

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА, АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ,
ПРИЧИН И МЕХАНИЗМОВ ОТКАЗОВ
КОНДЕНСАТОРОВ И РАЗРАБОТКА
МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ**

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» в качестве методических указаний

САМАРА
Издательство СГАУ
2014

УДК 681.2(075)
ББК 34.9я7

Составитель *М.Н. Пиганов*

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. И. Колпаков

Контроль качества, анализ дефектов, причин и механизмов отказов конденсаторов и разработка мероприятий по их устранению: метод. указания / сост. *М.Н. Пиганов*. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2014. – 20 с.

Методические указания предназначены для студентов специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», изучающих дисциплину «Контроль качества электронных средств». Разработаны на кафедре конструирования и производства радиоэлектронных средств.

УДК 681.2(075)
ББК 34.9я7

Учебное издание

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА, АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ, ПРИЧИН
И МЕХАНИЗМОВ ОТКАЗОВ КОНДЕНСАТОРОВ
И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ**

Методические указания

Составитель *Пиганов Михаил Николаевич*

Редактор Ю.Н. Литвинова
Доверстка: Л.Р. Дмитриенко

Подписано в печать 08.10.2014. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 1,25.
Тираж 100 экз. Заказ . Арт. 50/2014.

Самарский государственный аэрокосмический университет,
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2014

Общие сведения

В методических указаниях описаны возможные причины отказов конденсаторов, а также пути устранения этих неполадок. Приведен порядок выполнения лабораторной работы, направленной на отработку навыков поиска и решения указанных задач.

В первом разделе приведен порядок выполнения работы, во втором – описана методика выполнения.

1. Порядок выполнения

1. Получить у преподавателя задание.
2. Провести статистическую обработку результатов испытания конденсаторов.
3. Выявить отказавшие образцы конденсаторов.
4. Разработать алгоритмы поиска причин отказов.
5. Определить причины отказов.
6. Определить механизмы отказов и типы дефектов.
7. Разработать мероприятия по устранению дефектов и отказов.
8. Разработать методику ДК конденсаторов.
9. Оформить отчёт.

2. Методика выполнения

Методику выполнения рассмотрим на следующих примерах.

2.1. Корпус. Защитное покрытие. Наличие налёта на полимерной пленке покрытия корпуса

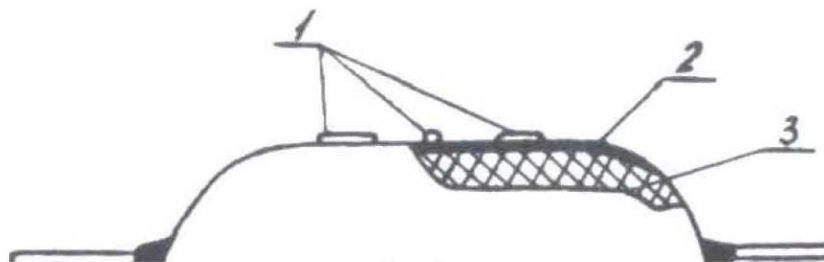


Рис. 1:

- 1 – область локализации дефекта; 2 – защитное лаковое покрытие корпуса (маркировки); 3 – крышка корпуса (корпус, эпоксидная заливка)

ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТА:

Характеристики дефекта	Условия возникновения дефекта
Конденсаторы и конденсаторные сборки в металлических и пластмассовых корпусах, а также покрытые защитными компаундами и эмалями; корпуса или маркировка защищены лаковым покрытием (например, лаком УР-231, ЭП-730 и др.).	Дефекты были зафиксированы после воздействия на изделия повышенной влажности (95 %, 98 % при температуре 40 °С (35 °С) в течение 4, 10, 21, 56 суток); после проведения производственных периодических испытаний; на выходном контроле у потребителя и в процессе эксплуатации РЭА.

ПРИЗНАК ДЕФЕКТА: дефект характеризуется наличием налета на покрытии корпуса, что приводит к несоответствию внешнего вида изделия образцам.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТА:

1. Образование белого (бурого) налета на лаковом или эмалевой покрытии корпуса при воздействии влажности на недополимеризованный лак (эмаль), обладающий недостаточной стойкостью к атмосферным воздействиям.

2. Образование налета на лаковом или эмалевом покрытии корпуса при воздействии повышенной температуры и влажности на неудаленные продукты отмывки корпуса.

При распайке конденсаторов (конденсаторных сборок) на печатные платы или в приспособления для испытаний с использованием канифольного или солянокислого флюса возможно его разбрызгивание на поверхность корпуса. Неудовлетворительная отмывка в очищающих растворителях и недостаточная сушка после промывки приводят к тому, что загрязнения остаются на поверхности корпуса. Кроме того, многократное использование очищающих растворителей приводит к осаждению продуктов отмывки на корпус изделий. Последующее воздействие на загрязнения повышенных температур и влажности приводит к образованию налета на корпусе.

ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТА: осмотр изделия под микроскопом с увеличением 16×.

