

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ВИБРОИСПЫТАНИЙ ТЕСТОВЫХ БЛОКОВ

А.В. Наседкин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Исследование динамики сложных механических систем, подвергающихся действию ударных и вибрационных нагрузок, особенно при создании и разработке образцов ракетно-космической техники, является одной из наиболее быстро развивающихся областей прикладной механики.

Одной из важнейших проблем, связанных с поведением конструкций при динамических воздействиях, является решение задачи моделирования поведения паяного соединения в электронных сборках с поверхностно монтируемыми элементами, при изготовлении которых используется комбинированный метод (пайка свинцовсодержащим припоем элементов с бессвинцовым покрытием выводов на печатные платы с бессвинцовым финишным покрытием). Это объясняется тем, что данный вид монтажа в аэрокосмической отрасли в России имеет малый опыт практического применения. Не последнюю роль играет и повышение динамических нагрузок за счет увеличения мощности и расширения диапазона воздействия ракетносителя.

Одной из областей применения электронных сборок со смешанным монтажом являются системы приема-передачи информации спутников дистанционного зондирования Земли. В процессе вывода на орбиту такого спутника его аппаратура подвергается интенсивным нагрузкам, имеющим сложный, затухающий во времени характер, распределенный в широком диапазоне частот. Эксперименты, проводимые в управляемых условиях, показали, что широкополосное воздействие при испытаниях можно успешно моделировать применяя непериодическую (случайную) вибрацию. Спектры непериодической вибрации определяются как профили спектральной плотности ускорения, которые связывают уровни плотности энергии с определенными полосами частот. Вибрация определяется относительно соответствующего частотного диапазона. Использование среднеквадратичных значений ускорения для описания вибрационных испытаний некорректно, поскольку среднеквадратичное значение ускорения не характеризует конкретный профиль вибрации. Одним среднеквадратичным значением ускорения можно описать бесконечное количество сочетаний частотных полос и спектральных форм. Поэтому при измерении величины и спектрального

состава вибраций при испытаниях всегда необходимо соотносить энергосо-
держание с определённой полосой частот.

Так, в некоторых точках при выведении космического аппарата ракетой-носителем, на приборы воздействуют различные периодические вибрации. Эта форма вибрации может преобладать в критической полосе частот, поэтому при испытаниях уместно применять вибрацию с задержкой времени источника. Возбуждение от источника с задержкой может быть широкополосным случайным, случайным в узкой полосе частот, либо в виде одной или более синусоидальных волн

Этот подход отличается от распространенных синусоидальных резонансных испытаний с задержкой. Резонансная задержка выделяет те частоты, на которых резонирует испытываемый образец. Задержка времени источника выделяет те частоты, которые преобладают в окружении платформы. