

# Высоковольтные полимерные танталовые конденсаторы AVX серии TCJ для поверхностного монтажа

Александр САМАРИН

Корпорация AVX ([www.avx.com](http://www.avx.com)), один из ведущих мировых производителей, расширила серию TCJ полимерных танталовых конденсаторов для поверхностного монтажа высоковольтными моделями, рассчитанными на номинальное напряжение до 125 В.

## Введение

Выбор полимерных танталовых конденсаторов в первую очередь обусловлен их оптимальными электрическими параметрами, высокой механической стабильностью и надежностью.

За последние 15 лет танталовые полимерные конденсаторы получили широкое распространение благодаря значительному увеличению диапазонов емкости и рабочего напряжения (CV), а также низкому эквивалентному последовательному сопротивлению (ESR). Однако номинальное напряжение ( $V_{ВД}$ ) танталовых полимерных конденсаторов до недавнего времени было ограничено 20 В, что сужало область их применения. Увеличение толщины диэлектрика в структуре конденсатора не позволяло значительно увеличить номинальное напряжение. При этом уменьшалась и емкость конденсатора.

Разработка новых проводящих полимерных материалов и технологий дала возможность повысить порог номинального напряжения для конденсаторов данного типа. AVX является признанным лидером в этом секторе рынка, и с разработкой новой серии TCJ танталовых полимерных конденсаторов компания укрепила свои позиции.

На рис. 1 показаны основные этапы разработки серии TCJ танталовых полимерных конденсаторов для поверхностного монтажа компании AVX.

На первом этапе разработки серии TCJ (до 2010 года) компания использовала стандартную технологию полимерных танталовых конденсаторов, которая обеспечила номинальное напряжение конденсаторов до 25 В. Совершенствование технологии позволило уже в 2010 году повысить порог номинального напряжения конденсаторов этой серии до 50 В. В декабре 2010 года разработка танталовых полимерных конденсаторов компании AVX с номинальным на-

пряжением 50 В была отмечена престижной премией Elektra «Лучший продукт года» в секторе пассивных и электромеханических компонентов. А в течение 2011 года удалось повысить порог номинального напряжения сначала до 75 В, а затем и преодолеть рубеж

в 100 В. Прохождение 100-В рубежа является значительным достижением в технологии. Массовое производство высоковольтных танталовых полимерных конденсаторов серии TCJ с номинальным напряжением до 125 В было освоено компанией в 2012 году.

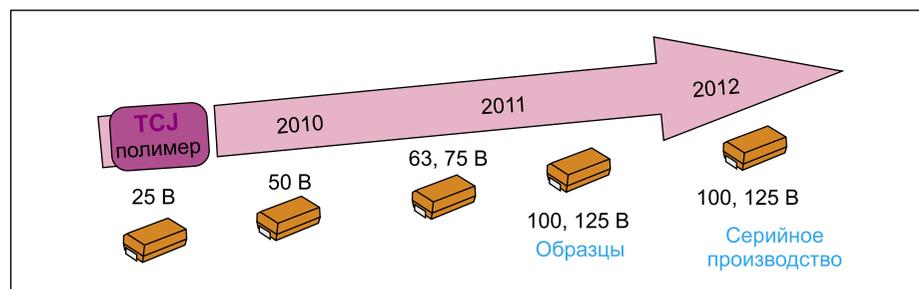


Рис. 1. Этапы разработки серии полимерных танталовых конденсаторов TCJ

## О компании AVX

Компания AVX является лидером в производстве и поставке пассивных компонентов и разъемов. AVX в 1972 году начала производство керамических конденсаторов, будучи дочерним предприятием корпорации Aerovox. В свою очередь Aerovox была образована в 1922 году, тогда она носила название Radiola Wireless Corporation. (Судя по названию, эта компания производила радиоприемники.) В июне 1973 года AVX становится самостоятельной компанией. AVX имеет 26 заводов в 12 странах, где трудится 21 000 человек. Объем продаж составляет \$2,6 млрд.