2.2. Отслоение защитного полимерного покрытия корпуса

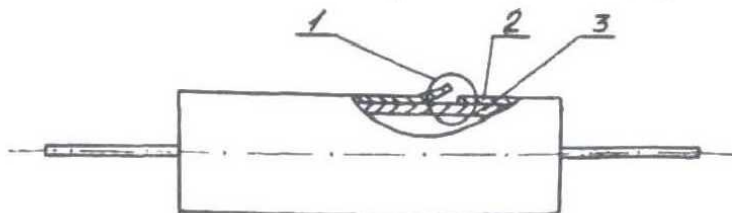


Рис. 2:

1 – область локализации дефекта; 2 – защитное лаковое покрытие корпуса;
3 – корпус

ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТА:

Характеристика изделия	Условия возникновения дефекта
Конденсаторы и конденсаторные сборки в металлических и пластмассовых корпусах, а также покрытые защитными компаундами и эмалями; корпуса или маркировка защищены лаковым покрытием (например, лаком УР-231, ЭП-730 и др.).	Дефекты были зафиксированы после воздействия на изделия повышенной влажности 98 % в течение 4–66 суток; после проведения производственных периодических испытаний на выходном контроле у потребителя и в процессе эксплуатации РЭА.

ПРИЗНАК ДЕФЕКТА: отказ характеризуется разбуханием, растрескиванием и отслоением защитного лакового покрытия, что вызывает несоответствие внешнего вида изделия образцу.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТА: возрастание механических напряжений в лаковом покрытии вследствие неравномерной полимеризации пленки; уменьшение адгезии лакового покрытия к поверхности корпуса вследствие набухания пленки лака под воздействием влаги в местах с наиболее тонким слоем покрытия.

При наличии в лаке локальных неоднородностей, а также при возникновении их в процессе нанесения лака на корпус (или при его сушке) в защитном покрытии возникают области с аномально высокими механическими напряжениями. Эти области являются центрами растрескивания и отслоения лакового покрытия.

Наличие влаги на защитном лаковом покрытии, нанесенном с нарушением требований технологического процесса (недополимеризация, приготовление лака из компонентов с истекшим сроком годности и др.), приводит к его набуханию. При набухании лака возникают механические напряжения между защитным покрытием и корпусом изделия. Как правило, это не приводит к заметному уменьшению сцепления лака с корпусом, однако может вызвать отрыв маркировочной краски, а вместе с ней и лака. В местах с наиболее тонким слоем защитного покрытия происходит его набухание на всю глубину и отслоение и в случае отсутствия маркировочной краски под покрытием.

ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТА: осмотр изделия под микроскопом с увеличением 12,5–100×

2.3. Коррозия корпуса

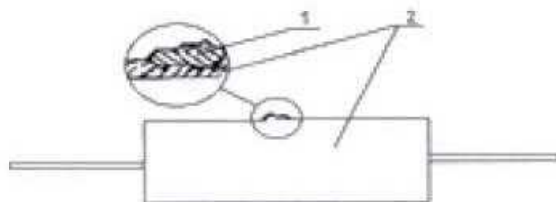


Рис. 3:

1 – область локализации дефекта; 2 – металлический корпус

ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТА:

Характеристика изделия	Условия возникновения дефекта
Конденсаторы и конденсаторные сборки в металлических и пластмассовых корпусах, а также покрытие защитными компаундами и эмалями; корпуса или маркировка защищена лаковым покрытием (например, лаком УР-231, ЭП-730 и др.).	Дефекты были зафиксированы после воздействия на изделия повышенной влажности (98 % при температуре 40°C в течение 4–66 суток); после проведения производственных периодических испытаний; на выходном контроле у потребителя и в процессе эксплуатации РЭА.

ПРИЗНАК ДЕФЕКТА: дефект характеризуется наличием пятен ржавчины на поверхности корпуса, что вызывает несоответствие внешнего вида изделия образцу.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТА: коррозия металла корпуса под воздействием влаги в местах отсутствия или повреждения защитного покрытия.

Воздействие на не защищенные покрытием области корпуса повышенной температуры и влажности вызывает коррозию основного материала корпуса. Скорость этой коррозии, идущей вдоль зерен металла, возрастает в присутствии катализаторов (например, ионов хлора). При интенсивном корродировании корпуса возможно его растрескивание по всей толщине и даже разгерметизация корпуса.

ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТА: осмотр изделия под микроскопом с увеличением 7,5–100×

2.4. Маркировка изделия. Некачественная маркировка

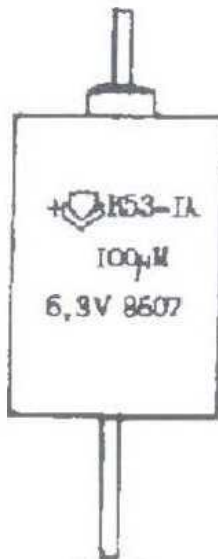


Рис. 4

ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТА:

Характеристика изделия	Условия возникновения дефекта
Все типы конденсаторов в никелевом, стальном, серебряном, танталовом, алюминиевом, поликарбонатном корпусах и залитые эпоксидным компаундом, маркированные методом офсетной печати краской МА-514 или 7010-01 с сушкой при комнатной температуре в течение 0,5–1 часа и при температуре 50–85°C в течение 18 часов.	Дефект был зафиксирован при приемосдаточных испытаниях конденсаторов у изготовителя, на входном контроле и в процессе изготовления аппаратуры у потребителя.

ПРИЗНАК ДЕФЕКТА: дефект характеризуется частичным или полным отсутствием маркировки, что вызывает несоответствие внешнего вида изделия образцу.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТА: отслоение маркировочной краски вследствие неудовлетворительной адгезии ее к поверхности корпуса изделия; некачественное пропечатывание маркировки из-за износа маркировочной колодки; воздействие агрессивных сред при монтаже в аппаратуру у потребителя (например, при мойке печатных плат).

