применения специализированных компонентов – высоковольтные, высокочастотные, высокотемпературные, высоконадежные устройства и системы, работающие в неблагоприятных условиях окружающей среды. Их рынок формирует множество сегментов: подкопотных электронных устройств, специализированных источников питания и дросселей

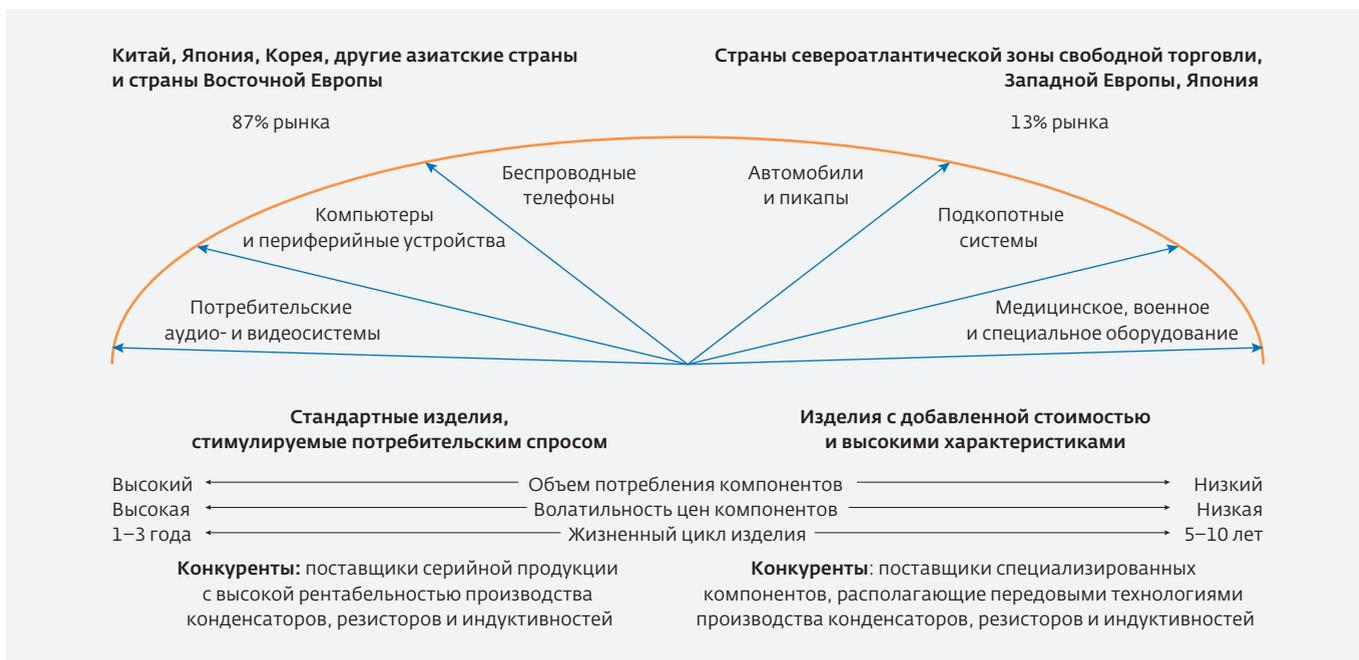


Рис.1. Структура рынка пассивных компонентов (по состоянию на 2015 финансовый год (данные компании Raumanok Publications, Inc)

средств освещения, систем военного и космического назначения, медицинской аппаратуры, сварочного оборудования, контрольно-измерительных систем, оборудования телекоммуникационной инфраструктуры, судовой электронной аппаратуры, устройств для железнодорожного транспорта, систем атомных электростанций, забойных насосов и нефтегазовых электронных установок. В основном рынки специализированных пассивных компонентов сосредоточены в США, Германии, Японии, Великобритании, Франции и Корее. При этом, как уже отмечалось, объемы отгрузок невелики, а цены высокие при низкой их волатильности.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ПАССИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

К высоковольтным пассивным компонентам относят мощные конденсаторы, резисторы и индуктивности, а также компоненты с номинальным значением напряжения постоянного тока 100 В и выше.

Высоковольтные конденсаторы

Наибольший объем продаж конденсаторов этого класса приходится на долю бескорпусных керамических приборов на напряжение 5 В. Уступают им по продажам однослойные дисковые и многослойные с радиальными выводами конденсаторы на напряжение от 5 до 20 В. Максимальное напряжение керамических конденсаторов "пуговичного" типа достигает ~ 100 кВ.

В июне 2015 года компания Vishay Intertechnology (один из крупнейших в мире поставщиков прецизионных

дискретных полупроводниковых приборов и пассивных электронных компонентов) объявила о создании новых импульсных керамических дисковых конденсаторов безопасности популярного семейства VY1. Импульсное напряжение новых приборов серии VY1 Compact уменьшенных габаритов достигает 10 кВ (рис.2). Емкость конденсаторов составляет от 470 до 4700 пФ при допуске ±20% и диапазоне рабочей температуры от -40 до 125°C. Конденсаторы на основе плакированного медью керамического диска диаметром 7,5 мм поставляются со стальными изогнутыми или прямыми выводами диаметром 0,6 мм и шагом 10 или 12,5 мм. Герметизированы они огнестойкой эпоксидной



Рис.2. Керамический дисковый конденсатор серии VY1 Compact

смолой в соответствии со стандартом 94 V-0 компании Underwriters Laboratories. Конденсаторы серии VY1 Compact рассчитаны на обеспечение высокой надежности систем Class X1 (напряжение переменного тока 760 В) и Y1 (напряжение переменного тока 500 В). Применяются в радиочастотных фильтрах и фильтрах переменного тока источников питания измерителей мощности и интеллектуальных счетчиков, в крупногабаритной бытовой и потребительской технике [2].

