

# Оценка вибропрочности монтажных соединений в электронных модулях

**С увеличением функциональной сложности электронной аппаратуры растут проблемы повышения ее надежности в различных условиях эксплуатации. Для сокращения времени и стоимости технологических испытаний электронных модулей применяют ускоренные методы механического воздействия на электродинамических стендах.**

**Владимир Ланин,**  
профессор

vlanin@bsuir.by

**Валерий Парковский**

Rocker-87@yandex.ru

В настоящее время основным способом повышения качества и надежности электронных модулей является проведение технологических отбраковочных испытаний. Подсчитано, что при доле дефектности партии интегральных микросхем в пределах 0,01% количество отказов электронных модулей, на которых смонтировано по 100 микросхем, может составить 1%. При этом расходы на восстановление электронной аппаратуры в процессе эксплуатации на порядок выше, чем при ее изготовлении [1].

Функционально-сложная электронная аппаратура систем управления содержит десятки и даже сотни электронных модулей, на которых смонтировано несколько тысяч электронных компонентов: от чиповых резисторов, конденсаторов, диодов до микросхем высокой степени интеграции в корпусах PLCC, QFP, BGA и др. Число паяных соединений в таких модулях достигает уже десятков тысяч, поэтому надежность электронной аппаратуры во многом зависит от качества и надежности самих монтажных соединений [2].

В процессе эксплуатации паяные соединения подвергаются различным видам воздействия, включая циклическое воздействие температуры окружающей среды, и механическим нагрузкам (вибраци-

ям, ударам), что может привести к появлению преждевременных отказов. Для выявления дефектных соединений на этапе технологической тренировки электронных модулей применяют различные методы ускоренных испытаний. К ним относятся методы термоциклирования при повышенной температуре, а также методы ускоренных вибрационных испытаний. В последнем случае вероятной динамической моделью разрушения соединения является образование усталостных трещин в местах микро- и макродефектов и их рост до разрушения соединения. Скорость роста трещин зависит от свойств материалов соединения, характера прикладываемой нагрузки и внешних факторов и может быть аппроксимирована по формуле Пэриса [3]:

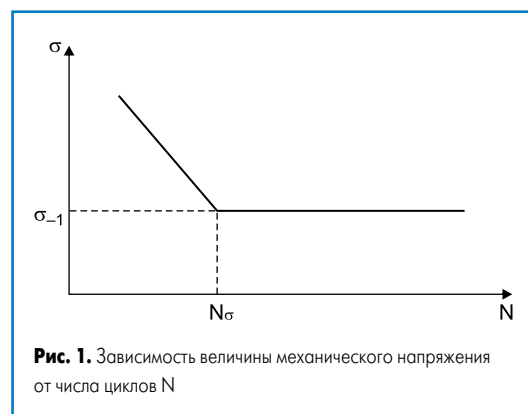
$$\frac{dl}{dN} = C (\sigma \sqrt{\pi l})^m, \quad (1)$$

где  $l$  — длина трещины;  $N$  — количество циклов испытаний;  $\sigma$  — напряжение в материале;  $C$  и  $m$  — эмпирические коэффициенты.

Механические воздействия на электронный модуль, являющиеся функцией времени, могут быть количественно оценены следующими параметрами: силой  $F(t)$ ; перемещением  $S(t)$ ; скоростью  $V(t) = dS/dt$ ; ускорением  $V(t) = d^2S/dt^2$  и спектром колебаний  $P(t)$ . При испытаниях на вибрационные воздействия задают форму вибрации  $F(t)$ , амплитуду  $A$  или перегрузку  $g$ .

Основной причиной появления трещин в паяном соединении является воздействие переменного напряжения  $\sigma_m$ . Число циклов до появления трещины (нарушения контакта соединения) зависит от величины возникающего механического напряжения. Усталостная прочность определяется только амплитудным значением  $\sigma_m$  и не зависит от закона его изменения во времени и частоты колебаний. Проводя многократные испытания, можно определить число циклов  $N$ , которое выдерживает образец до разрушения, в зависимости от величины  $\sigma_m$  цикла (рис. 1).

Напряжение  $\sigma_{-1}$  называют пределом усталости, при котором деформация остается упругой и обра-