При неудовлетворительной адгезии маркировочной краски к корпусу изделия (из-за низкого качества, нарушения режимов сушки краски или плохой подготовки поверхности корпуса) происходит ее отслаивание. Этот процесс стимулируется различного рода механическими воздействиями (например, трением о тару при транспортировке изделий). Растворение маркировочной краски при воздействии агрессивных флюсов и промывочных материалов при монтаже изделий в аппаратуру.

2.5. Внешние выводы корпуса

Наличие дефектов в припойном покрытии внешнего вывода

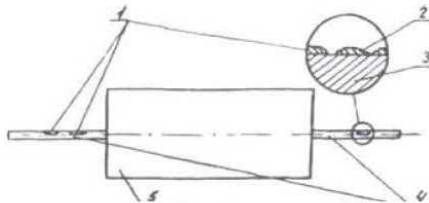


Рис. 5:

- 1 – область локализации дефекта, 2 – покрытие олово-висмут, 3 – основной металл вывода, 4 – внешний вывод, 5 – корпус

ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТА:

Характеристика изделия	Условия возникновения дефекта
Все типы конденсаторов с выводами из медной, никелевой, сталемедной проволоки с покрытием олово-висмут.	Дефекты были обнаружены при проведении испытаний на климатические воздействия и сохраняемость, а также на входном контроле у потребителя.

ПРИЗНАК ДЕФЕКТА: дефект характеризуется наличием повышенного количества пор в припойном покрытии и необслуженных участков внешних выводов, малой прочностью сцепления покрытия с основным материалом и его малой толщиной, что вызывает несоответствие изделия образцам внешнего вида и нарушение контакта изделия в электрической цепи.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТА: ухудшение адгезии покрытия олово-висмут к основному металлу вывода в результате некачественной очистки вывода перед электрохимическим нанесением покрытия; потемнение покрытия из-за наличия металлических примесей в электролите, приводящее к плохой паяемости выводов; коррозия выводов по местам некачественного покрытия под воздействием влаги и окружающей среды.

2.6. Наличие пятен лака на внешних выводах корпуса

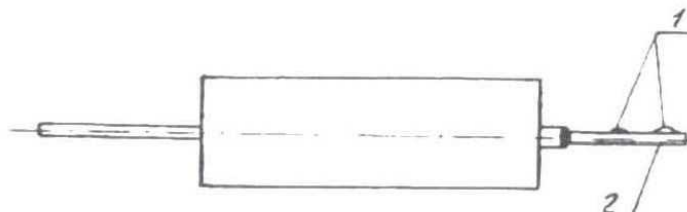


Рис. 6:

1 – область локализации дефекта; 2 – внешний вывод корпуса

ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТА (ОТКАЗА):

Характеристика изделия	Условия возникновения дефекта
Конденсаторы и конденсаторные сборки в металлических и пластмассовых корпусах, а также покрытые защитными компаундами и эмалями, корпуса или маркировка которых защищены лаковым покрытием.	Дефект (отказ) возник при нанесении на изделие защитного покрытия и зафиксирован при изменении электрических параметров в проверке внешнего вида.

ПРИЗНАК ДЕФЕКТА (ОТКАЗА): дефект характеризуется несоответствием изделия образцам внешнего вида из-за наличия пятен лака на внешних выводах: отказ характеризуется увеличением переходного сопротивления между выводами корпуса изделия и внешними электрическими цепями, что приводит к увеличению тангенса угла потерь, полной потере емкости, нестабильности работы изделия в составе РЭА.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТА (ОТКАЗА): попадание лака на внешние выводы при нанесении защитного покрытия на корпус изделия.

Разбрызгивание лака при проведении операции защиты лаком корпуса (маркировочного клейма) может привести к попаданию лака на внешние выводы конденсатора, что приведет к образованию не сплошной (а в ряде случаев и сплошной) диэлектрической пленки на выводах. Это приводит к росту переход-

ного сопротивления между выводами изделия и внешними электрическими цепями – росту тангенса угла диэлектрических потерь (в случае присутствия сплошной пленки лака на выводе форма проявления отказа будет аналогичной наличию обрыва в электрической цепи – полной потере емкости).

ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТА (ОТКАЗА): осмотр изделия под микроскопом с увеличением 16–100×. Очистка поверхности выводов от лака. Измерение электрических характеристик конденсатора до и после очистки выводов.

2.7. Обрыв внешнего вывода корпуса

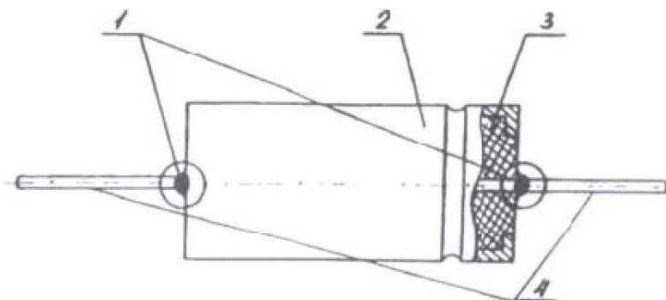


Рис. 7:

- 1 – место локализации дефекта; узел аварии; 2 – корпус;
3 – резиновое уплотнение; 4 – наружный вывод

ОПИСАНИЕ ОТКАЗА:

Характеристика изделия	Условия возникновения дефекта
Конденсаторы выводной конструкции.	Отказы были зафиксированы при контроле внешнего вида после проведения испытаний на стадии производства, а также при входном контроле у потребителя и при функционировании в составе РЭА.

ПРИЗНАК ОТКАЗА: отказ характеризуется несоответствием внешнего вида изделия образцу и полной потерей работоспособности конденсатора из-за облома вывода.