В высоковольтных приложениях, например в средствах городского транспорта, используются и алюминиевые электролитические конденсаторы больших размеров, рассчитанные на 500 В, тогда как танталовые конденсаторы до последнего времени редко можно было найти в высоковольтных устройствах. Правда, сейчас на рынке появляются высоковольтные танталовые конденсаторы, которые отличаются иммунитетом к шуму, генерируемому пьезоэлектрическими приборами, высокими стабильностью, надежностью и температурными характеристиками.

Благодаря этим свойствам возможно создание конденсаторов чрезвычайно низкого профиля и высокой механической прочности, что и доказала компания AVX, выпустившая в феврале 2015 года танталовый конденсатор серии 1206-06 TACmicroship емкостью 47 мкФ на напряжение 8 В с самым низким на сегодняшний день профилем – 0,6 мм (минимальная высота современных малогабаритных танталовых конденсаторов типоразмера 0402 составляет около 0,7 мм). Конденсаторы размером 3,4 × 1,8 мм можно размещать на печатной плате толщиной 0,8 мм или устанавливать в последних поколениях мобильных устройств чрезвычайно малой толщины. Новые конденсаторы поставляются с бессвинцовыми оловянными выводами. Диапазон рабочей температуры – от –55 до 125°C. Приборы предназначены для усилителей низкой частоты и мощности, а также для применения в качестве разделительного / развязывающего конденсатора в мобильных системах [3].

Достижения в области технологии танталовых конденсаторов привели к созданию приборов с твердым электролитом для медицинского оборудования, рассчитанного на напряжение до 300 В.

В последнее время особое внимание уделяется полимерным и гибридным конденсаторам, которые превосходят обычные электролитические и керамические компоненты по электрическим характеристикам, стабильности, сроку службы, надежности, безопасности и затратам в период эксплуатации. В конденсаторах этого класса электролитом служит проводящий полимер, который можно использовать и с жидким электролитом, формируя так называемый полимерный гибридный конденсатор [5].

Полимерные конденсаторы

Лишь немногие металлы образуют непрозрачные, стабильные, прочно удерживаемые на их поверхности изолирующие окислы. Это так называемые "вентильные" металлы, быстро теряющие электрическую проводимость. Но контролировать толщину окисла с помощью электрохимических средств можно лишь у некоторых таких металлов. Наиболее пригодны для формирования полимерных конденсаторов – алюминий и тантал.

Полимерные конденсаторы представляют собой электролитические приборы с твердым электролитом (катодом) на основе токопроводящего органического полимера, например, поли-3,4-этилендиокситиофен (PEDT) или полимеризованного органического полупроводника – комплексной соли тетрацианхинодимертана, (TCNQ).

Существуют четыре типа полимерных конденсаторов, включая гибридные. Материалы электролита и электродов, методы герметизации и области применения каждого из них различаются.

Пленочные полимерные алюминиевые конденсаторы с электролитом на основе проводящего полимера (сопротивление которого во много раз меньше, чем у используемого в обычных электролитических конденсаторах диэлектрика) и алюминиевым анодом, поверх которого выращивается слой окисла алюминия, служащий диэлектриком конденсатора (рис.3). Напряжение конденсаторов составляет от 2 до 35 В постоянного тока, значение емкости – от 2,2 до 560 мкФ. Отличительная особенность – весьма низкое эквивалентное последовательное сопротивление (ЭПС). Для конденсаторов семейства SP-CAP компании Panasonic этот параметр составляет 3 мОм (самое низкое значение для современных пленочных пассивных компонентов).

В начале 2015 года компания Panasonic выпустила монтируемые на поверхность высоковольтные

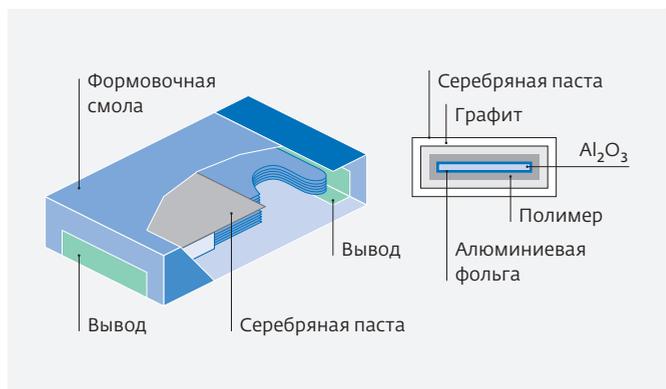


Рис.3. Пленочный полимерный алюминиевый конденсатор (а) и его структура (б)

