ОСОБЕННОСТИ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ И КОНСЕРВАЦИИ КОНДЕНСАТОРОВ

ПАВЕЛ ГРЕБЕНЩИКОВ, начальник испытательной лаборатории ЭКБ, АО «ТЕСТПРИБОР»

В статье рассматриваются особенности хранения электролитических конденсаторов. Эти компоненты по праву считаются одними из самых ненадежных. За счет деградации электролита и электродов их емкость со временем падает (даже если конденсатор вообще не был в работе). При нарушении полярности в «электролитах» начинается деструкция с выделением газообразных продуктов – конденсаторы вспучиваются, и из них вытекает электролит.

Электронные компоненты хранятся по всему миру для использования во всех видах электронных изделий и систем. К сожалению, многие производители электронных систем относятся ко всем компонентам одинаково, учитывая их длительное хранение и использование. Обычно проблемы возникают при работе с высокотехнологичными, передовыми технологиями полупроводниковых компонентов. Самые современные на сегодняшний день устройства содержат более 1 млрд транзисторов, каждый из которых должен функционировать в соответствии со спецификацией. Кроме того, эти высокотехнологичные устройства используют все более низкое внутреннее напряжение питания (теперь $V_{ВНУТР}$ = 1,2 В) и все более высокие частоты переключения.

Эффект уменьшения рабочего напряжения позволяет сократить пороговое и детектирующее напряжения, делая элементы внутренней цепи более восприимчивыми к шуму, загрязнению и проблемам надежности. В результате уменьшения расстояний между транзисторами на кристалле процессы диффузии начинаются уже через небольшой срок после изготовления при обычном хранении полупроводниковых компонентов. Основной целью обеспечения долговременного хранения является защита от влажности. Влажность вызывает механические повреждения радиоэлектронных изделий, например коррозию внутренних слоев печатных плат, разбрызгивание припоя, нарушение паяемости, тепловой распад материалов, появление микротрещин в корпусе интегральных микросхем (ИМС), эффект попкорна и т.д.

КОНДЕНСАТОРЫ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ

Как правило, электролитические конденсаторы имеют наибольшее значение емкости и обычно используются в схемах фильтрации источников питания. Как видно из рисунка 1, в алюминиевых электролитических конденсаторах в качестве основного материала применяется алюминий, а в качестве диэлектрика – тонкий оксидный слой порядка 0,01 мкм. Из-за больших значений емкости относительно размера алюминиевые электролитические конденсаторы получили наибольшее распространение среди всей номенклатуры конденсаторов, используемых в электронной промышленности.

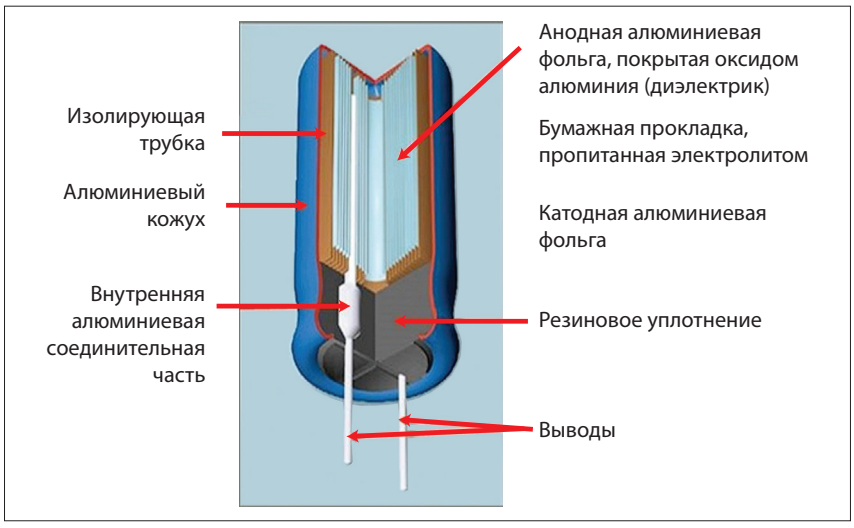

Рис. 1. **Строение алюминиевого электролитического конденсатора**

Обычно электролитические конденсаторы состоят из двух слоев алюминиевой фольги – катодной и одной анодной с бумажной прокладкой, наполненной жидким электролитом.

Выбор электролитических конденсаторов по сравнению с другими типами конденсаторов (керамических, танталовых, полимерных, пленочных), как правило, определяется сочетанием стоимости, напряжения, емкости и эквивалентного последовательного сопротивления (ЭПС). Итак, электролитические конденсаторы:

- имеют одни из самых высоких показателей емкости среди конденсаторных технологий;
- обеспечивают эту емкость при относительно низких затратах и сравнительно высоком напряжении;
- емкость также относительно стабильна в диапазоне рабочего напряжения и температуры;
- ЭПС стремится быть выше, но импеданс является стабильным в зависимости от частоты (см. рис. 2).

ПРОБЛЕМЫ ПРИ ХРАНЕНИИ

Фактором, ограничивающим хранение конденсаторов, является

целостность диэлектрика из оксида алюминия, который со временем разрушается, способствуя сокращению срока годности.

Длительное хранение электролитических конденсаторов может привести к высыханию электролита, снижению емкости и увеличению тока утечки.

Заметим, что большинство производителей конденсаторов не «гарантируют» срок службы свыше 15 лет из-за опасений, связанных с деградацией пробки.