МЕХАНИЗМ ОТКАЗА: обрыв вывода при механических воздействиях на него по местам некачественной сварки и механических повреждений; развитие чрезмерных механических напряжений на внешнем выводе корпуса конденсатора, смонтированного в РЭА.

К обрыву внешнего вывода конденсатора может привести возникновение области концентрации механических напряжений при формовке выводов перед установкой конденсаторов в РЭА. Дополнительные механические нагрузки при монтаже изделий в РЭА (при несоответствии расстояний между центрами сформованных выводов конденсатора и центрами отверстий на плате).

Отказы данного вида после распайки конденсаторов на печатные платы при функционировании в аппаратуре возникают при резонансных явлениях в системе конденсатор-плата, вызванных изменением ее параметров (уменьшением толщины платы, отрывом клеевого соединения корпуса с платой, ослаблением механического крепления конденсатора к плате).

ДИАГНОСТИКА ОТКАЗА: осмотр изделия невооруженным глазом (с последующим исследованием резонансных частот системы изделие-печатная плата при необходимости).

2.8. Компаунд, пластмасса, эмаль, стекло корпуса. Растрескивание и отслоение защитного покрытия конденсаторов (тела корпуса)

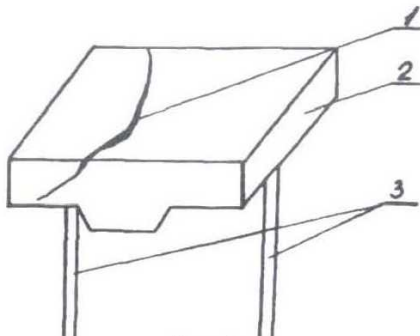


Рис. 8:

1 – место локализации отказа; 2 – защитное покрытие конденсаторов (корпус из эпоксидного компаунда); 3 – наружные выводы конденсатора

ОПИСАНИЕ ОТКАЗА:

Характеристика изделия	Условия отказа
Конденсаторы, покрытые защитными компаундами и эмалями (оксидно-полупроводниковые, керамические, пленочные).	Отказы обнаружены в процессе проведения производственных испытаний при измерении электрических характеристик и проверке внешнего вида конденсаторов, а также при функционировании изделий в составе РЭА.

ПРИЗНАК ОТКАЗА: отказ характеризуется растрескиванием и отслоением защитного компаундного (эмалевого) покрытия, что вызывает несоответствие внешнего вида изделий образцу, повреждение диэлектрика и снижение сопротивления изоляции (повышение тока утечки) конденсатора.

МЕХАНИЗМ ОТКАЗА: чрезмерное возрастание механических напряжений в защитном покрытии вследствие неравномерности полимеризации компаунда (эмали) по поверхности изделия.

При наличии в компаунде (эмали), используемом (-ой) для герметизации конденсаторов, локальных неоднородностей (например, из-за нарушения рецеп-

турного состава и наличия загрязнений), а также при их возникновении при нанесении компаунда и в процессе сушки покрытия в компаунде (эмали) возникают области с аномально высокими напряжениями.

Эти области являются центрами растрескивания и отслоения покрытия. Высокие механические напряжения в компаунде и разница в коэффициентах температурного расширения материалов покрытия и конденсаторных секций могут привести к повреждению диэлектрика, возрастанию тока утечки (снижению сопротивления изоляции) конденсатора и в предельном случае пробоем в процессе эксплуатации.

Проникновение влаги и растворителей, используемых для промывки плат и блоков РЭА со смонтированными на них конденсаторами сквозь трещины в защитном покрытии, способствуют снижению сопротивления изоляции, повышению тангенса угла потерь, пробоем и в случае пленочных конденсаторов разрушению металлизации и потере емкости конденсаторов.

Растрескивание компаундных (эмалевых) покрытий происходит и в результате нарушения условий эксплуатации конденсаторов по температуре.

ДИАГНОСТИКА ОТКАЗА: осмотр изделия невооруженным глазом или с помощью микроскопа с увеличением 4-32х; измерение электрических характеристик конденсатора.

2.9. Наличие сколов и трещин в стекле, компаунде, эмали в месте выхода внешнего вывода

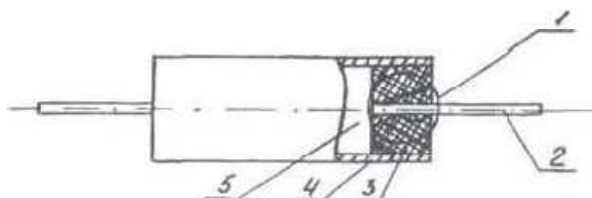


Рис. 9:

- 1 – область локализации дефекта, 2 – внешний вывод, 3 – компаунд,
4 – корпус, 5 – секция

ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТА (ОТКАЗА):

Характеристика изделия	Условия отказа
Конденсаторы (конденсаторные сборки), защищенные компаундом (эмалью).	<p>Дефекты были зафиксированы при визуальном осмотре конденсаторов в следующих случаях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - установка изделий в измерительные колодки; - монтаж (распайка) изделий в испытательные приспособления; - проведение механических и климатических испытаний;

	- формовка выводов перед установкой изделий в печатные платы (блоки) РЭА; - проведение испытаний в составе РЭА на механические и климатические (смена температур) воздействия.
Конденсаторы в металлических корпусах с заливкой компаундом	Отказы были зафиксированы при измерении электрических параметров конденсаторов после испытаний на климатические воздействия и надежность, а также в процессе эксплуатации изделий в составе РЭА.
Конденсаторы в пластмассовых корпусах	
Конденсаторы в стеклянных корпусах	

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТА (ОТКАЗА): развитие повышенных механических напряжений в месте выхода наружных выводов из компаунда (эмали, стекла) корпуса или стекла, керамики изолятора.