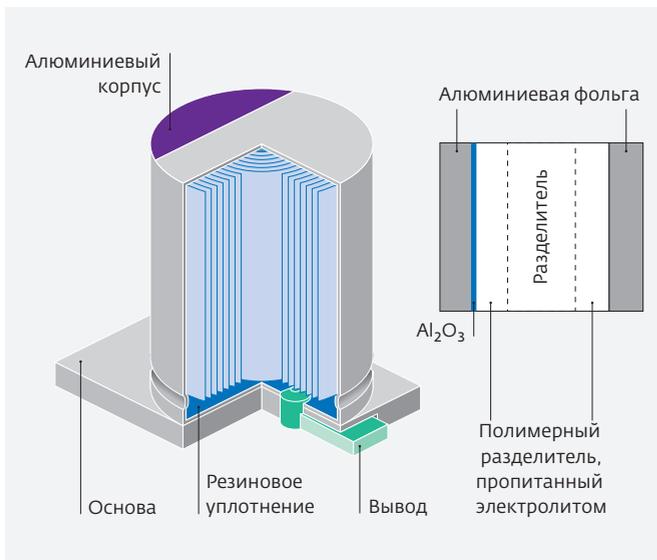


Рис.4. Цилиндрический полимерный алюминиевый конденсатор

конденсаторы серий EEF-SR/LR емкостью от 15 до 100 мкФ на напряжение от 10 до 35 В. Достоинство конденсаторов этих серий – малая высота (1 мм), благодаря чему они позволяют соблюдать малый зазор при монтаже на печатную плату. Перспективны для применения в носимых электронных устройствах, серверах, модемах и т.п. Минимальное значение ЭПС равно 4,5 мОм, среднеквадратичное значение допустимого тока пульсаций – 7,5–8,5 А, что указывает на устойчивость к высокому уровню нагрузки. Трехвыводная конструкция конденсаторов серии EEF-LR обеспечивает значение эквивалентной последовательной индуктивности (ЭПИ) ~0,5 нГн [4].

Цилиндрические полимерные алюминиевые конденсаторы также имеют электролит на основе проводящего полимера и алюминиевый анод с фольговой структурой (рис.4). Для конденсаторов этого типа семейства OS-CON (компании Panasonic) ЭПС не превышает 5 мОм. Алюминиевый анод большой площади обеспечивает большую емкость. Диапазон значений напряжения и емкости больше, чем у пленочных конденсаторов других типов: от 2,5 до 100 В и от 3,3 до 2700 мкФ соответственно. Конденсаторы этого типа пригодны для поверхностного монтажа.

Полимерные танталовые конденсаторы выполняются на основе полимерного электролита и синтезированного танталового анода. Токопроводящий полимер катодной системы формируется на слое оксида тантала, выращенного поверх пластины танталового анода. На катодную систему наносятся слои графита



Рис.5. Структура полимерного танталового конденсатора компании Vishay

и металлического серебра, обеспечивающие проводящую поверхность между пластиной и внешним выводом (рис.5).

Благодаря высокой диэлектрической постоянной оксида тантала (в три раза больше, чем у окиси алюминия), а также возможности выращивания чрезвычайно тонких пленок полимерные танталовые конденсаторы весьма привлекательны по показателю CV, определяющему возможные значения емкости при неизменном напряжении (чем больше показатель CV, тем больше емкость). Полимерные танталовые конденсаторы, герметизируемые формованным пластиком, относятся к самым малогабаритным приборам на рынке. Так, размер конденсатора семейства POSCAP M компании Panasonic – 2,0×1,25 мм. Номинальное напряжение конденсаторов рассматриваемого типа равно 1,8–35 В, емкость – 2,7–680 мкФ. Рабочее напряжение может составлять 80% номинального значения. ЭПС полимерных танталовых конденсаторов также мало: 5 мОм у конденсатора семейства POSCAP емкостью 220 мкФ на напряжение 6,3 В размером 7,3×4,3 мм и высотой 2,8 мм.

Полимерные танталовые конденсаторы перспективны для применения в преобразователях постоянного тока ноутбуков, "электронных помощников", телекоммуникационных систем и т.п. Однако до последнего времени относительно большие утечки и малое пробивное напряжение препятствовали широкому применению таких конденсаторов в высоконадежных аэрокосмических системах и аппаратуре военного назначения.

Усилия компании KEMET по совершенствованию полимерных танталовых конденсаторов привели

к созданию полимерных герметизированных (Polymer Hermetic Sealed, PHS) конденсаторов серии T550 с танталовым анодом, Ta_2O_5 -диэлектриком и катодом на основе проводящего органического полимерного электролита. Номинальное напряжение конденсаторов серии достигает 75 В (ведется разработка приборов на напряжение 125 В). Значение рабочего напряжения может составлять до 80% номинального. Постоянный ток утечки при комнатной температуре равен от 6,3 до 45,0 мкА. ЭПС конденсаторов стабильно при высоких температурах и в широком диапазоне частот. При комнатной температуре и частоте 100 кГц оно составляет от 90 до 200 мОм. Конденсаторы серии при 85°C, частоте 40 кГц и напряжении, равном 50% номинального значения, выдерживают среднеквадратичное значение тока пульсаций до 1750 мА. Значение емкости составляет от 20 до 820 мкФ при допустимых отклонениях 10 и 20% (символы К и М в маркировке соответственно). Диапазон рабочей температуры – от -55 до 105°C (ведется разработка конденсаторов с предельной рабочей температурой 125°C). Приборы отвечают требованиям стандарта MIL-PRF-39006 на термостабильность технических характеристик электролитических танталовых конденсаторов.

