

## МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНО МОНТИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ

© 2011 А. В. Наседкин

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

Рассмотрена методика ускоренных исследовательских испытаний паяных соединений, описаны критерии отказа таких соединений. Предложена конструкция тестового модуля. Выбрана модель надёжности паяного соединения.

*Ускоренные испытания, электрорадиоизделия, поверхностный монтаж, паяные соединения, тестовый модуль, модель.*

### Введение

Изготовление и выведение в космос изделий - очень дорогостоящие процессы. Отказавший в космосе прибор не подлежит ремонту и процедурам выявления причин отказа. По этим причинам к качеству изделия заказчики предъявляют очень серьёзные требования, одно из которых - длительный срок активного существования. При использовании поверхностно монтируемых электрорадиоизделий (ЭРИ) ИП с бессвинцовым покрытием выводов остро встаёт вопрос качества паяных соединений (ПС) и таких дефектов, как оловянные усы, дендриты, оловянная чума и др. Для прогнозирования отказов и их раннего выявления с целью корректировки технологии изготовления необходимо проводить исследовательские испытания паяных соединений. Ввиду того, что срок активного существования изделия может достигать до пятнадцати лет, проведение обычных испытаний будет слишком длительным и дорогостоящим процессом, и поэтому на первый план выходят методы ускоренных испытаний.

### Критерии отказа при испытании паяных соединений

Одна из наиболее сложных задач, которая стоит при проведении ускоренных испытаний – это определение усталости паяного соединения и его последующее обнаружение.

Сравнение результатов испытаний может затрудняться либо вообще быть невозможным из-за несопоставимости критериев отказа. К этим критериям относятся: периодический визуальный контроль появления трещин в паяном соединении, поиск нарушения структуры паяного соединения по снижению исходной прочности через определённые интервалы времени, наблюдение петель гистерезиса «напряжение-деформация» для отдельных паяных соединений, а также определение отказа в терминах характеристик петель гистерезиса, контроль электрического сопротивления по величине возрастания относительно исходного, мониторинг электрического сопротивления с целью обнаружения кратковременных электрических обрывов.

Критерии отказа, требующие периодического прерывания испытаний, могут значительно продлить время, необходимое для проведения испытаний, нарушить условия эксперимента и повлиять на результаты. Случайно выбранные определения отказа могут служить в качестве индикаторов разрушения лишь в случае, если они выполняются согласованно. Однако наличие множества различных определений отказа и используемых методов измерений затрудняет сравнение.

Для проведения ускоренных испытаний на надёжность необходимо использовать следующие критерии. Отказ определяется как первое прерывание электрической целостности

сти цепи, которое подтверждено девятью дополнительными прерываниями в пределах дополнительных 10% от циклической долговечности.

Обнаружение отказа должно осуществляться путем непрерывного контроля последовательной топологии испытательных контуров следующим образом:

- не менее одного прерывания цепи продолжительностью не более 1 микросекунды может быть зарегистрировано для каждого измерительного контура в течение любого интервала опроса длительностью не более 2 секунд;

- не менее 10 таких прерываний на каждый измерительный контур может быть зарегистрировано для подтверждения индикации первого отказа;

- контрольный ток не превышает 2мА при напряжении не более 10 В и разрыв электрической цепи определяется по сопротивлению контура, равному 1000 Ом и более.

### Планирование эксперимента

В характеристике надёжности важно установить параметры корреляции между ускоренным воздействием напряжений и внешними условиями при конечном применении.

При планировании эксперимента необходимо предусмотреть проверку как минимум двух независимых переменных, чтобы сравнить их с зависимой. При испытаниях паяного соединения на надёжность единственной зависимой переменной является количество циклов, воздействию которых подвергается прибор. Циклическое воздействие

имитирует эксплуатацию прибора и связывается с условиями обстановки конечного применения. Тогда независимыми переменными следует считать следующие:

- размах колебаний температуры;
- размеры компонента;
- коэффициенты теплового расширения;
- высоту галтели паяного соединения;
- жесткость выводов;
- вероятность отказа.