Область выхода металлического вывода из компаунда (эмали, стекла и др.) наиболее подвержена разрушению. Разрушение эмали (компаунда, стекла) обусловлено тремя основными факторами. Во-первых, различие температурных коэффициентов расширения материалов внешнего вывода и компаунда (стекла, эмали), что вызывает развитие микротрещин в последних при резкой смене температур. Во-вторых, наличием различного рода деформаций внешнего вывода (при его формовке, распайке на печатную плату (в блоки) РЭА и испытательные приспособления, установке в измерительные колодки и др.). Эти деформации приводят к концентрации механических напряжений не только в самом внешнем выводе, но и в окружающем его компаунде (стекле, эмале), что вызывает их растрескивание и раскалывание. Этот процесс может стимулироваться воздействием обоих факторов. В-третьих, неполной полимеризацией компаунда (эмали) в процессе изготовления конденсатора. В этом случае процесс полимеризации завершается при испытаниях и эксплуатации конденсатора, происходит усадка компаунда (эмали) и их отслоение от вывода.

При образовании сквозных трещин и нарушении герметичности (разуплотнении) конденсатора возможно проникновение влаги, промывочных материалов во внутренний объем корпуса конденсатора, которые при взаимодействии с материалами секций вызывают отказ конденсатора из-за резкого ухудшения его электрических свойств – снижения сопротивления изоляции, повышения тангенса угла диэлектрических потерь, повышенного ухода емкости, пробоя диэлектрика и др.

ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТА (ОТКАЗА): осмотр изделия под микроскопом при увеличении 8–50× с последующим измерением электрических параметров конденсаторов до и после сушки при предельно допустимых температурах в течение 24 часов. При деградации электрических параметров необходим углубленный и полный анализ с целью выяснения причин и механизмов отказа после разгерметизации (произошли ли отказы в результате взаимодействия элементов конденсатора с влагой, промывочными материалами и др.).

2.10. Наличие электрических цепей на поверхности изоляторов

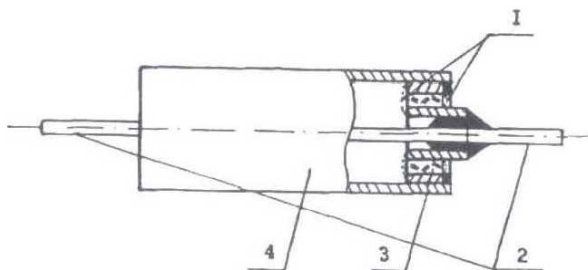


Рис. 10:

1 – область локализации дефектов; 2 – наружный вывод;
3 – стеклянный проходной изолятор; 4 – корпус

ОПИСАНИЕ ОТКАЗА:

Характеристика изделия	Условия отказа
Герметизированные конденсаторы в металлических корпусах с проходными изоляторами из стекла (керамики), металлочерепашескими и стеклотанталовыми изоляторами.	Отказы были зафиксированы при измерении электрических параметров изделий в нормальных условиях после испытаний на надежность, сохраняемость, климатические и механические воздействия, а также при функционировании в составе радиоэлектронной аппаратуры.

ПРИЗНАК ОТКАЗА: отказ характеризуется увеличением тока утечки (снижением сопротивления изоляции) конденсаторов вплоть до уровней, недопустимых по техническим условиям.

МЕХАНИЗМ ОТКАЗА: образование электрической цепи, шунтирующей вывод и корпус поверхностными загрязнениями стекла (керамики) изолятора различными веществами, используемыми в технологическом процессе изготовления, при монтаже конденсаторов в испытательное оборудование и в состав РЭА, а также при осаждении на наружной поверхности стекла (керамики) проводящих веществ из атмосферы в процессе испытаний и эксплуатации и на внутренней поверхности изолятора – проводящих компонентов конденсатора.

Отказы данного типа происходят преимущественно при эксплуатации (испытаниях) изделий в атмосфере с повышенной влажностью, а также при наличии в изоляторах поверхностных трещин, сколов, шероховатостей.

ДИАГНОСТИКА ОТКАЗА: осмотр изолятора под микроскопом с увеличением 2–12×; измерение электрических параметров конденсаторов до и после отмывки изолятора в допустимых по техническим условиям и стандартам по применению конденсаторов растворителях, деионизованной воде и сушики при предельно допустимой температуре в течение 1 часа; измерение электрических параметров изделия до и после демонтажа изолятора; рентгенотелевизионная микроскопия.

2.11. Разгерметизация конденсаторов со стеклянными, металлокерамическими и стеклотанталовыми изоляторами

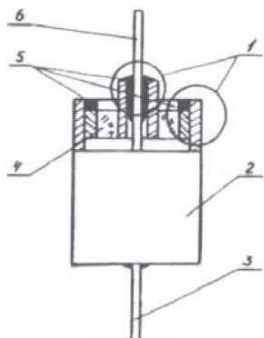


Рис. 11:

- 1 – место локализации отказа; 2 – корпус; 3 – катодный вывод;
4 – стеклянный проходной изолятор; 5 – анодный вывод

ОПИСАНИЕ ОТКАЗА:

Характеристика изделия	Условия отказа
Герметизированные конденсаторы в металлических корпусах с проходными изоляторами из стекла (керамики), металлокерамическими и стеклотанталовыми изоляторами.	Отказы были зафиксированы при контроле внешнего вида и электрических параметров изделий в нормальных условиях при проведении испытаний на надежность, сохраняемость, климатические и механические воздействия, а также при функционировании в составе радиоэлектронной аппаратуры.