При создании конденсаторов серии были получены патенты в общей сложности на семь технологических процессов. Самый важный из них – F-Tech-процесс получения технически чистого тантала с низким содержанием кислорода и углерода (элементы, которые вызывают кристаллизацию диэлектрика на основе окисла материала анода). В выращенной на таком материале пленке оксида тантала отсутствуют такие дефекты, как трещины, поры и кристаллические оксиды.

Другая важная задача, решенная при разработке PHS-конденсаторов серии T550, – упрочнение механического соединения танталового проволочного вывода и анода. Любые дефекты такого соединения могут существенно повлиять на электрические свойства конденсатора и привести к ухудшению его надежности. Поскольку на диэлектрик наносился предварительно полимеризованный проводящий полимер PEDOT, для формирования соединения не требовалась локальная химическая реакция, что способствовало получению его высокого качества и, следовательно, повышению надежности конденсатора.

Конденсаторы серии T550 перспективны для применения в высоковольтных системах регулирования мощности: комбинированных преобразователях, устройствах фильтрации, вторичных источниках питания, способных поддерживать номинальный уровень напряжения при временном, полном или частичном отключении первичного источника, и системах с высоким током пульсаций. Высоконадежные приборы серии

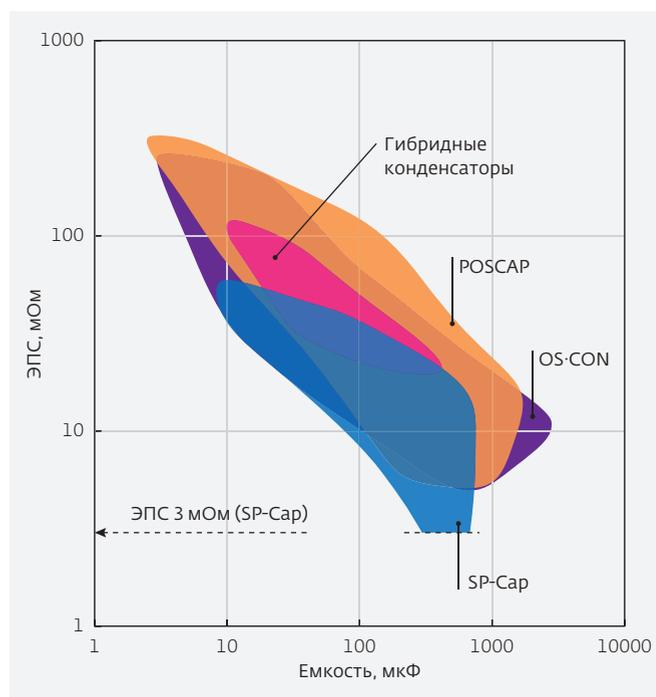


Рис.6. Зависимость ЭПС полимерных электролитических конденсаторов от емкости

пригодны для применения в военной технике и аэрокосмической аппаратуре [6].

Полимерные гибридные конденсаторы, как следует из их названия, имеют электролит, который сочетает жидкостную составляющую, выдерживающую высокое напряжение (до 80 В), и проводящий полимер, обеспечивающий низкое ЭПС (от 20 до 120 мОм). Правда, значение ЭПС больше, чем у других типов полимерных конденсаторов, но все же мало для таких высоковольтных компонентов. Емкость полимерных гибридных конденсаторов достигает 330 мкФ.

Миниатюризация электронных и электротехнических приборов, увеличение их рабочей частоты привели к росту популярности полимерных гибридных конденсаторов со стабильными электрическими характеристиками на высоких частотах. Но это не единственное достоинство полимерных конденсаторов этого типа. Они:

- малогабаритны: размер монтируемых на поверхность конденсаторов емкостью 47 мкФ на напряжение 35 В может составлять 6,3 × 5,8 мм. В результате замена ими алюминиевых электролитических конденсаторов позволяет экономить до 13% площади печатной платы;
- по надежности (долговечности, влагостойкости, допустимым значениям токов пульсаций) превосходят эквивалентные электролитические

Таблица 1. Технические характеристики полимерных гибридных конденсаторов серии HVK

Размер (диаметр×длину), мм	От 6,3×7,7 до 10×10
Срок службы, ч	4000 при 125°C 5000 при 105°C
Диапазон рабочей температуры, °C	-55...125
Номинальное напряжение, В	80 при 105°C
Емкость, мкФ	От 22 до 330
ЭПС, мОм	От 20 до 80 (при 100 кГц и 20°C)
Нормированный ток пульсаций, мА	От 500 до 2000 (при 100 кГц и 125°C) От 1500 до 2500 (при 100 кГц и 105°C)
Потери вследствие утечки постоянного напряжения или тока, В или мкА соответственно	<0,01 или 3

и полимерные конденсаторы. Электрические характеристики гибридных конденсаторов, прошедших испытания в отсутствие нагрузки и при среднеквадратичном значении тока пульсаций 1300 мА, оставались постоянными. При втрое большем токе пульсаций (3600 мА) они изменялись, но короткого замыкания не происходило;

- экономически эффективны. Замена гибридным конденсатором эквивалентного алюминиевого электролитического в источнике питания на напряжение 48 В за счет сокращения занимаемой площади печатной платы и гарантийных затрат, а также стойкости к большому току пульсаций приводит к уменьшению стоимости эксплуатации на 50% [5].

