

ГЕРМЕТИЧНЫЕ 230-ГРАДУСНЫЕ ОКСИДМАРГАНЦЕВЫЕ ТАНТАЛОВЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ



Определенные электронные приложения, такие как оборудование бурения нефти и газа, непрерывно требуют все более высоких температур. Недавно требования к рабочей температуре выросли с 200 до 230 °С с одновременным увеличением срока службы с единиц часов до одной тысячи часов и выше. Эти требования связаны с продолжающимися разработками головок бурения нефти и датчиков и их использованием для глубинного бурения или бурения в более сложных геологических условиях. Конденсаторы высокой емкости являются обычной деталью электронных плат, необходимых для подобных применений, но выбор конденсаторов с рабочей температурой выше 125/175 °С крайне ограничен. Технология танталовых SMD-конденсаторов доказала свою работоспособность при температурах до 175 °С, и есть очень ограниченный выбор специальных серий, функционирующих при 200 °С. На этом фоне герметичные оксидмарганцевые танталовые конденсаторы демонстрируют уникальную стабильность работы и продолжительные сроки жизни при температуре 230 °С, сочетая эти достоинства с прочной, стабильной и надежной конструкцией. Все, что далее будет изложено в статье, рассказывает о базовом поведении твердотельных герметичных оксидмарганцевых танталовых конденсаторов при температурах выше 200 °С. Определенный тип износа был изучен в ходе длительной выдержки при 230 °С в зависимости от приложенного напряжения. Тем не менее базовой возможности соответствовать требованиям «лучшего в классе» по непрерывной работе при 230 °С в течение 1000 ч удалось добиться при снижении рабочего напряжения до 50 % $U_{ном}$ (номинального напряжения, или rated voltage). Статья обобщает информацию о феномене износа, исследованном при температурах выше 200 °С на этих конденсаторах, и влияние на срок службы различных уровней понижения напряжения при 230 °С.

Введение

Танталовые конденсаторы для поверхностного монтажа с твердым электролитом были излюбленным технологическим выбором для многих электронных устройств более 50 лет, благодаря высокой стабильности, надежности и объемной эффективности. Традиционный материал катода — диоксид марганца (MnO_2) — предоставлял хорошую механическую надежность и относительную температурную и влажностную стабильность, достаточную для многих применений. Два главных недостатка оксидмарганцевых танталовых конденсаторов — это возможное термическое лавинообразное разрушение и относительно высокое эквивалентное последовательное сопротивление (ESR). Оба недостатка можно устранить с помощью катода на базе кондуктивного (проводящего) полимера. Такие детали обеспечивают меньшее ESR и более высокую безотказность, но кондуктивный полимер имеет очень строгие ограничения по рабочим температурам. Некоторые сферы применения требуют максимальных рабочих температур, превышающих 125 °С, где кондуктивный полимер начинает разрушаться. Есть и более требовательные к температуре приложения, такие как бурение нефти, где в дальнейшем потребуются повышение температуры свыше 200 °С. Решением проблемы ограниченной стабильности в условиях неустойчивой высокой температуры окружающей среды является использование катода из диоксида марганца. Но даже конденсаторы, построенные на базе такого катода, потенциально подвержены деградации при продолжительной работе в экстремальных условиях окружающей среды. Деградация заливной смолы также негативно влияет на работоспособность конденсаторов при длительном хранении при температурах выше 125 °С или даже при относительно краткосрочном воздействии сверхвысоких температур, превышающих требования



спецификации. Прочие изменения могут включать окисление, морфологические изменения или другой механизм деградации, которые все вместе приводят к уменьшению проводимости катода, что в результате выливается в увеличение ESR или уменьшение емкости. Защита внутренней структуры конденсатора от повышенной влажности и кислорода может значительно увеличить его способность выдерживать экстремальные температуры. Оба этих условия можно обеспечить, используя конденсаторы, которые герметично запечатаны в инертной атмосфере. Относительно высокое значение ESR, которое обеспечивается оксидмарганцевым катодом, может быть уменьшено с помощью параллельного включения конденсаторов внутри одного корпуса.