ПРИЗНАК ОТКАЗА: отказ характеризуется наличием микротрещин в стекле (керамике) изолятора; щели между изолятором и корпусом конденсатора; щели (отверстия) в припое, заполняющем трубочку изолятора, трещины в сварном шве между корпусом и изолятором (трубочкой изолятора и выводом), что вызывает несоответствие внешнего вида изделия образцам. Попадание влаги и (или) растворителей, используемых для промывки конденсаторов как в процессе их изготовления, так и для промывки плат (блоков) со смонтированными на них конденсаторами в процессе производства РЭА, во внутренний объем корпуса разгерметизированных конденсаторов может привести к деградации электрических параметров изделий вплоть до полной потери работоспособности. В случае танталовых объемно-пористых конденсаторов в танталовых корпусах происходит испарение электролита, а в высоковольтных конденсаторах с органическим синтетическим диэлектриком – испарение (вытекание) пропитывающих материалов.

МЕХАНИЗМЫ ОТКАЗА: развитие чрезмерных механических напряжений с образованием трещин в стекле (керамике) в области сая между металлом и стеклом изолятора, трещин в области сая между внешним выводом и изолятором, ме-

жду изолятором и корпусом, вызванных механическими нагрузками, приложенными к внешнему выводу (например, при формовке выводов в процессе монтажа изделий в состав РЭА и испытательных приспособлений, при транспортировке, а также при свободном перемещении секции внутри корпуса конденсатора).

При неудовлетворительном выполнении спая металла со стеклом (например, при неоправданном понижении температуры сварки), некачественной запайке (заварке) трубочки изолятора и изолятора в корпус нарушение герметичности может происходить при допустимых технических условиях нагрузках.

Образование микротрещин в стекле изолятора в результате механических воздействий при обжимке трубочки изолятора и высокотемпературных воздействий в процессе впайки изолятора в корпус и запайки трубочки изолятора (сварки изолятора в корпус, заварки трубочки изолятора и приварки наружного вывода).

Образование микропор и трещин в припое при впайке изолятора в корпус и запайке трубочки изолятора из-за некачественной очистки поверхности и изолятора и корпуса перед пайкой и нарушение режимов пайки по температуре и времени.

Распайка трубочки изолятора и нарушение герметичности конденсаторов могли быть вызваны несоблюдением требований технических условий и стандартов по применению конденсаторов по предельно допустимой температуре и (или) времени пайки при монтаже изделий в состав радиоэлектронной аппаратуры.

Попадание влаги во внутренний объем корпуса разгерметизированных конденсаторов вызывает увеличение тангенса угла диэлектрических потерь (снижение сопротивления изоляции или уменьшение постоянной времени), а также повышенное изменение емкости с течением времени и с изменением температуры окружающей среды из-за адсорбции влаги на поверхности диэлектрика и снижения его диэлектрической проницаемости.

Попадание во внутренний объем корпуса растворителей, используемых для промывки конденсаторов в процессе их производства, а также при промывке плат со смонтированными на них конденсаторами при изготовлении РЭА, может привести к разрушению металлизированных обкладок конденсаторов с органическим синтетическим диэлектриком, разрушению переходных и контактных покрытий и, наконец, самого диэлектрика в результате химического (электрохимического) взаимодействия с растворителями.

Следствием указанных процессов является деградация электрических параметров, вплоть до полной потери работоспособности конденсаторов. Кроме того, как правило, растворители обладают достаточно высокой проводимостью, что приводит к снижению сопротивления изоляции и повышению тангенса угла диэлектрических потерь конденсатора при их проникновении во внутренний объем корпуса даже в тех случаях, когда не происходит повреждения внутренних элементов конструкции конденсатора.

У танталовых объемно-пористых конденсаторов в танталовом корпусе при разгерметизации испарение электролита приводит к повышению тангенса угла диэлектрических потерь и снижению (потере) емкости.

У высоковольтных конденсаторов с органическим синтетическим диэлектриком при разгерметизации вытекание (испарение) пропитывающих материалов приводит к образованию воздушных полостей и, как следствие, возрастанию тан-

генса угла диэлектрических потерь, снижению сопротивления изоляции и пробою (перекрытию) по воздушным промежуткам.

ДИАГНОСТИКА ОТКАЗА: визуальный контроль пол микроскопом с увеличением 7,5–100×; измерение электрических параметров до и после сушки конденсаторов в течение 24 часов при предельно допустимой температуре; контроль герметичности; исследование секций конденсаторов на наличие следов воздействия влаги, промывочных материалов, флюсов и др. (проведение углубленного физико-химического анализа после вскрытия конденсаторов).

2.12. Нарушение уплотнения конденсаторов

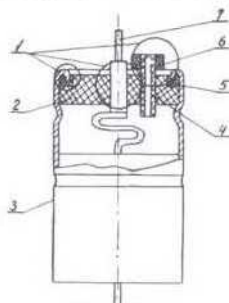


Рис. 12:

1 – места локализации отказа; 2 – крышка; 3 – корпус; 4 – клапан; 5 – резиновая прокладка; 6 – резиновая трубка клапана; 7 – стержневой или лепестковый вывод

ОПИСАНИЕ ОТКАЗА:

Характеристика изделия	Условия отказа
Конденсаторы постоянной емкости, уплотненные, алюминиевые оксидные электролитические и танталовые оксидные объёмно-пористые.	Отказы были зафиксированы при измерении электрических параметров изделий в нормальных условиях и при контроле внешнего вида после испытаний на надежность, сохраняемость, климатические и механические воздействия, а также при функционировании в составе радиоэлектронной аппаратуры.