Перечисленные достоинства в полной мере реализованы в выпущенных в конце 2014 года компанией ELNA America (разработчик и производитель электролитических алюминиевых, полимерных и гибридных компонентов) монтируемых на поверхность полимерных гибридных конденсаторах серии HVK (табл.1). Изделия компании предназначены для источников питания электронных систем управления автомобильными двигателями, различных электроприводов, преобразователей постоянного тока, а также для импульсных источников питания высоконадежных установок, способных выдерживать высокое напряжение [7].

Малогабаритные высоковольтные мощные резисторы с повышенной плотностью компоновки

Уменьшение размеров микросхем для смартфонов, мобильных компьютеров и других малогабаритных систем потребовало более плотной компоновки

пассивных компонентов и увеличения их мощности. Таким образом, производители пассивных высоковольтных и мощных устройств при создании новых и совершенствовании существующих изделий должны отдавать предпочтение малогабаритным приборам, пригодным для высокоплотного монтажа.

Сегодня существует множество типов высоковольтных резистивных элементов. Номинальное напряжение толстопленочных резисторов, формируемых резистивной пастой на основе рутената со структурой пирохлора, равно 3 кВ. В системах, рассчитанных на напряжение до 8 кВ, используются толстопленочные резисторы с аксиальными и радиальными выводами

на основе оксида олова. В устройствах на 1 кВ предпочтение отдается тонкопленочным нихромовым резисторам.

К последним достижениям в области мощных малогабаритных резисторов относятся монтируемые на поверхность металлизированные пластинчатые резисторы серии WSLP0805...18 компании Vishay/Dale. Их характерные особенности – большая мощность (1 Вт) и малые габариты (корпус 0805 типоразмера 2,0×1,25 мм). Резисторы выполнены на основе нихрома или медно-марганцевого сплава с температурным коэффициентом сопротивления менее $20 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Запатентованная технология компании позволила создать резисторы с чрезвычайно низким сопротивлением – от 5 до 10 мОм. Индуктивность резисторов серии составляет 0,5–5 нГн, рабочая частота – до 50 МГц, термоздс – менее 3 мВ/°C, диапазон рабочей температуры – от -65 до 170°C. Уменьшение рассогласования коэффициентов теплового расширения резистора и печатной платы позволило снизить вероятность растрескивания контактов вследствие изменения температуры при эксплуатации.

Благодаря в восемь раз большей мощности, чем у обычных резисторов в корпусах типоразмера 0805 (рис.7), приборы WSLP0805...18 перспективны для применения в импульсных и линейных источниках питания, контрольно-измерительном оборудовании, усилителях мощности, автоматических электронных системах управления, преобразователях постоянного тока серверов, модулях регулировки напряжения и т.п. [8].

Самые высоковольтные резисторы – углеродистые пленочные с аксиальными выводами, рассчитанные на напряжение до 40 кВ.

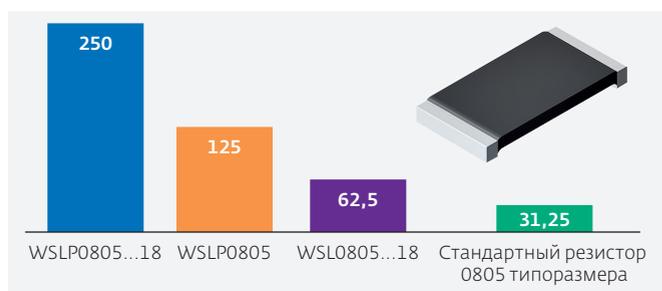


Рис.7. Плотность мощности (Вт/дюйм²) резисторов в корпусах 0805

Особое внимание сегодня уделяется тонкопленочным резисторам (в первую очередь, чип-резисторам для поверхностного монтажа, резисторным сборкам и интегрированным компонентам), спрос на которые, по оценкам компании Raumanok Publications*, в следующие пять лет существенно возрастет.

Тонкопленочные резисторы

Согласно данным компании Raumanok, в 2014 финансовом году мировой рынок тонкопленочных резисторов составил 183 млн. долл. Ведущие игроки в этом сегменте рынка – Vishay Intertechnology и IRC отделение перспективной пленочной технологии компании TT Electronics. Новые конкуренты – компания iPDiA (Франция), образованная в 2009 году на базе выделившегося из предприятия корпорации NXP в Кайене отделения, занимавшегося созданием

* Крупнейшая фирма, исследующая и консультирующая производителей пассивных электронных компонентов.

Таблица 2. Характеристики тонкопленочных чип-резисторов серии TNPV e3

Параметр	TNPV1206 e3	TNPV1210 e3
Корпус	1206	1210
Диапазон сопротивления, от кОм до МОм	от 160 до 2	от 121 до 3,01
Допуск сопротивления, %	±1; ±0,5; ±0,1	
Термический коэффициент сопротивления, 10 ⁻⁶ /К	±50; ±25; ±15; ±10	
Коэффициент изменения сопротивления в зависимости от напряжения, 10 ⁻⁶ /В	< 1	
Номинальная рассеиваемая мощность (при температуре 70°C), Вт	0,25	0,33
Максимальное рабочее напряжение, В	700	1000

интегрированных пассивных компонентов, и State-Of-The-Art (США), производитель высоконадежных толсто- и тонкопленочных резистивных компонентов для монтажа на поверхность и гибридных электронных приборов.

К движущим силам, способствующим росту рынка тонкопленочных резисторов, относятся:

- прецизионные характеристики;
- высокая удельная емкость;
- влагостойкость;
- устойчивость к воздействию серы;
- приемлемая рыночная стоимость.