**Рис. 1.** Зависимость величины механического напряжения от числа циклов  $N$

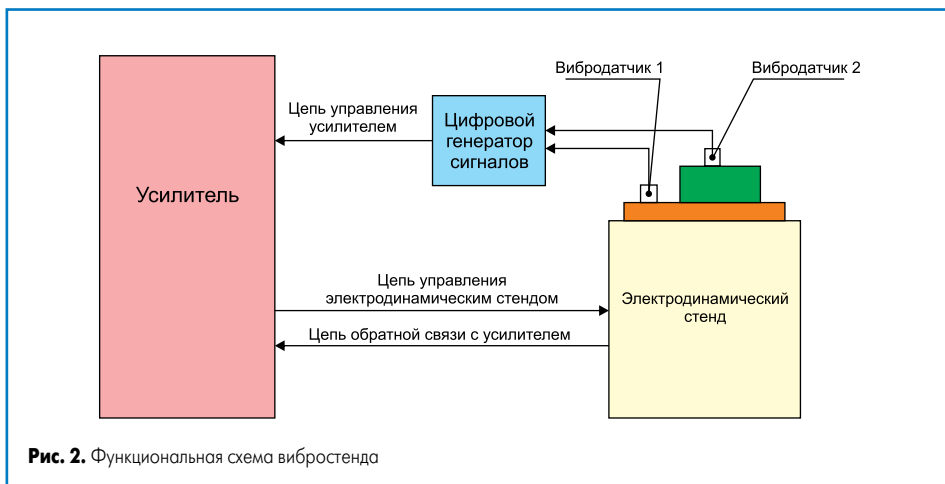


Рис. 2. Функциональная схема вибростенда

зец не подвергнется разрушению при любом количестве циклов. При  $\sigma_m > \sigma_{-1}$  общее число циклов до разрушения произойдет за время:

$$t = \sum_1^N T = NT = \frac{N}{f}, \quad (2)$$

где  $T, f$  — период и частота воздействующих колебаний.

Для различного рода материалов существуют диаграммы усталостных напряжений, по которым можно определить число циклов, которое может выдержать материал при возникновении в нем определенного напряжения.

Процесс проведения ускоренных виброиспытаний заключается в следующем: на электродинамическом стенде закрепляют опытный образец электронного модуля, на который устанавливают один или несколько датчиков, дополнительный датчик устанавливают на плиту стенда для отслеживания параметров вибрации (корректирующая обратная связь) (рис. 2). По данным датчиков, установленных на образце, оценивают его реакцию на воздействие вибрации. Датчик 1 контролирует параметры проведения испытаний (является обратной связью между электродинамическим стендом и цифровым генератором сигналов), а датчик 2 отображает реакцию образца на воздействие вибрации.

В качестве усилителя сигналов использовался А 1011 010 фирмы Tira Vibration (рис. 3а). С цифрового генератора на него подаются сигналы различной формы и спектра, они усиливаются по амплитуде и затем подаются на динамическую головку, которая осуществляет преобразование электрического сигнала в механическое воздействие. В качестве динамической головки использовался электродинамический стенд S 55240/LS-340 (рис. 3б).

Технические характеристики усилителя А 1011 010:

- максимальная выходная мощность — 11 кВт;
- диапазон воспроизводимых частот — 1–4 кГц;
- отношение сигнал/шум — >90 дБ.

Технические характеристики электродинамического стенда S 55240/LS-340:

- Сила воздействующей вибрации:
  - sin — 4000 Н;
  - random — 4000 Н;
  - shock — 8000 Н.

- Диапазон воспроизводимых частот — 1–3000 Гц.
- Максимальная перегрузка:
  - sin — 49g;
  - random — 49g;
  - shock — 98g.
- Максимальная амплитуда вибрации — 50,8 мм.



Рис. 3. а) Усилитель А 1011 010; б) электродинамический стенд S 55240/LS-340

В соответствии с программой проведения испытаний задаются параметры механических воздействий, с помощью которых имитируются реальные условия эксплуатации [4]. После проведения испытаний оценивается состояние образца и проверяется его работоспособность.

Испытанию на вибростенде подвергалась плата генератора высокочастотных колебаний с установленным фазостабильным кабелем (для передачи ВЧ-сигнала в блок цифровой обработки). Упрощенный вид конструкции изо-