МЕХАНИЗМ ОТКАЗА: низкое качество узла уплотнения может быть обусловлено нарушением технологии изготовления конденсаторов – некачественной завальцовкой узла уплотнения, недостаточной глубиной уплотняющего зига, смещением зига по высоте конденсатора, увеличенным отверстием в уплотняющей резине в месте выхода вывода, некачественным изготовлением крышки (стравливающего клапана), механическим повреждением узла уплотнения, перекосом уплотняющей резины (фторопласта и др.) при сборке, а также применением уплотняющих материалов, прежде всего резины, не отвечающих требованиям технических условий по физико-механическим свойствам.

Нарушение узла уплотнения может быть вызвано избыточным давлением газов внутри корпуса конденсатора, обусловленного превышением допустимой температуры эксплуатации или внутренним перегревом из-за превышения допустимых электрических режимов эксплуатации (повышенной плотности тока).

ДИАГНОСТИКА ОТКАЗА: проверка внешнего вида и геометрических размеров, измерение электрических параметров конденсатора.

2.13. Нарушение уплотнения в области соприкосновения металла с компаундом

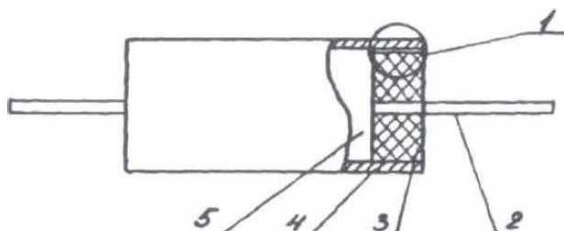


Рис. 13:

1 – область локализации дефекта; 2 – внешний вывод; 3 – компаунд; 4 – корпус; 5 – секция

ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТА:

Характеристика изделия	Условия отказа
Конденсаторы в металлических корпусах, герметизированные компаундом.	Дефекты (отказы) были обнаружены при визуальном осмотре с последующим измерением электрических параметров конденсаторов после испытаний на надежность, климатические и механические воздействия, а также в процессе эксплуатации конденсаторов в составе радиоэлектронной аппаратуры.

ПРИЗНАК ДЕФЕКТА (ОТКАЗА): дефект характеризуется отслоением компаунда от металла корпуса, что вызывает несоответствие внешнего вида изделия образцам и разуплотнение корпуса; попадание влаги, промывочных материалов и др. в разуплотненный корпус вызывает отказ конденсатора из-за изменения его электрических параметров – снижения сопротивления изоляции, повышения тангенса угла диэлектрических потерь, повышенного ухода емкости, пробоя диэлектрика и др.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТА (ОТКАЗА): отклонение герметизирующего компаунда от металлического корпуса вследствие низкой адгезии.

Образование отверстий (отслоений) в области соприкосновения герметизирующего компаунда с металлическим корпусом определяется как свойствами самого компаунда, так и подготовкой корпуса к операции герметизации.

В первом случае это связано с низкой (или, наоборот, чрезмерной) текучестью компаунда, что приводит к неудовлетворительному (неравномерному) заполнению им участков металлического корпуса. Высокая текучесть компаунда при проведении герметизации конденсаторов может обусловить его неполную полимеризацию при соблюдении всех других требований технологического процесса. В этом случае процесс полимеризации завершается при испытаниях и эксплуатации конденсаторов, происходит усадка компаунда и его отслоение от металлического корпуса.

Во втором случае критичной для наступления отслоения является степень очистки корпуса перед заливкой компаунда (поскольку неоднородность металлической поверхности, а также присутствие на ней загрязнений резко снижает сцепление ее с компаундом).

При образовании сквозных отверстий в результате отслоения компаунда от корпуса и разуплотнения конденсаторов возможно проникновение влаги, промывочных материалов во внутренний объем конденсатора. Эти жидкости при взаимодействии с материалами секций вызывают отказ конденсатора из-за резкого ухудшения его электрических параметров – снижения сопротивления изоляции, повышения тангенса угла диэлектрических потерь, повышенного ухода емкости, пробоя диэлектрика и др.

ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТА (ОТКАЗА): осмотр изделия под микроскопом при увеличении $K=50\times$ с последующим измерением электрических параметров конденсаторов до и после сушки при предельно допустимых температурах в течение 24 часов. При ухудшении электрических параметров конденсаторов – углубленный и полный анализ с целью выяснения причин и механизмов отказа после разуплотнения (произошли ли отказы в результате взаимодействия внутренних элементов конденсатора с влагой, промывочными материалами и др.).

2.14. Внутренний объем корпуса.

