

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ УСКОРЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ

К. т. н. А. Н. Тыныныка

Одесский национальный политехнический университет
Украина, г. Одесса
polalek562@gmail.com

Число измерений и длительность испытаний выражены через предельно допустимую долю не выявленных ненадежных электронных узлов. Определено время проведения испытаний для линейной модели изменения параметров узлов. Предложенным расчетом можно пользоваться при составлении плана ускоренных испытаний.

Ключевые слова: паяные соединения, электрорадиоизделия, ускоренные динамические испытания.

Одной из важных проблем надежности электронных изделий, возникшей после одобрения Европейским Парламентом и Советом директивы об отходах радиоэлектронного оборудования (WEEE — Waste Electrical and Electronic Equipment) и директивы о сокращении опасных веществ в таком оборудовании (RoHS — Restriction of Hazardous Substances), является надежность паяного соединения выводов изделия с бессвинцовым покрытием, но с использованием содержащего свинец припоя.

Переход к бессвинцовым технологиям при сборке печатных узлов ставит перед технологами предприятий электронной промышленности наиболее существенные за последние десятилетия задачи. Они связаны с фундаментальными физическими и химическими изменениями, вносимыми в процесс оплавления, которые затрагивают не только процесс пайки, но и операции контроля качества паяных соединений. Такой переход актуален для всех предприятий, связанных с производством печатных узлов, даже если поставка продукции на европейский рынок не планируется, поскольку на предприятия поступают электронные компоненты с бессвинцовыми покрытиями выводов. Это повлекло за собой проблемы с качеством паяных соединений. Все бессвинцовые припои, предлагаемые взамен традиционных, добавляют технологам проблем на всех этапах сборки печатных узлов, повышая риск появления технологических дефектов [1, 2]. Усложняется и ремонт печатных узлов из-за более высокой температуры плавления. В этих условиях стратегия контроля и испытаний, ориентированная на предупреждение дефектов и улучшение технологии по результатам испытаний, получает дополнительные стимулы к развитию по сравнению с традиционной, ориентированной только на диагностирование и локализацию дефектов. Необходимыми становятся испытания на надежность изделий, в которых использовалась комбинированная пайка. По их результатам может быть сделан вывод о совершенстве технологии, надежности аппаратуры и ее устойчивости к внешним воздействиям.

Изделия электронной техники обладают высокой надежностью — интенсивность отказов находится в пределах 10^{-9} — 10^{-6} 1/ч. Это предполагает длительный срок активного существования изделий, когда обычные методы длительных испытаний становятся неприемлемыми из-за продолжительности, а методы расчета длительности [3] непригодными. В таком случае на первый план выходят ускоренные испытания при форсированных режимах, позволяющие значительно сократить время исследования и его стоимость. При этом возникает задача определения рационального времени динамических испытаний, вариант решения которой предлагается в настоящей работе.

Будем считать, что зависимость параметров электрорадиоизделий (ЭРИ) от времени можно описать линейной моделью следующего вида:

$$x(t_i) = \alpha_0 + \alpha_1 t_i + \xi_{i1},$$

где α_0 , α_1 — неизвестные неслучайные коэффициенты; ξ_{i1} — случайная величина, дисперсия σ^2 которой не зависит от времени t_i , а ковариация случайных величин ξ_{i1} и ξ_{j1} равна нулю при $i \neq j$. Такое допущение можно принять, если количество измеренных параметров ЭРИ в процессе испытаний не-

лико (при ускоренных испытаниях чаще всего измеряется один параметр) и, следовательно, выбор модели более высокого порядка нецелесообразен.

Оценив величину математического ожидания и дисперсию параметров ЭРИ, можем оценить верхнюю границу вероятности выхода значений этих параметров для надежного изделия за границы условного отказа. Вероятность P того, что значение параметра A_i для надежного ЭРИ превысит границу условного отказа, равную x_0 , как следует из неравенства Чебышева, ограничена:

$$P_{A_i} \leq \sigma^2 / (x_0 - \alpha_0)^2,$$

то есть пренебрежимо мала.

Найдем теперь такую длительность испытаний, чтобы вероятность ошибочной классификации потенциально ненадежного изделия как надежного была бы пренебрежимо малой. Для этого необходимо, прежде всего, оценить вероятности выхода измеряемых параметров P_{A_i} потенциально ненадежного ЭРИ за границу условного отказа.

Пусть произведено n измерений параметра ЭРИ. Тогда вероятность p_d того, что d измерений превысили границу условного отказа, задается биномиальным распределением

$$p_d = C_n^d p^d (1-p)^{n-d},$$

где p — вероятность выхода параметра потенциально ненадежного ЭРИ за границу условного отказа при одном измерении.

Таким образом, задача оценивания вероятности выхода измеряемого параметра потенциально ненадежного ЭРИ по выборке результатов измерений в процессе испытаний является задачей оценивания параметра биномиального распределения.

Воспользуемся МГД-оценкой, дисперсия которой равна минимальной границе дисперсии. Параметр p биномиального распределения в таком случае оценивается как $p = d/n$, где d — число превышений границы условного отказа в выборке объемом n . Дисперсия такой оценки $D = p(1-p)/n$.

Вероятность того, что при k измерениях параметр ненадежного ЭРИ ни разу не превысит границы условного отказа, оценивается величиной $(1-p)^k$. Для j критичных параметров вероятность отнести потенциально ненадежное ЭРИ к надежным оценивается величиной $(1-P_{A1})^k (1-P_{A2})^k \dots (1-P_{Aj})^k$.

Время испытаний зависит от доли γ_n невыявленных потенциально ненадежных ЭРИ. Через предельно допустимую долю γ_n можно выразить число измерений как наименьшее целое k , а затем и полное время испытаний, которое вычисляется по формуле

$$t_n = (\{\ln \gamma_n / \ln[(1-P_{A1})(1-P_{A2}) \dots (1-P_{Aj})]\} - 1)T,$$

где T — интервал времени между измерениями.

Таким образом, составляя план ускоренных испытаний, можно руководствоваться предложенным расчетом необходимого для этого времени.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Гафт С. А., Матов Е. Б. Стратегия контроля качества при переходе к бессвинцовым технологиям // Электроника НТБ. — 2005. — Вып. 5. — С. 24—27.
2. Егоров Е. В. Смешанная технология и надежность паяных BGA-соединений // Технология в электронной промышленности. — 2013. — № 4. — С. 19—23.
3. Тыныныка А. Н. Длительность испытаний для определения надежности радиоэлектронных средств // Труды 18-й МНПК «Современные информационные и электронные технологии». — Украина, г. Одесса. — 2017. — С. 31—32.

А. Н. Тынныка

Calculation of the time for accelerated production tests of soldered joints of electronic nodes

The number of measurements and the duration of the tests are expressed through the maximum permissible fraction of unidentified unreliable electronic nodes. The time required for the tests of the linear model of node parameters variation is determined. The proposed calculation can be used to compile an accelerated test plan.

Keywords: solder joints, radio electronic devices, accelerated dynamic tests.