AVX в настоящее время является дочерней компанией корпорации Kyosera (японский производитель электронных компонентов). Компания ATC (American Technical Ceramics Corp.), производитель высоконадежных конденсаторов, резисторов и индуктивностей, в свою очередь является дочерним предприятием AVX.

Основные исследования ведутся в лабораториях США, Северной Ирландии, Англии, Франции и Израиля. Продукция AVX используется в таких сферах, как телекоммуникация, радиолокация / радионавигация, автомобилестроение, бытовая электроника, военная техника, железнодорожный транспорт, промышленность и медицина. В частности, компоненты AVX используются в блоках управления двигателем, на передней панели, в управлении подушкой безопасности, а также в других электронных блоках автомобилей ведущих мировых производителей. Они широко применяются в изделиях, требующих высокой надежности используемых компонентов, а именно в медицинской технике, а также в продукции космического назначения.

AVX постоянно инвестирует в НИР, является обладателем множества патентов. Компания TPC — это подразделение AVX, занимающееся разработкой и выпуском пленочных чип- и силовых конденсаторов, а также керамических высоковольтных конденсаторов. Большая часть выпускаемых пленочных конденсаторов TPC разрабатывается для преобразовательной техники. Основными потребителями продукции AVX являются такие производители, как Motorola, Nokia и Robert Bosch GmbH.

Высоковольтные танталовые полимерные конденсаторы обладают рядом преимуществ, которые выделяют их среди продукции конкурентов:

- Повышенная емкость.
- Повышенное номинальное напряжение.
- Компактные исполнения корпусов.
- Низкое эквивалентное последовательное сопротивление (ESR).
- Электрод из проводящего полимера уменьшает риск пробоя конденсаторов.
- Отсутствие сильного окислителя в структуре ( $MnO_2$ ) значительно уменьшает взрывоопасность конденсатора.
- Конденсаторы этой серии устойчивы к термическим ударам при пайке и позволяют без потери качества и надежности производить до трех перепаек при температуре  $+260\text{ }^\circ\text{C}$ .

### Конструкция танталовых конденсаторов для поверхностного монтажа

Структура танталового конденсатора для поверхностного монтажа содержит активную зону и формованные выводы (рис. 2). Активная зона состоит из анода, диэлектрического слоя и катода.

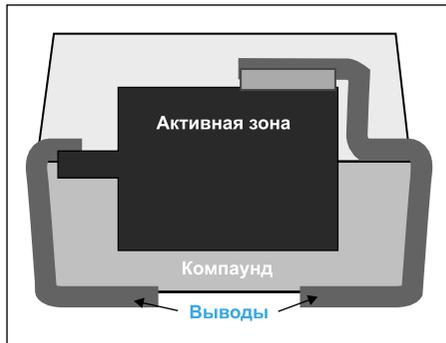


Рис. 2. Конструкция танталового конденсатора для поверхностного монтажа

Анод формируется из мелкодисперсного прессованного порошка тантала с размером частиц от 30 до 300 микрон, имеющего более развитую поверхность и, соответственно, обеспечивающего более высокий исходный удельный заряд конденсатора. На рис. 3 показана структура анодной поверхности. Диэлектрик — пятиокись тантала ( $Ta_2O_5$ ). Диэлектрическая пленка покрывает всю поверхность анода. В качестве катода в конденсаторах, изготавливаемых по традиционной технологии, используется полупроводниковый материал — двуокись марганца ( $MnO_2$ ). В полимерных танталовых конденсаторах в качестве катода используется полимерный проводящий материал.