Герметичное запечатывание

Были разработаны новые танталовые конденсаторные SMD-структуры, где элементы конденсатора помещены и герметично запечатаны внутри керамического корпуса. Азот был использован в качестве инертного газа в дополнение к герметичному корпусу, чтобы предотвратить термическое лавинообразное разрушение диоксидмарганцевого твердого электролита. Керамический корпус выбран для первоначальных экспериментов ввиду его высокой механической надежности и возможности герметичного запечатывания. Конденсаторные элементы присоединены к керамическому корпусу обычными выводами. Корпус имеет крышку, которая помещается на верхней поверхности керамических боковых стенок после того, как элемент конденсатора расположен внутри керамического корпуса. Для создания необходимой герметичности крышка обычно выполняется из металла. Стойкий сварной шов по ее периметру создает герметичность, тестирование которой проводится на 100 % произведенных компонентов для проверки и поддержания гарантированной надежности. Керамический корпус и конденсаторные элементы имеют одинаковую форму и близкие габариты, так что конденсаторный элемент может быть легко размещен во внутреннем пространстве корпуса, что обеспечивает максимальную объемную эффективность.

Результаты и их обсуждение

Проведены испытания стабильности танталовых конденсаторов с высокой объемной эффективностью, герметично запечатанных в инертной атмосфере в керамических корпусах, описанных выше. Оба фактора — температура и снижение рабочего напряжения — были предметом для изучения. Результаты стандартного диоксидмарганцевого танталового кон-

денсатора с твердым электролитом представлены в качестве примера эффекта герметичного запечатывания и показаны далее. Тестирование и анализ танталовых SMD-конденсаторов выполнены на выборке 100-мкФ/35-В конденсаторов с диоксидом марганца в качестве материала катода. Танталовый анод имеет длину 4,9 мм и ширину 4,8 мм; толщина 2,6 мм анодирована при 125 В в жидком электролите, чтобы достичь емкости 50 мкФ. Проводящее покрытие сформировано помещением анода в водный раствор нитрата марганца и разложением при 250 °С. Сборка параллельного соединения из двух таких конденсаторных модулей осуществлялась с помощью различных сочетаний сварки и приклеивания токопроводящими клеями к контактными площадкам керамического корпуса длиной 12,5 мм, шириной 11,00 мм и толщиной 5,35 мм. Два анода соединены в одном корпусе параллельно. Результирующая сборка была помещена в плавильную камеру и наполнена азотом до того, как был заплавлен шов между кольцом припоя и металлической крышкой. Тест герметичности проведен с использованием детектора гелия до и после индивидуальных тестов. Максимальная утечка гелия не должна превышать 1×10^{-8} атм/с. Специально разработанный процесс старения проводили после запайки шва. Тестовый метод проверки электрических характеристик выполнен при следующих условиях: для определения срока жизни конденсаторы были помещены в печь при соответствующей температуре с требуемым напряжением. Детальное описание всех методов тестирования приведено ниже:

1. Сценарий Performance Life A: время работы 2000 ч, температура 200 °С, напряжение 0,33, 0,4, 0,5 и 0,6 $U_{ном}$.
2. Сценарий Performance Life B: время работы 1000 ч, температура 230 °С, 0 В или 0,25, 0,33, 0,4 и 0,5 $U_{ном}$.
3. «Горячий» ток (DCL) утечки после времени работы по сценарию Performance Life B: длительность 60 с, тестовая температура 230 °С, 0 В или 0,25, 0,33, 0,4 и 0,6 $U_{ном}$.
4. Ток утечки (dcl) после времени работы по сценарию Performance Life B: длительность 60 с, тестовая температура 20 °С, $U_{ном}$.

Емкость измерялась при частоте 120 Гц, с постоянным смещением 2,2 В и значением RMS = 0,5. ESR измерялось при 100 кГц. Ток утечки при комнатной температуре и при температуре 230 °С измерялся с использованием специально разработанного тестового набора, который измеряет ток утечки как минимум через 60 с после момента подачи номинального напряжения. Все другие измерения были осуществлены при комнатной температуре, чтобы проверить, наблюдается ли деградация емкости или ESR. Результаты представлены на рис. 1–6. На рис. 1 и 2 показаны измене-



Компания AVX в очередной раз доказывает, что на рынке пассивных компонентов, особенно в тех сегментах, где предъявляются весьма специфические требования к компонентам, она является одним из первопроходцев и безоговорочных лидеров. Не секрет, что легкодоступной нефти на земле практически не осталось, а бурение глубинных пластов требует от оборудования работы в очень жестких температурных условиях. Нефтяники требуют 200 градусов как минимум и хотя бы 1000 часов наработки на отказ. Инженеры компании AVX приняли вызов и создали компонент, который «с запасом» перекрывает текущие требования и позволяет удовлетворить перспективные. Давно известная технология диоксидмарганцевых танталовых конденсаторов по сути родилась заново для применений, которые её первоначальным изобретателям и в страшном сне бы не привиделись. Успех применения старой технологии на новый лад в очередной раз доказывает, что техника, как и история, часто циклична и практически не бывает технических изобретений, которые устаревают окончательно и бесповоротно.