Наибольшая потребность в тонкопленочных резисторах ощущается в сегментах медицинского оборудования, базовых станций систем беспроводной связи и целевых инфраструктур систем передачи данных. В результате увеличения объема производства тонкопленочных резисторов, особенно на Тайване и в Китае, по средней стоимости они становятся сопоставимы с толстопленочными резисторами (по мнению многих экспертов, в Китае цены уже равны). Производители тонкопленочных резисторов отмечают, что росту спроса на их продукцию способствуют и драматические колебания цен на рутений.

Основные материалы тонкопленочных резисторных микросхем – нихром, нанесенный на керамическую (Al₂O₃) подложку, нитрид тантала или силицид хрома, осажденные на кремниевую подложку.

Тонкопленочные нихромовые резисторы имеют намного лучшие характеристики и более прочную конструкцию в сравнении с толстопленочными решениями. В настоящее время наблюдается значительный рост произ-

водства нихромовых тонкопленочных резисторов и увеличение их поставщиков. В качестве примера приборов этого типа можно привести новые высоковольтные тонкопленочные чип-резисторы серии TNPV e3 компании Vishay/Draloric. Резисторы серии впервые сочетают такие прецизионные характеристики, как низкие коэффициент зависимости сопротивления от напряжения, от (<1 · 10⁻⁶/В) и термический коэффициент сопротивления (±10 · 10⁻⁶/К), а также жесткий допуск (до ±0,1%), при рабочем напряжении, равном 1 кВ (табл.2). Для сравнения: рабочее напряжение типичных тонкопленочных чип-резисторов аналогичных размеров составляет лишь 200 В.

Производство резисторов строго контролируется и соответствует инструкциям, установленным для обеспечения воспроизводимости получаемых результатов. Заданное значение сопротивления устанавливается путем создания в резистивном слое зигзагообразного углубления с помощью специального лазера без повреждения подложки.

Резисторы, поставляемые в корпусах типоразмеров 1206 (3,2×1,6 мм) и 1210 (3,2×2,5 мм), отличаются чрезвычайно высокой надежностью: при температуре 85°C и относительной

влажности 85% характеристики компонентов не изменяются в течение 1 тыс. ч. Стойкость к воздействию серы соответствует требованиям стандарта ASTM B 809.

Новые, соответствующие нормативам директивы RoHS, безгалогенные тонкопленочные резисторы перспективны для применения в любых современных электронных системах, требующих высокотемпературных приборов высокой точности, надежности и стабильности, а именно в преобразователях мощности и частоты для фотовольтаических и ветроэнергетических систем, систем электро- и гибридных электромобилей, средств управления электропитанием и освещением, а также в контрольно-испытательном оборудовании [9].

Тонкопленочные TaN-резисторы. К достоинствам резисторов этого типа относится возможность получения естественного защитного слоя (оксида тантала), предотвращающего коррозию при эксплуатации компонента в условиях высокой влажности. При этом не требуется выполнения специального технологического процесса. В результате тонкопленочные TaN-резисторы отличаются повышенной надежностью при работе во влажной среде и не требуют применения внешних покрытий или корпусов для обеспечения влагостойкости.

Компания Raumanok Publications прогнозирует рост спроса (в основном в США) на интегрированные TaN-резисторы для специализированных систем. Правда, длительный запрет на публикацию информации, касающейся их применения в аппаратуре военного назначения, затрудняет анализ рынка. Вместе с тем, развитию схем тонкопленочных TaN-резисторов способствует использование их в медицинском оборудовании, особенно в имплантируемых устройствах.

Свойственная TaN-резисторам естественная влагостойкость реализована в выпущенном в конце 2014 года компанией TT Electronics нерастворимом в воде (Water Insoluble Nitride, WIN) семействе (табл. 3) компонентов

Таблица 3. Характеристики TaN-резисторов семейства WIN

Параметр	Значение
Номинальная мощность, Вт	0,1–0,33
Диапазон сопротивления, от кОм до МОм	От 10 до 100
Максимальное напряжение постоянного тока, В	75–200
Допуск сопротивления, %	±0,1
Тепловой коэффициент сопротивления, 10 ⁻⁶ /°C	±25, ±50
Диапазон рабочей температуры, °C	От -65 до 150
Размер, мм	От 1,58×0,8 до 3,15×1,57

с высокими стабильностью характеристик и надежностью при эксплуатации во влажной и загрязненной среде. Параметры резисторов семейства при 85°C и относительной влажности 85% остаются стабильными в течение 2 тыс. ч. Влагостойкость сопротивления составляет $\pm 100 \cdot 10^{-6}$ [10].

В начале 2015 года компания Vishay сообщила о дополнении E/H-серии тонкопленочных танталовых резисторов, отвечающих требованиям стандарта MIL-PRF-55342, чип-резисторами с интенсивностью отказов T-уровня для ответственных космических приложений. ТКС монтируемых на поверхность резисторов серии E/H (T-level), входящих в перечень квалифицированных изделий (Qualified Product List, QPL) – основной системы установления качества производства пассивных компонентов для нужд Минобороны США, – составляет до $50 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (табл.4).