Емкость конденсатора определяется свойствами диэлектрика и активной площадью катода. Чем тоньше диэлектрик, тем больше можно получить емкость. Однако с умень-

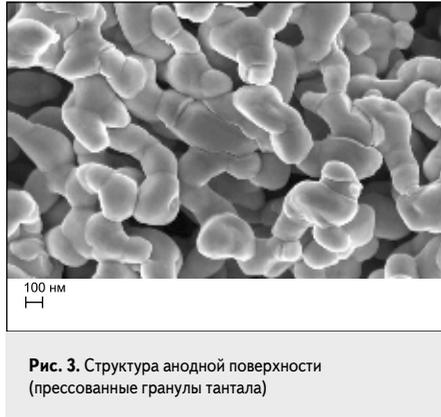


Рис. 3. Структура анодной поверхности (прессованные гранулы тантала)

шением толщины диэлектрика снижается и пробивное напряжение, а также повышается риск пробоя вследствие неравномерности диэлектрика по активной поверхности. Плотность емкости определяется отношением активной площади (площадь диэлектрика) к объему конденсатора. Чем больше площадь и тоньше диэлектрик — тем больше плотность емкости. Площадь определяется структурой и топологией анода и катода. Надежность конденсатора в большей степени зависит от качества и стабильности диэлектрического слоя. С поведением диэлектрика связаны явления пробоя, уменьшения емкости, а также ток утечки конденсатора.

### Недостатки танталовых конденсаторов с $MnO_2$ катодом

Танталовые конденсаторы с катодом на основе  $MnO_2$  имеют два существенных недостатка: чувствительность к пробое диэлектрика и возгоранию, а также высокий уровень ESR, по сравнению с конденсаторами, изготовленными по другим технологиям. Оба недостатка связаны с единственной проблемой используемого в танталовых конденсаторах материала катода, а именно двуокиси марганца ( $MnO_2$ ). Высокое содержание кислорода, непременно присутствующего в структуре материала  $MnO_2$  катода, приводит к образованию потенциальных локальных очагов для возгорания, и при определенных условиях может происходить пробой диэлектрика с выделением большого количества тепла. Двуокись марганца является

сильным окислителем, а порошок тантала — активным химическим элементом.

Низкая проводимость полупроводникового материала  $MnO_2$  в большей степени и определяет величину ESR конденсатора. Более низкий ESR можно получить, используя технологию многоанодных конденсаторов, однако это усложняет технологию и увеличивает их стоимость. Тем более что низкая проводимость  $MnO_2$  не позволяет значительно уменьшить ESR.

Формовка катода из двуокиси марганца производится при высоких температурах, что вызывает температурный стресс структуры конденсатора и приводит к возникновению потенциальных очагов для образования дефектов. Исследования показали, что существенный вклад в увеличение дефектности структуры конденсатора происходит за счет повреждения диэлектрического слоя при монтаже конденсатора в процессе пайки. Повреждение возникает в результате механического напряжения вследствие различных коэффициентов термического расширения материалов структуры конденсатора. Физические свойства слоя  $MnO_2$  играют главную роль в этом процессе, поскольку материал очень жесткий и напрямую контактирует с диэлектриком.

### Процесс пробоя в танталовых конденсаторах

При локальном пробое диэлектрика происходит резкое увеличение тока и сильное разогревание конденсатора. Высвобождение кислорода из диоксида марганца при нагревании вызывает бурную окислительную реакцию порошка тантала, которая приводит к воспламенению и взрыву конденсатора, следствием чего может стать возгорание аппаратуры.

### Надежность и номинальное напряжение

Долговечность и надежность работы танталовых конденсаторов для поверхностного монтажа определяются многими факторами. Высокая рабочая температура, наличие режима с большими импульсными токами, работа при напряжениях, близких к номи-