Хранение электролитических конденсаторов при высоких температурах приводит к ускорению деградации уплотнительного материала. После разрушения уплотнительного материала может произойти чрезмерное испарение электролита, влияющее на электрические свойства конденсатора.

ИСПЫТАНИЯ НА УСКОРЕННОЕ СТАРЕНИЕ

Испытания на ускоренное старение показывают, что емкость конденсаторов уменьшается незначительно, но значительно увеличиваются ток утечки и ЭПС. Разница в емкости составила не более 10% и, как правило, компенсировалась широкими допусками в рейтинге производителей конденсаторов. Увеличение ЭПС составило около 65%, а утечка постоянного тока – более 400%.

УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ

Одним из важных условий является хранение конденсаторов при пониженной влажности. Высокая влажность ускоряет окисление соединений элемента, влияя на их паяемость. Кроме того, необходимо следить, чтобы компоненты не подвергались воздействию солнечного света и повышенных температур, т. к. в результате разрушаются резиновые уплотнения. Ослабление механических уплотнений снижает общую надежность и ускоряет испарение электролита, в т. ч. уменьшает его емкость.

С точки зрения затрат и преимуществ рекомендуется использовать надежные контролируемые шкафы с сухим воздухом и активным осушителем, поддерживающие относительную влажность менее 5% и низкую температуру окружающей среды (10°C).

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПРОВЕРКИ КОНДЕНСАТОРОВ

Согласно стандарту MIL-HDBK-1131, алюминиевые электролитические конденсаторы MIL-PRF-39018 должны быть пригодны для хранения и выпуска в течение 10-летнего сертифицированного периода, рассчитанного с даты изготовления, при учете правильного хранения.

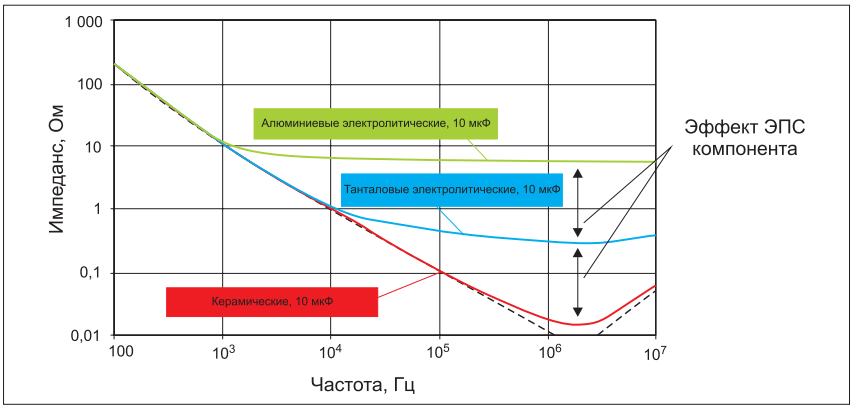

Рис. 2. **Характеристики импеданса алюминиевых, танталовых электролитических и керамических конденсаторов**

Конденсаторы военного класса должны проверяться каждые четыре года на соответствие требований по току утечки. Для конденсаторов промышленного класса этот период составляет три года.

Методы проверки должны быть визуальными и техническими. Рациональным для каждого теста является следующее:

- внешний оптический осмотр для выявления признаков коррозии;
- электрические параметрические измерения для выявления возможных несоответствий и отклонений по сравнению с исходной документацией;
- контроль утечки электролита (проверка деградации герметичных уплотнений). Целостность уплотнения проводится по методу 606 ГОСТ 28885–90;
- проверка на паяемость для определения деградации отделок припоя как на выводах меди из-за образования интерметаллидов медь–олово, так и на никелевой пластине из-за образования оксидов, богатых оловом.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

При длительном хранении алюминиевые электролитические конденсаторы могут выйти из строя: эти компоненты необходимо периодически нагружать номинальным напряжением, чтобы поддерживать активность электролита. В противном случае со временем электролит в конденсаторе потеряет свою активность и станет непригодным для эксплуатации.

Влияние старения на конденсаторы во время хранения можно уменьшить или обратить вспять с помощью «риформинга», восстанавливающего внутренние свойства конденсатора. Суть данного метода состоит в подаче напряжения на конденсатор с контролем превышения указанного тока утечки. Напряжение постепенно увеличивается до номинального значения. Этот процесс приводит к образованию оксида алюминия, в результате чего восстанавливается диэлектрический слой. Таким образом, его можно регенерировать путем подачи напряжения на компонент. Тем не менее, рекомендуется вообще не использовать конденсаторы, которые хранились в течение длительного времени.

Процесс восстановления путем подачи напряжения может быть разным для конденсаторов разных производителей. В качестве примера в таблице приведены рекомендации для подготовки конденсаторов от одного из производителей.

Таблица. **Рекомендации для подготовки конденсаторов от одного из производителей**

Срок хранения	Необходимые мероприятия	Время для подготовки
не более одного года	риформинг не требуется	без подготовки
от одного до двух лет	перед использованием подать напряжение в течение 1 ч	1 ч
от двух до трех лет	используется регулируемый источник переменного напряжения; в течение 30 мин прикладываются 25% напряжения; следующие 30 мин напряжение повышается до 50%; следующие 30 мин напряжение повышается до 75%; следующие 30 мин напряжение повышается до 100%	2 ч
более трех лет	используется регулируемый источник переменного напряжения; в течение 2 ч прикладываются 25% напряжения; в следующие 2 ч напряжение повышается до 50%; в следующие 2 ч напряжение повышается до 75%; в следующие 2 ч напряжение повышается до 100%	8 ч