Белобрагин Евгений,
инженер по внедрению холдинга PT Electronics,
evgeniy.belobragin@ptelectronics.ru



ния электрических параметров (емкости и ESR) со временем для компонентов, тестируемых при 200 °C и различных уровнях напряжения от 33 до 60 % от $U_{ном}$. Никаких заметных изменений емкости и ESR не наблюдалось при этих условиях в течение 2000 ч. Результаты тестирования при 230 °C и приложенном напряжении от 0 до 50 % $U_{ном}$ представлены на рис. 3 и 4. Никаких изменений емкости не наблюдалось при измерениях до 33 % $U_{ном}$ в течение 1000 ч. Небольшое уменьшение емкости было отмечено для компонентов при 40–50 % $U_{ном}$, но изменения были меньше, чем допустимый разброс номиналов. ESR при 230 °C оставался стабильным при нулевом приложенном напряжении. Для компонентов, к которым прикладывалось напряжение, ESR начинало расти после 500 ч, и рост был пропорционален приложенному напряжению. В худшем случае ESR выросло на 90 % при работе при 0,5 $U_{ном}$ и температуре 230 °C в течение 1000 ч. Ток утечки для режима работы 230 °C и 0,5 $U_{ном}$ измеренный в горячих условиях (рис. 5) или при комнатной температуре (рис. 6) демонстрирует похожую картину: распределение значений

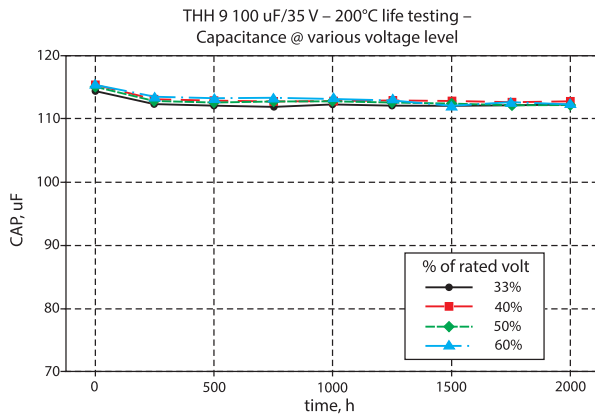


Рис. 1. Performance Life A — измеренная емкость в течение 2000 ч при 0,33, 0,4, 0,5 и 0,6 $U_{ном}$ для 100-мкФ/35-В конденсаторов с катодом, герметично запечатанным в керамическом корпусе (медианное значение для выборки из 30 компонентов)

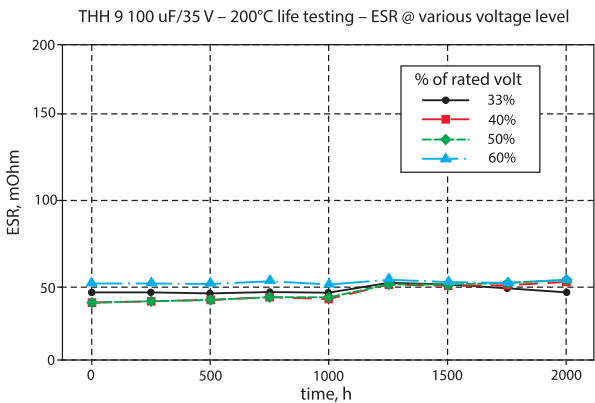


Рис. 2. Performance Life A — измеренное значение ESR в течение 2000 ч при 0,33, 0,40, 0,50 и 0,60 $U_{ном}$ для 100-мкФ/35-В конденсаторов с катодом, герметично запечатанным в керамическом корпусе (медианное значение для выборки из 30 компонентов)

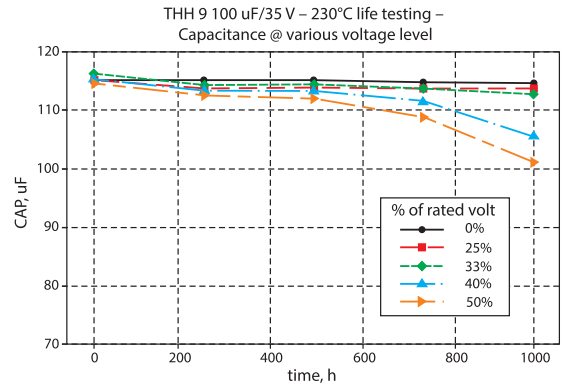


Рис. 3. Performance Life B — измеренные значения ESR в течение 1000 ч при 0 В и при 0,25, 0,33, 0,40 и 0,50 $U_{ном}$ для 100-мкФ/35-В конденсаторов с катодом, герметично запечатанным в керамическом корпусе (медианное значение для выборки из 30 компонентов)