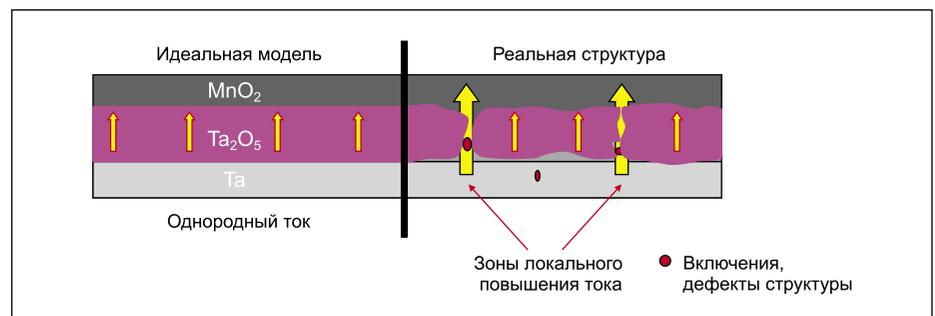


Рис. 4. Структура слоев танталового конденсатора и характер дефектов

нальному значению, — все это в значительной степени снижает долговечность и надежность конденсатора. Номинальное напряжение устанавливается с необходимым запасом по отношению к электрической прочности диэлектрика, что исключает возникновение в течение гарантированного срока службы интенсивного старения диэлектрика, которое приводит к существенному ухудшению электрических характеристик конденсатора. Правильный выбор конденсатора, соответствующего рабочим режимам эксплуатации, позволяет реализовать высокий потенциал надежности танталовых конденсаторов для поверхностного монтажа.

Эксперты проводили многолетний анализ надежности танталовых конденсаторов. Надежность в первую очередь определяется вероятностью пробоя конденсатора при воздействии скачков напряжения. Поэтому для повышения надежности работы танталовых конденсаторов с катодом из  $MnO_2$  эксперты рекомендовали использовать конденсаторы с номинальным напряжением, превышающим рабочее не менее чем на 50%. Для особо ответственных приложений рекомендуется выбирать конденсаторы с номинальным напряжением, вдвое превышающим уровень рабочего напряжения. Учитывая то, что обычные танталовые конденсаторы имеют номинальное напряжение не более 50 В, это серьезно ограничивает область их применения. Кроме того, конденсаторы с более высоким номинальным напряжением имеют большие размеры по сравнению с конденсаторами той же емкости, но с меньшим номинальным напряжением. К тому же они дороже.

### Технология полимерных танталовых конденсаторов

Однако в конце 1990-х годов эти недостатки танталовых конденсаторов для поверхностного монтажа стали преодолевать, заменяя полупроводниковый материал катода ( $MnO_2$ ) полимером с собственной проводимостью. Применение полимерного материала анода в первую очередь было нацелено на устранение двух базовых недостатков традиционной технологии танталовых конденсаторов — высокого ESR и склонности к пробоям диэлектрика при скачках напряжения. При замене жесткого  $MnO_2$  на более эластичный проводящий полимерный материал исследователи обнаружили, что состояние диэлектрика после монтажа практически остается неизменным. Устранение риска пробоя за счет только одного исключения материала  $MnO_2$  дает возможность уменьшить необходимый запас по напряжению конденсатора. И следовательно, увеличить ресурс и надежность конденсатора. Конденсаторы с меньшим номинальным напряжением имеют меньшие габариты.

Эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора определяется сопротивлением как выводов, так и внутрен-

ней структуры (анода, катода и диэлектрика). Такой полимер имеет проводимость в 1000 раз большую, чем проводимость  $MnO_2$ . Следовательно, сопротивление полимерного проводящего катода также будет существенно ниже, что и обеспечит меньшее значение ESR. Кроме того, в структуре полимера отсутствует кислород — основной потенциальный источник для развития дефектов, приводящих к пробоям конденсатора.

В танталовых конденсаторах нашли применение следующие типы проводящих полимеров:

- тетрацианохинодиметан (tetracyano-quinodimethane, TCNQ);
- полианилин (polyaniline, PANI);
- полипирол (polypyrrole, PPy);
- полиэтилендиокситиофен (polyethylenedioxythiophene, PEDOT).

Наибольшее практическое применение для изготовления конденсаторов получил полимер последнего типа.

В первых разработках технология с полимерным катодом обеспечивала номинальное рабочее напряжение лишь до 19 В, что ограничивало область применения конденсаторов этого типа, однако позволяло устранить высокий риск пробоя и возгорания конденсаторов.