### Тестовый модуль

Все компоненты должны быть подготовлены для внутреннего межсоединения выводов таким образом, чтобы при соединении с рисунком подложки печатного узла образовалась завершённая топология измерительного контура.

Схема соединений выводов зависит от количества входов/выходов компонента (рис. 1) и выглядит следующим образом:

- 1 вход/выход: соединить два вывода;
- 2 входа/выхода: соединить все три вывода вместе;
- или более входов/выходов: соединить только выводы, расположенные на одной и той же стороне.

Начинать необходимо от углов, попеременно выполняя внутреннее соединение пар выводов, продвигаясь по направлению к центру соответствующей стороны компонента. Если вдоль стороны компонента расположено нечётное количество выводов, центральный вывод не подключается к измерительному контуру и на схеме соединений пропускается (рис. 2).

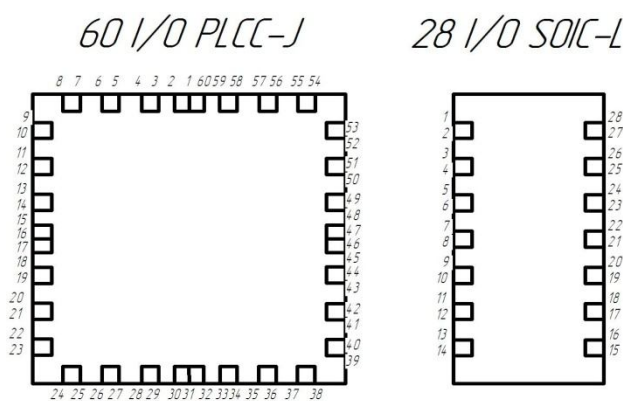


Рис. 1. Пример соединений выводов двух различных микросхем

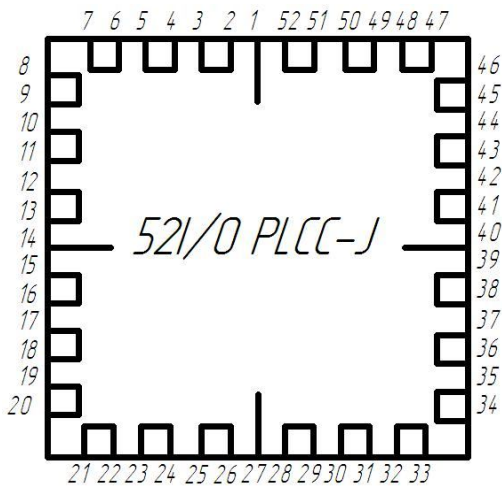


Рис. 2. Пример соединений выводов с нечётным количеством на одной стороне

В качестве имитаторов ЭРИ были выбраны компоненты фирмы TopLine Dummy Components, являющейся лидером по качеству выпускаемой продукции.

### Выбор модели надежности

В связи с тем, что в процессе испытаний не происходит восстановление паяных соединений, то получение последующих данных может служить основанием для определения параметра потока отказов.

Сбор, учёт, накопление, обработка и анализ отказов образцов тестовых модулей в процессе ускоренных испытаний должен производиться на основе заполнения карточек учёта отказа.

Для прогнозирования уровня надежности ПС выбрана математическая модель на основе  $\chi^2$  – распределения, которая позволяет дать количественную надёжностную оценку ПС при относительно малом времени испытаний и малой степени выборки по результатам испытаний, а также установить связь традиционных показателей надёжности с полученными результатами испытаний.

На языке теории групп можно сказать, что множество результатов испытаний выделяет с помощью оператора  $\chi^2$  ряд подмножеств. Элементы ряда образуют аддитивную группу. Выделение любого частичного объединения или хотя бы одного из элементов ряда даёт аддитивную же подгруппу. Использование теории групп очень перспективно в

развитии данного подхода при обработке результатов испытаний.