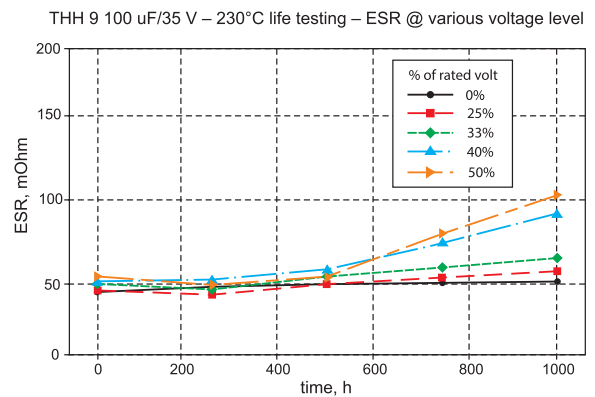


Рис. 4. Performance Life B — измеренное значение ESR в течение 1000 ч при 0 В и при 0,25, 0,33, 0,40 и 0,50 $U_{ном}$ для 100-мкФ/35-В конденсаторов с катодом, герметично запечатанным в керамическом корпусе (медианное значение для выборки из 30 компонентов)

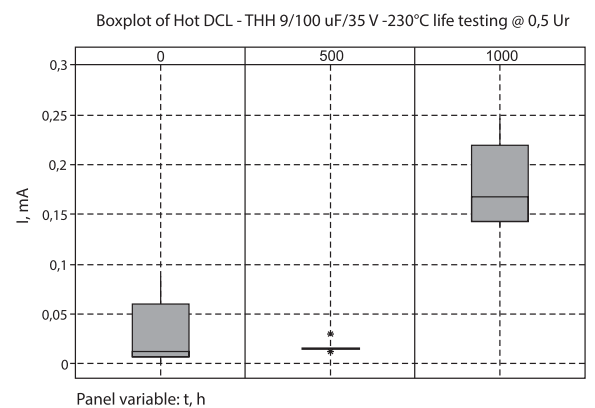


Рис. 5. Performance Life B — результаты горячих измерений тока утечки (DCL), измеренные при 230 °C в течение 1000 ч при 0,50 $U_{ном}$ для 100-мкФ/35-В конденсаторов с катодом, герметично запечатанным в керамическом корпусе (диапазон значений для выборки из 30 компонентов)

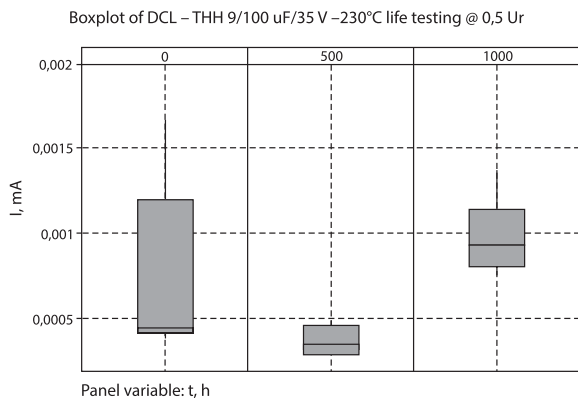


Рис. 6. Performance Life B — результаты горячих измерений тока утечки (DCL) в течение 1000 ч при $0,50 U_{ном}$ для 100-мкФ/35-В конденсаторов с катодом, герметично запечатанным в керамическом корпусе (диапазон значений для выборки из 30 компонентов)

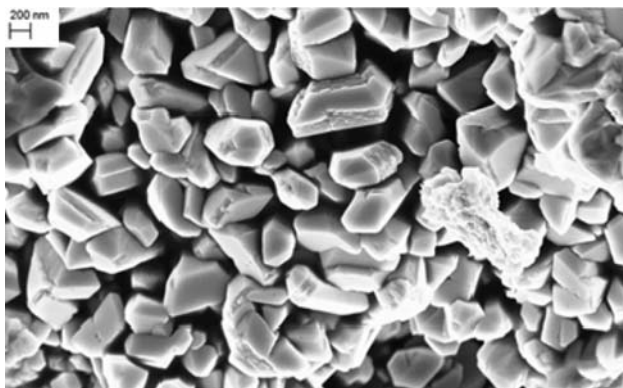


Рис. 7. Фотография с электронного микроскопа — MnO_2 -катодный слой до проведения тестов по сценарию Performance Life B. Конденсатор 100 мкФ/35 В с катодом, герметично запечатанным в керамическом корпусе