### Надежность и запас по номинальному напряжению

В последние годы проводились многочисленные исследования для оценки надежности и долговечности танталовых полимерных конденсаторов по сравнению с танталовыми конденсаторами с катодом на  $MnO_2$ . Исследования подтвердили высокую стабильность параметров и устойчивость полимерных танталовых конденсаторов к пробоям при импульсных бросках напряжения и воздействию температуры. В процессе испытаний тысяча компонентов работала при температуре 85 °С и напряжении 35 В свыше 2000 часов. Измерения начинали проводить сразу же после монтажа конденсаторов на тестовой плате. Параметры конденсаторов контролировали после наработки 250, 500, 1000 и 2000 часов. После 2000 часов наработки не было отмечено деградации свойств диэлектрика, а ток утечки даже уменьшился со временем. Кроме того, значение ESR сохранялось стабильным в течение всего испытания (2000 часов). Испытания показали, что для обеспечения достаточного уровня надежности полимерного танталового конденсатора уровень запаса по номинальному напряжению может быть снижен до уровня 20% от рабочего напряжения в реальной схеме устройства и даже меньше (в зависимости от производителя и диапазона напряжения). Было доказано, что надежность полимерного конденсатора, работающего с запасом напряжения 20%, такая же, как и для танталового конденсатора на  $MnO_2$ , работающего в схеме с запасом по номинальному напряжению на уровне 50%.

### Технология высоковольтных полимерных танталовых конденсаторов

Долгое время для конденсаторов этого типа не удавалось обеспечить номинальное напряжение выше 20 В. Это ограничение оставалось слабым местом перспективной технологии и сдерживало применение танталовых полимерных конденсаторов в импульсных преобразователях напряжения.

Основная причина проблемы — уменьшение эффективной толщины диэлектрического слоя в полимерных танталовых конденсаторах. Предположительно, на границе полимера с диэлектриком образовывалась паразитная диодная структура. Повышение номинального напряжения полимерных танталовых конденсаторов было обеспечено за счет совершенствования технологии анодной и катодной структуры.

Если ранее процесс полимеризации гранул полимерного исходного материала происходил по месту, то в новой технологии используется предварительная полимеризация исходного материала перед формированием катода, что и обеспечило стабильные и однородные свойства по всей поверхности. Ключевой технологией для повышения номинального напряжения полимерных танталовых конденсаторов стала модификация процесса формирования анода, позволяющая получить равномерное распределение напряжения по всей поверхности анода в процессе работы. Разработка новых технологий позволила повысить границу допустимого номинального напряжения полимерных танталовых конденсаторов до 100 В и выше.

Технические характеристики конденсаторов серии TCJ:

- Доступный диапазон номиналов: 0,47–470 мкФ.
- Номинальное напряжение: от 2,5 до 125 В.
- Разброс значения емкости от номинального: не более 20%.
- Рабочий температурный диапазон: –55...+125 °С.
- 16 типов корпусов: А–J.
- Интенсивность отказов: 1% на 1000 ч при +85 °С и номинальном напряжении.

### Система обозначений для конденсаторов серии TCJ

В отличие от обычных танталовых конденсаторов для поверхностного монтажа для надежной работы в схеме рекомендуется иметь запас всего 20% по номинальному напряжению, что значительно расширяет диапазон применения конденсаторов (рис. 6). Эти уникальные возможности полимерной танталовой технологии открывают дорогу для новых применений и обеспечивают разработку нового поколения источников питания с большей надежностью при меньших габаритах.

<b>TCJ</b>	<b>A</b>	<b>226</b>	<b>M</b>	<b>004</b>	<b>R</b>	<b>0300</b>
Серия	Тип корпуса	Код номинальной емкости	Разброс емкости, M = ±20%	Рабочее напряжение, В	Упаковка R — катушка 7" S — катушка 13"	ESR, мОм
		Первые две цифры: номинал (в пФ)  Третья цифра — множитель (число нулей)		002 = 2,5 004 = 4 006 = 6,3 010 = 10 016 = 16 020 = 20 025 = 25 035 = 35 050 = 50 063 = 63 075 = 75 100 = 100 125 = 125		