Тонкопленочные резисторы отвечают T-уровню качества и надежности, задаваемому стандартом MIL-PRF-55342, благодаря полному контролю и форсированным испытаниям на воздействие внешних факторов с целью обнаружения и отбраковки ранних дефектов в производимой партии. Проверяются также температурные характеристики резисторов, реакция

на кратковременные перегрузки и техническое состояние монтажа. Кроме того, резисторы серии E/H (T-level) отвечают требованиям стандарта ASTM-E595 по малому газовыделению в условиях высокого вакуума.

В качестве материала резистивного элемента используется запатентованный компанией влагостойкий пассивированный нихромом тантал – TAMELOX.

Предназначены резисторы для космических и коммуникационных систем с жесткими требованиями к рабочим характеристикам [11].

Сильноточные мощные индуктивности

Развитие сильноточных мощных элементов индуктивности, казалось бы, противоречит господствующей в электронной промышленности тенденции к созданию малогабаритных компонентов. Однако, несмотря на то, что разработчики сильноточных структур склонны прибегать к решениям (в том числе и к корпусам) увеличенного размера, изменения конструкций сотовых телефонов, дисковых накопителей и многих других современных электронных устройств потребовали применения малогабаритных индуктивностей с высокими характеристиками. К таким элементам по праву относятся выпущенные в мае 2015 года компанией Eaton, специализирующейся в области систем регулирования электропитания, сильноточные мощные индуктивности серии HCMA. Диапазон рабочей температуры HCMA-индуктивностей составляет от -55 до 125°C , что превышает требования стандарта Q200 Grade 3 Совета по автомобильной электронике (Automotive Electronics Council, AEC), задающего диапазон рабочей температуры систем

автомобилей от -40 до 85°C . В новой серии представлены пять экранированных моделей с сердечником из порошкового железа. Компоненты серии способны выдерживать высокий ток при малых потерях магнитной системы (табл.5), а также тепловые и ударные нагрузки, присущие автомобильной электронике, что способствует созданию перспективных систем содействия водителю и управления всевозможными электронными устройствами транспортного средства [12].

Продолжаются работы по уменьшению габаритов индуктивностей без ухудшения их максимального тока. И здесь интерес представляют и низкопрофильные сильноточные мощные индуктивности с сердечниками из порошкового железа серии IHNP, выпущенные компанией Vishay на рынок в мае 2015 года. Профили малогабаритных индуктивностей серии составляют 1,0 и 1,2 мм (табл. 6). Новые индуктивности, сочетающие высокий ток насыщения и малые размеры, перспективны для применения в преобразователях постоянного тока и модулях источников питания ноутбуков, мобильных телефонов, накопителей на жестких дисках, твердотельных накопителей, систем управления. Акустический шум индуктивностей на основе металлического сердечника невелик [13].

Важное условие для выполнения приборов с малыми размерами, но большими значениями тока – правильный выбор материала конструкции. В этом направлении ведут работы специалисты компании FDK (Япония), выпустившие в 2015 году, вслед за индуктивностями MCP2016D в 2014-м, новое поколение высоковольтных элементов серии MCP2016G с матричным расположением

Таблица 4. Стандартные параметры резисторов серии E/H (T-level)

Параметр	Значение	Условия измерения
Диапазон сопротивления, от Ом до МОм	От 10 до 6,19 (в зависимости от размера)	-
ТКС (абсолютное значение), $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	25 (тип E); 50 (тип H)	От -55 до 125°C
Допуск (абсолютное значение), %	$\pm 0,1$	При 25°C
Стабильность ΔR (абсолютное значение), %	$\pm 0,02$	2 тыс. ч при 70°C
Коэффициент напряжения, $10^{-6}/\text{В}$	$< 0,1$	-
Рабочее напряжение, В	От 40 до 125	-
Диапазон рабочей температуры, $^{\circ}\text{C}$	От -55 до 150	-
Диапазон температуры хранения, $^{\circ}\text{C}$	От -55 до 150	-
Коэффициент шума, дБ	< -25	-
Термоэдс, мкВ/ $^{\circ}\text{C}$	$< 0,1$	-
Стабильность при хранении ΔR (абсолютное значение), %	$\pm 0,01$	Один год при 25°C

Таблица 5. Характеристики индуктивностей серии НСМА

Марка	Размер, мм	Диапазон индуктивности незамкнутого контура, нГн	Диапазон тока насыщения, А	Сопротивление постоянному току, мОм	Рабочая частота, МГц
НСМА1104	11,5×10,3×4	0,2-10	8,5-45	0,63-27,0	5
НСМА1305	13,8×12,5×5	0,1-33	8-118	0,52-74,5	5
НСМА1707	17,5×17,2×7	1,5-68	5,2-40	1,85-74	5
НСМА0503	5,5×5,3×3	0,2-15	2,1-21	2,1-138	1
НСМА0703	7,4×7×3	0,15-33	2,0-52,0	1,90-220	5

контактных площадок (LGA-структура), выполненных по "ферритовой технологии" компании. Разработать ферритовую технологию, усовершенствовать технологию формирования схем на магнитных элементах и процессы изготовления индуктивностей с высокой эффективностью преобразования для схем питания высокочастотных устройств специалистов побудило увеличение потерь индуктивностей с металлическим сердечником на вихревые токи при высоких частотах.