Продemonстрируем построение величины  $\chi^2$  и особенности ее применения при оценке надежности любой подгруппы изделий. Назовем  $p$  — вероятность появления отказа,  $q = 1 - p$ . Тогда при испытании  $N$  образцов

$$\chi^2 = \frac{(x - Np)^2}{Np} + \frac{(y - Nq)^2}{Nq}, \quad (1)$$

где  $x$  - число отказов;  $y = N - x$ .

Так как практически всегда  $q \ll p$ , то выражение можно переписать в виде

$$\chi^2 = \frac{(x - Np)^2}{Np}. \quad (2)$$

Известно, что в этом случае распределение числа отказов  $x$  подчинено закону Пуассона

$$P_x = \frac{(Np)^x}{x!} e^{-Np}. \quad (3)$$

Из этих выражений следует, что выполняется первое предположение о моделях, если выполняется второе.

Два равенства

$$x + y = N, \quad (4)$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{x=0}^N P_x(N) = 1, \quad (5)$$

с учётом  $N \gg 1$  определяют минимальное число степеней свободы, равное 2.

При испытаниях две степени свободы соответствуют отсутствию отказов, так как предполагается  $q = 1$ . В этом случае распределение величины  $u = \chi^2/2$  будет экспоненциальным. Если в процессе испытаний был зарегистрирован отказ, то это означает, что число степеней свободы становится больше двух. Каждый отказ эквивалентен, по крайней мере, одному новому условию связи (речь идет о факте, считающемся непреложным). Будем считать, что каждый отказ генерирует дополнительно две степени свободы. Тогда не могут возникать дробные степени в распределении  $\chi^2$ . Общее число степеней свободы  $m = 2n + 2$ . Соответственно, меняются квантили распределения и возрастает вероятность отказа [1]. С учётом изложенного вычисляется интенсивность отказов (Failure Rate):

$$FR = \frac{x_{1-\alpha}^2(m)}{2NHAt}, \quad (6)$$

где  $N$  — число ПС, поставленных на испытания;  $H$  — число часов при испытании под нагрузкой;  $A_t$  — коэффициент ускорения.

### Конструктивные требования

Конструкция тестового печатного узла должна допускать непрерывный электрический контроль в течение полного теплового цикла. Технология изготовления печатной платы (ПП), количество слоёв, защитное покрытие и покрытие контактных площадок должно быть идентичным штатной ячейке.

При проектировании печатного узла была использована программа Altium Designer, содержащая мощные средства интерактивного размещения компонентов и трассировки проводников, которые совместно с интуитивной и полностью визуализированной системой установки правил проектирования максимально упрощают процесс разработки электроники. Инструменты трассировки учитывают все требования, предъявляемые современными технологиями разработок, например, при трассировке дифференциальных пар или VGA компонентов. В состав программы входит автоматический трассировщик Situs, в котором используются наиболее прогрессивные алгоритмы трассировки печатных проводников. Принципиальным отличием последней версии Altium Designer является поддержка двунаправленной работы с механическими деталями и моделями компонентов в формате STEP. В дополнение к мощным средствам разработки Altium Designer имеет широкие возможности импорта и экспорта сторонних систем проектирования и поддерживает практически все стандартные форматы выходных файлов (Gerber, ODB++, DXF и т. д.). Монтаж платы выбран односторонним для облегчения процесса рентгенконтроля.

Основные конструктивные параметры тестового модуля имеют следующие значения:

- габаритные размеры (длина, ширина) 160x160 мм;
- толщина МПП 1,8мм;
- минимальная ширина печатного проводника 0,1мм;
- минимальный зазор между смежными печатными элементами 0,1мм;
- диаметр переходного отверстия (до металлизации) 70мкм;
- размер печатного пояска вокруг металлизированного отверстия 30 мкм;
- количество слоев ПП 14;
- минимальный зазор между контактной площадкой и паяльной маской по периметру 50 мкм;
- минимальная ширина перемычки в паяльной маске 0,1 мм.
- покрытие контактных площадок – Гор.ПОС-61(HASL);
- стеклотекстолит, из которого изготовлена ПП: FR-4+ толщиной 0,10...0,20мм, двухсторонний фольгированный, фольга медная 35мкм;
- паяльная маска Dynamask KM 75 фирмы Morton, зеленая (толщина 75мкм)[2].