Рис. 5. Система обозначений для конденсаторов серии TCJ

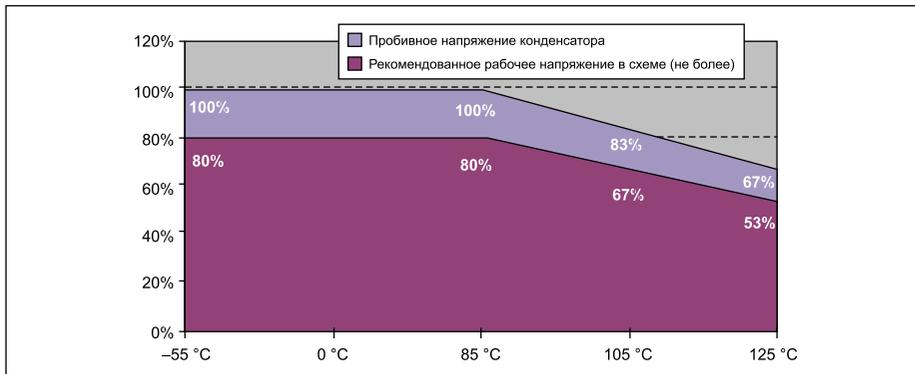


Рис. 6. Рекомендованные границы запаса по напряжению в зависимости от температуры для серии полимерных танталовых конденсаторов TCJ

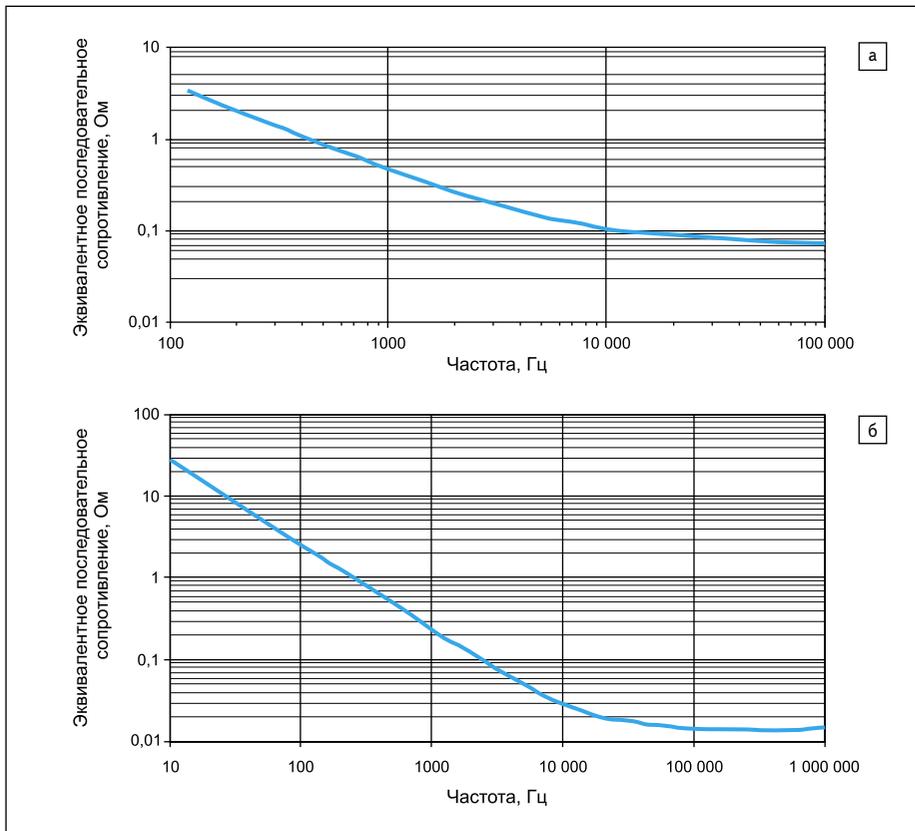


Рис. 7. Зависимость ESR от частоты:  
а) для одноанодных полимерных танталовых конденсаторов (10 мкФ, 63 В, корпус E);  
б) для мультианодного полимерного конденсатора с номиналом 22 мкФ, 35 В (ESR на частоте 100 кГц составляет всего 15 мОм)