Наличие инородных частиц внутри корпуса конденсатора

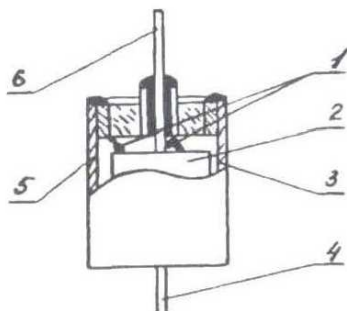


Рис. 14. Герметизированный оксиднополупроводниковый конденсатор:
 1 – частица припоя (инородное проводящее включение, место локализации отказа);
 2 – анодная секция; 3 – металлический корпус (катод); 4 – катодный вывод;
 5 – стеклометаллический изолятор; 6 – анодный вывод

ОПИСАНИЕ ОТКАЗА:

Характеристика изделия	Условия отказа
Все типы корпусных конденсаторов.	Отказы зафиксированы при измерении электрических параметров изготовления конденсаторов, после проведения производственных испытаний, после монтажа в состав РЭА и при функционировании в составе РЭА.

ПРИЗНАК ОТКАЗА: отказ характеризуется резким снижением сопротивления изоляции (повышением тока утечки) и в предельном случае коротким замыканием между электродами; если частица подвижна внутри корпуса, то отказ может носить перемежающийся характер.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗА: образование электрических цепей между электродами конденсатора в местах, не предусмотренных его конструкцией, в результате попадания внутрь корпуса токопроводящих частиц.

ДИАГНОСТИКА ОТКАЗА: измерение электрических характеристик, рентгенотелевизионная микроскопия, вскрытие корпуса изделия и обнаружение частицы путем разборки конденсатора с постоянным осмотром под микроскопом с увеличением 8–32× и последующей идентификацией состава частицы микрондодовым методом и др.

2.15. Сквозные отверстия в серебряном корпусе танталовых оксидных объемно-пористых конденсаторов чашечной конструкции

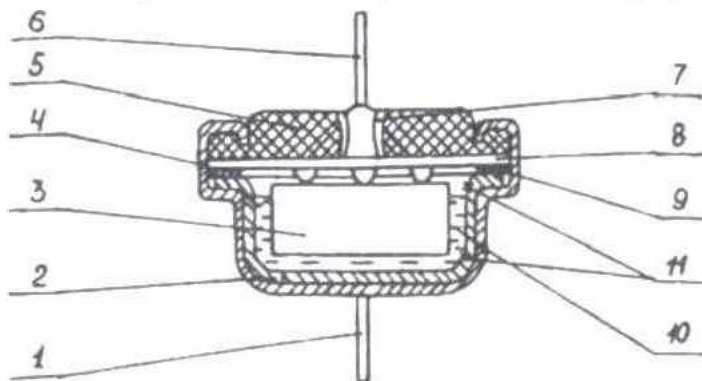


Рис. 15:

- 1 – катодный вывод; 2 – серебряный корпус; 3 – объемно-пористый анод;
 4 – стальной корпус; 5 – прокладка АПП; 6 – анодный вывод; 7 – припой;
 8 – танталовая крышка; 9 – резиновая прокладка; 10 – электролит (38 % H_2SO_4);
 11 – область локализации отказа

ОПИСАНИЕ ОТКАЗА:

Характеристика изделия	Условия отказа
Танталовые оксидные объемно-пористые конденсаторы чашечной конструкции с серебряным и стальным корпусами типа К52-2, К52-5, К52-7.	Отказы зафиксированы при измерении электрических параметров в нормальных условиях после испытаний на гамма-процентный ресурс, испытаний в форсированных режимах, а также при функционировании в составе радиоэлектронной аппаратуры.

ПРИЗНАК ОТКАЗА: отказ характеризуется частичной или полной потерей емкости и возрастанием тангенса угла потерь или увеличением тока утечки вплоть до короткого замыкания.

МЕХАНИЗМ ОТКАЗА: локальное электрохимическое растворение серебряного корпуса вплоть до образования в нем отверстия, вытекание через отверстие электролита, потеря контакта между анодом и катодом, которым служит серебряный корпус, и, как следствие, потеря емкости конденсатора. Коррозия стального корпуса под воздействием вытекшего электролита, закорачивание продуктами коррозии и электролитом катодной и анодной обкладок и, как следствие, возрастание тока утечки вплоть до короткого замыкания.

Скорость растворения металлического серебра (палладия) увеличивается при эксплуатации изделий в условиях циклической смены температур (особенно резко при достижении предела растворимости и выпадении в осадок сульфата серебра, что обусловлено зависимостью предела растворимости серебра в электролите от температуры окружающей среды), а также при наличии дефектов оксидного диэлектрика (локальные пробои, кристаллизация, утоньшение) и недостаточной развитости поверхности катодного палладиевого покрытия (из-за нарушения технологии его нанесения), приводящих к повышению плотности тока, текущего через поверхность серебряного катода [6]. К увеличению плотности тока на катоде приводит и длительное хранение конденсаторов без тренировок.

ДИАГНОСТИКА ОТКАЗА: измерение электрических характеристик конденсаторов, визуальный осмотр поверхности конденсатора и проверка с помощью метилоранжа наличия кислотной среды, промывка конденсатора в деионизованной воде с последующей сушкой, измерение электрических характеристик конденсатора, вскрытие конденсатора, осмотр его элементов под микроскопом МБС-1 с увеличением 12,5–50× и проверка соответствия конструктивных элементов требованиям конструкторской документации. Измерение электрических параметров анода.

При наличии пробоя диэлектрика – анализ места пробоя методом растровой электронной микроскопии: в местах пробоя наблюдаются характерные образования кристаллической фазы оксидного диэлектрика и разрывы сплошности аморфного оксидного диэлектрика.

Микрорентгеноспектральный анализ анода на наличие примесей меди, железа, кремния, алюминия, ниобия, цинка. Определение содержания углерода методом кулонометрического титрования.