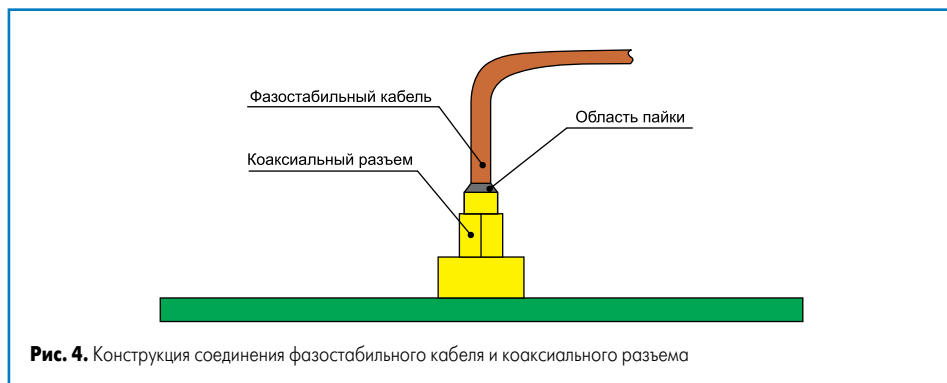


Рис. 4. Конструкция соединения фазостабильного кабеля и коаксиального разъема

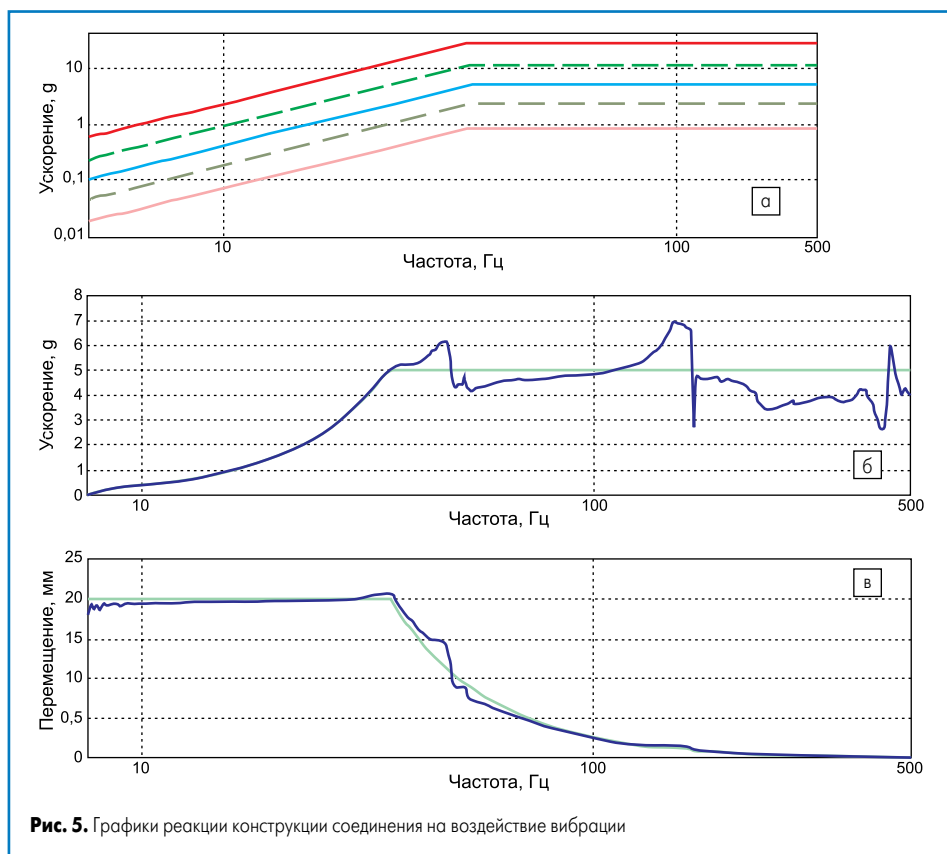


Рис. 5. Графики реакции конструкции соединения на воздействие вибрации

бражен на рис. 4. Испытания проводились при перегрузке 5g в частотном диапазоне 50–500 Гц методом качающейся частоты с количеством циклов, равным 100.

На рис. 5а отображены заданные параметры проведения испытаний и ограничения, установленные с целью предотвращения разрушения образца. Штриховой линией ограничена зона допустимого отклонения параметров в процессе испытаний, а сплошной линией обозначена зона критического отклонения параметров: при попадании параметров за пределы этой зоны стенд автоматически прекращает проведение испытаний.

На рис. 5б–в изображены ускорение (перегрузка) и перемещение (полученное методом интегрирования данных с датчика) как реакция конструкции на воздействие вибрации. Согласно рис. 5б конструкция имеет три ре-

зонанса, а также область, резонирующую в определенном частотном диапазоне. На резонансных частотах не происходит двукратного превышения амплитуды и ускорения (перегрузки). Воздействие этого типа вибрации не привело к разрушению испытываемого образца, однако были обнаружены трещины в местах паяных соединений коаксиальных фазостабильных кабелей.

При детальном изучении образца оказалось, что трещина в области паяного соединения кабеля появилась по причине нарушения технологии пайки — «холодная пайка».

Таким образом, применение ускоренных вибрационных испытаний электронных модулей на электродинамических стендах позволяет достаточно быстро выявить дефектные монтажные соединения, при этом сокращаются время и стоимость испытаний. ■

## Литература

1. Горлов М. И., Емельянов В. А., Ануфриев Д. Л. Технологические отбраковочные и диагностические испытания полупроводниковых изделий. Минск: Белорусская наука, 2006.
2. Егоров Л. Н. Паяные соединения. Конструктивно-технологические аспекты обеспечения надежности // Печатный монтаж. 2011. № 2.
3. Кашапов М. Ускоренные вибрационные испытания // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 3.
4. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 20.57.406-81. Комплексная система контроля качества изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. С послед. изм. М.: ИПК «Издательство стандартов», 2003.