**Характеристика ESR (эквивалентное последовательное сопротивление)**

Эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора определяется проводимостью материалов анода и катода, свойствами диэлектрика на высоких частотах, а также сопротивлением выводов конденсатора. Самое низкое значение ESR можно получить, используя технологию многоанодных полимерных конденсаторов. Стандартные танталовые конденсаторы, например с емкостью 15 мкФ в корпусе 7343-43 (7,3×4,3×4,3 мм), имеют типовое значение ESR около 700 мОм. Танталовые конденсаторы Low-ESR на базе катодного материала MnO<sub>2</sub> обеспечивают ESR на уровне 200 мОм. Более дорогие мультианодные танталовые конденсаторы (MAT) при том же значении емкости и в таком же корпусе имеют ESR до 75 мОм. Полимерные танталовые конденсаторы серии TCJ, в зависимости от типа корпуса, обеспечивают уровень ESR до 40 мОм. При этом они обеспечивают большую надежность и долговечность: это немаловажный аргумент при выборе соответствующего конденсатора. Дополнительным преимуществом является и то, что конденсаторы серии TCJ обеспечивают низкий ESR, сравнимый с другими типами конденсаторов Low-ESR при меньших размерах корпуса.

**Зависимость ESR от частоты**

Основная область применения танталовых конденсаторов — емкостный фильтр в импульсных источниках питания и преобразователях напряжения. Рабочие частоты современных импульсных преобразователей составляют сотни кГц и единицы МГц. Эффективность емкостного фильтра определяется его значением ESR на высокой частоте.

На рис. 7 показаны частотные зависимости ESR одноанодных и многоанодных полимерных танталовых конденсаторов.

Полимерные одноанодные конденсаторы имеют даже чуть меньшие значения ESR, чем более дорогие многоанодные (MAT) танталовые MnO<sub>2</sub> конденсаторы, которые вдобавок имеют и большие размеры при той же емкости.

Результаты испытаний продемонстрировали превосходные характеристики ESR полимерных танталовых конденсаторов в типовом диапазоне работы импульсных преобразователей напряжения от 200 до 800 кГц.

**Зависимость емкости от частоты**

Типовые (одноанодные) танталовые конденсаторы, а также танталовые конденсаторы с низким ESR, использующие MnO<sub>2</sub> катод, работая на частоте 300 кГц, теряют 67 и 40% емкости соответственно. Многоанодные танталовые конденсаторы на этой же частоте теряют только 14% начальной емкости. Конденсаторы с полимерным проводящим анодом демонстрируют аналогичные свой-

ства, теряя всего 13% емкости от номинала на частоте 300 кГц.

#### **Зависимость емкости от температуры**

Зависимость емкости от температуры сохраняется неизменной при использовании полимера вместо  $MnO_2$ , поскольку в основном определяется свойствами диэлектрического слоя, а они остаются теми же самыми.

#### **Области применения**

Основные области применения высоковольтных полимерных танталовых конденсаторов серии TСJ:

- телекоммуникационное оборудование;
- DC/DC-преобразователи;
- драйверы питания светодиодов;
- преобразователи питания и драйверы питания светодиодов подсветки ЖК-телевизоров.

#### **Источники питания**

##### **для светодиодных светильников**

Светодиодное освещение находит в настоящее время широкое применение. В источниках питания средней и высокой мощности используется топология с последовательным соединением цепочки светодиодов.

Типовой диапазон рабочих выходных напряжений драйверов для такой топологии светодиодов — 28–60 В. Высоковольтные полимерные танталовые конденсаторы очень хорошо подходят для этого приложения. Для выходного напряжения 50 В могут использоваться конденсаторы с номинальным напряжением 63 В, а для 60 В — с номинальным напряжением 75 В. Следует добавить, что в полимерных танталовых конденсаторах не проявляется пьезоэффект, присущий керамическим конденсаторам и приводящий к акустическому шуму и даже возникновению короткого замыкания обкладок конденсатора. Другим преимуществом полимерных танталовых конденсаторов, по отношению к керамическим, является их большая механическая стойкость. При больших номинальных напряжениях танталовые полимерные конденсаторы можно также использовать вместо алюминиевых электролитических и во входных цепях конверте-

ров, как более надежные. Такая замена будет в целом способствовать увеличению долговечности источников питания светодиодных источников.