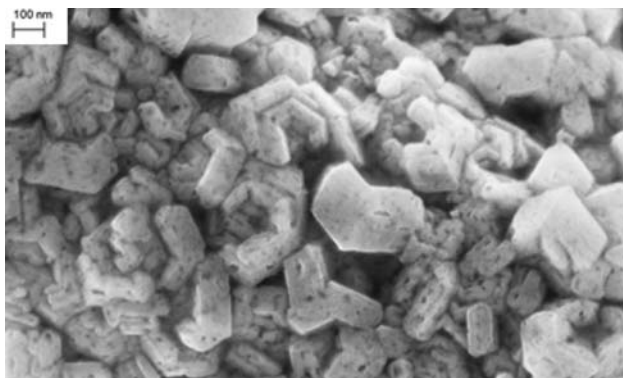


Рис. 8. Фотография с электронного микроскопа — MnO_2 -катод после проведения тестов по сценарию Performance Life B (1000 ч при $0,50 U_{ном}$). Конденсатор 100 мкФ/35 В с катодом, герметично запечатанным в керамическом корпусе

токов утечки более плотное и их значение уменьшается после 500 ч работы, затем значение тока утечки начинает расти. Снижение тока утечки в первоначальный период может быть объяснено ускоренным старением конденсатора, а последующий рост происходит вследствие структурных изменений диэлектрика при заданных условиях теста.

Анализ компонентов после теста при 230°C и продление тестирования до полной потери емкости привели к выявлению причин отказа. Феномен уменьшения емкости напрямую связан с изменением проводимости в материале катода — диоксиде марганца. На рис. 7 и 8 представлены фотографии с электронного микроскопа. На рис. 7 показан высокий контраст с острыми углами, иллюстрирующий высокую проводимость диоксида марганца. На рис. 8 видны размывания, наблюдаемые после проведения испытаний на срок службы и подтверждающие меньшую проводимость диоксида марганца. Механизм деградации проводимости и морфологические изменения могут быть объяснены химическими изменениями в диоксидмарганцевом катоде, возникающими с ростом температуры. Потери атомов кислорода приводят к образованию непроводящих оксидов марганца (таких как Mn_2O_3). Термическое разложение диоксида марганца хорошо описано в литературе, но из проведенных испытаний герметичных конденсаторов очевидно, что напряжение, подаваемое при повышенных температурах, является основным фактором, стимулирующим разложение.

Выводы

Тест продолжительности работы, осуществленный с новыми герметично запечатанными танталовыми SMD-конденсаторами, показал хорошую стабильность при 200°C и напряжении до $60\% U_{ном}$. Тест при 230°C показал великоколепную стабильность при отсутствии приложенного напряжения. Очень хорошая стабильность была получена при напряжении до $33\% U_{ном}$; дальнейшее увеличение напряжения привело к увеличению ESR и некоторому уменьшению емкости после 500 ч. Ток утечки (DCL) также начал увеличиваться после 500 ч. Потенциальный механизм износа был определен на основе анализа фотографий с электронного микроскопа как результат химических и морфологических изменений диоксидмарганцевого катода, индуцированный поданным напряжением смещения при повышенных температурах. Исследование, приведенное в статье, описывает еще не опубликованный новый механизм износа твердотельных оксидмарганцевых танталовых конденсаторов в применениях с рабочими температурами выше 200°C , что может ограничивать срок службы даже в герметично запечатанном корпусе. Тем не менее ключевое требование конечных пользователей по непрерывной стабильной и надежной работе в течение 1000 ч при температуре 230°C может быть обеспечено при рабочем напряжении до $50\% U_{ном}$ ($50\% \text{ derating}$). Как было показано, 100-мкФ/35-В конденсатор, работающий при 17,5 В, способен обеспечить хорошую стабильность при эксплуатации до 1000 ч при 230°C , с конечным значением ESR не более 100 мОм. Это представляет лучшую в классе эффективность работы для столь большого номинала емкости в компактном и стабильном конденсаторном SMD-устройстве, что открывает новую страницу в истории разработки приложений для температур 230°C .