Предельно допустимый ток нового поколения индуктивностей того же размера, что и МСР2016D (2,0×1,6 мм

при максимальной высоте 1,0 мм), увеличен на 30%. На столько же уменьшены потери сердечника. Малые габариты обеспечивают их более плотный, чем обычных компонентов, монтаж и позволяют уменьшать толщину модулей, в которых они используются. Индуктивность компонентов серии МСР2016G на частоте 1 МГц составляет 0,47–2,2 нГн, сопротивление постоянному току – 30–150 мОм, значения номинального тока при увеличении рабочей температуры на 40°C из-за саморазогрева и изменения индуктивности на 30% – 4,0–1,7 и 5,5–1,7 А соответственно.

Таблица 6. Характеристики элементов индуктивности серии ИННР

Параметр	ИННР-0806АВ-01	ИННР-0806АЗ-01	ИННР-1008АВ-01	ИННР-1008АЗ-01
Тип корпуса	0806	0806	1008	1008
Высота, мм	1,2	1,0	1,2	1,0
Диапазон значений индуктивности, мкГн	От 0,22 до 2,2	От 0,22 до 2,2	От 0,47 до 10	От 0,24 до 4,7
Сопротивление постоянному току, мОм среднее значение максимальное значение	От 13 до 133 От 16 до 155	От 15 до 132 От 19 до 158	От 20 до 390 От 24 до 468	От 12,5 до 240 От 15 до 288
Средняя сила тока, А	От 1,8 до 5,3	От 2,0 до 5,2	От 1,1 до 4,5	От 1,4 до 5,0
Ток насыщения, А	От 1,9 до 5,8	От 2,1 до 5,2	От 1,2 до 4,8	От 1,4 до 4,9
Диапазон рабочей температуры, °С	-55...125			

Новое поколение индуктивностей предназначено для смартфонов, терминалов планшетных компьютеров и цифровых фотокамер, а также для модулей портативных источников питания, носимых устройств, систем Интернета вещей [14].

* * *

По мере роста спроса различных отраслей промышленности на малогабаритные электронные устройства с прочной конструкцией и повышенными характеристиками потребность в пассивных компонентах не будет снижаться. Для инвестирования в развитие технологий, способных обеспечить такие потребности необходимы усилия как изготовителей, так и оптовых компаний. Сегодня многие поставщики пассивных компонентов все меньше внимания обращают на создание приборов с низкой стоимостью для беспроводных телефонов, компьютеров и телевизоров и сосредотачивают внимание на разработке изделий для нишевых сегментов рынка, доходы от которых высоки, а стоимость по значимости уступает их качеству и надежности. В результате многие небольшие компании остаются прибыльными даже в трудных экономических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Zogbi D.M.** Specialty Components: A Fragmented and Profitable Sub-Segment of the Worldwide Passive Component Industry. – www.ttiinc.com/object/me-zogbi-20150604.html.
2. New Vishay Intertechnology Ceramic Disc Capacitors Increase Reliability and Save Space With High Pulse Strength to 10 kV in Reduced Sizes. – www.vishay.com/company/press/releases/2015/150626VY1CCeramicDisc.
3. **O'Gorman S.** Capacitor exhibits high CV performance in a thin package. – www.avx.com/docs/techinfo/highcvtant.pdf.
4. SP-Cap Capacitors – EEF-SR/LR Series. – na.industrial.panasonic.com/whats-new/sp-cap%E2%84%A2-capacitors-eef-srlr-series.
5. Understanding Polymer and Hybrid Capacitors. – www.mouser.com/pdfdocs/Panasonic_Capacitors_WP_final.PDF.
6. Bringing the benefits of polymer tantalum capacitors to high-voltage, high-reliability markets. – www.kemet.com/Lists/TechnicalArticles/Attachments/204/2014—09—30_Benefits_of_KEMET_Polymer_Technology.pdf.
7. New 80V of HVK, 125deg C, 4000h Development of Surface Mount Type (SMD) Conductive Polymer Hybrid Aluminum Electrolytic Capacitors. – www.elna.co.jp/en/news/2015/pdf/150417.pdf.
8. Vishay – New resistor offers 8x power dissipation of other 0805 package devices (WSP0805) – www.electropages.com/2015/07/vishay-resistor-offers-8x-power-dissipation-0805-package-devices/.
9. High Voltage Thin Film Flat Chip Resistors. – www.vishay.com/docs/28881/tnpve3.pdf.
10. Water Insoluble Nitride Thin Film Precision Chip Resistors. – www.ttelectronicsresistors.com/datasheets/WIN.pdf.
11. Vishay Intertechnology Enhances E/H Series MIL-PRF-55342-Qualified Thin Film Resistors With "T" Level Failure Rate. – www.em.avnet.com/en-us/design/productnews/Pages/Vishay-Intertechnology-Enhances-EH-Series-MIL-PRF-55342-Qualified-Thin-Film-Resistors-With-T-Level-Failure-Rate.aspx.
12. Eaton Launches Automotive Grade Coiltronics HCMA Series High Current Power Inductors to Enhance Electronic System Reliability. – www.cooperindustries.com/content/public/en/bussmann/electronics/products/coiltronics_inductorandtransformermagnetics/auto-grade-mags/hcma.html.
13. Vishay Intertechnology's New Low-Profile, High-Current Power Inductors Feature Powdered Metal Cores for High Saturation Currents to 5.8 A. – www.vishay.com/company/press/releases/2015/150527SeriesInductors.
14. FDK developed the next-generation high power inductor. – www.fdk.com/whatsnew-e/release20150519-e.html.