#### **ЖК-телевизоры**

Танталовые полимерные конденсаторы с низким и средним номинальным напряжением найдут широкое применение в источниках питания для ноутбуков и ЖК-телевизоров. Например, такие типы, как D (7343-31) или Y (7343-20), преимущественно используются в конверторах DC/DC и драйверах светодиодной подсветки. Однако некоторые современные архитектуры ЖК-телевизоров со светодиодной подсветкой сейчас требуют уже больших значений напряжения питания. Обычно напряжение 5 В используется для питания логики и микропроцессоров, от источника 12 В получает питание телевизионная панель, напряжение 24 В используется для канала ультранизких частот, а источники с напряжением выше 24 В применяются для питания светодиодной подсветки.

Новые типы конденсаторов серии TСJ для поверхностного монтажа имеют высоту всего 2,6 мм, что значительно меньше размеров эквивалентных по емкости алюминиевых электролитических конденсаторов. Низкий профиль конденсаторов позволяет проектировать ультратонкие ЖК-мониторы. Применение полимерных танталовых конденсаторов с высоким номинальным рабочим напряжением (50 В) вместо керамических конденсаторов дает возможность уменьшить акустический шум в ЖК-мониторах, а также снизить высоту источников питания для источников светодиодной подсветки.

#### **Телекоммуникационная аппаратура**

Выпускаемые в настоящее время танталовые полимерные конденсаторы с номинальным рабочим напряжением 63 В и емкостью от 0,47 до 15 мкФ и ESR менее 100 мОм оптимально подходят для многих телекоммуникационных приложений, питающихся от источников с напряжением 48 В. Ключевыми параметрами для этого сектора являются: долговечность, низкий уровень ESR и высокий уровень подавления пульсаций.

#### **Выводы**

Увеличение границы номинального напряжения полимерных танталовых конденсаторов в сочетании с высокой емкостью, низким ESR и малыми габаритами — все это ранее не было достижимо для других конденсаторных технологий. Полимерный материал в качестве катода обеспечивает лучшие проводящие свойства, чем  $MnO_2$ , а соответственно, и более низкий ESR. И наконец, танталовые конденсаторы с проводящим полимером более стабильны в широком диапазоне температур и приложенного напряжения, даже по сравнению с многослойными керамическими SMD-конденсаторами.

Эти и другие преимущества, включая высокие стабильность и надежность, открывают разработчикам широкие возможности во многих областях приложений для совершенствования своей продукции и достижения новой функциональности при уменьшении габаритов готовых изделий. Кроме того, использование полимерных танталовых конденсаторов позволяет забыть про катастрофические дефекты — короткое замыкание и воспламеняемость, присущие конденсаторам, производимым по стандартной технологии (катод  $MnO_2$ ). Использование полимерного катода позволило получить большую механическую устойчивость по сравнению с керамическими конденсаторами, при большей емкости, рабочем напряжении и том же объеме, и лучшую надежность и долговечность по сравнению с алюминиевыми электролитическими конденсаторами. ■

#### **Литература**

1. Barta M. Increased Voltage Capability of Tantalum Polymer Capacitors Opens Up New Applications. AVX.
2. Petržilek J., Zedníček T., Uher M., Horáček I., et al. Next Generation of High Voltage, Low ESR Tantalum Conductive Polymer Capacitors. AVX Czech Republic s.r.o.
3. Horacek I., Zedníček T., Zedníček S., Karnik T., et al. High CV Tantalum Capacitors — Challenges and Limitations. AVX Czech Republic.
4. Гуревич В. Электролитические конденсаторы: особенности конструкции и проблемы выбора // Компоненты и технологии. 2012. № 5.