Печатный узел с установленными ЭРИ приклеивается к плоскому основанию металлической рамки через прокладку. Для приклейки печатного узла к рамке можно использовать ЭЛАСИЛ-137 либо компаунд КТ-102, но выбор был остановлен на последнем, так как этот компаунд используется на штатной ячейке и не внесёт погрешности в исследование.

Металлическая рамка изготовлена из алюминиевого сплава марки типа Д16 с покрытием Ан.Окс.н.хр., имеет плоское основание и замкнутую по периметру обечайку.

В металлической рамке выполнены окна: в обечайке для прохождения разъема; в основании на плоскости металлической рамки для прохождения ЭРИ, установленных на ПП.

Закрепление тестовых модулей аналогично креплению штатных ячеек в блоке показано на рис. 3.

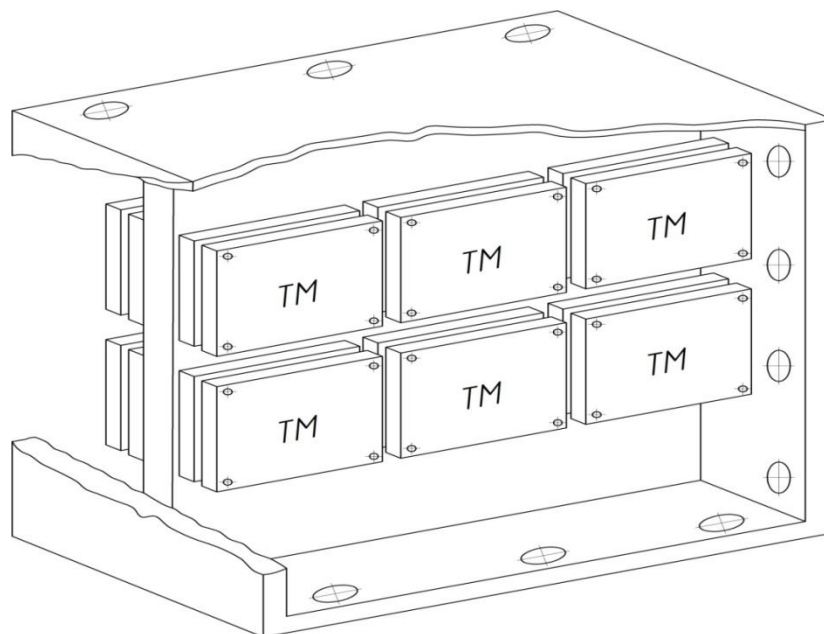


Рис. 3. Эскиз тестового электронного блока

#### Библиографический список

1. Абомелик, Т. П. Методы и средства испытаний РЭС: методические указания [Текст] / Т. П. Абомелик, М. В. Теленкова. - Ульяновск: Ул.ГТУ, 2008. - 21с.

2. Федулова, А. А. Многослойные печатные платы [Текст] / А. А. Федулова, Е. П. Котов, Э. Р. Явич. - М.: Сов.радио. - 1977.- 248с.

### METHOD OF ACCELERATED TEST RESEARCH SOLDERED JOINTS SURFACE MOUNT DEVICES

© 2011 A. V. Nasedkin

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov  
(National Research University)

The method of accelerated testing of solder joints of research, described the criteria for refusal of such compounds. The design of the test module. Model is chosen reliability of the solder joint.

*Accelerated testing, surface mount, solder joints, tests module, model.*

#### Информация об авторе

**Наседкин Алексей Васильевич**, аспирант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [kipres@ssau.ru](mailto:kipres@ssau.ru). Область научных интересов: испытания электронных узлов космической аппаратуры.

**Nasedkin Aleksei Vasilevich**, post-graduate student, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: [kipres@ssau.ru](mailto:kipres@ssau.ru). Field of research: testing electronic components of spacecraft.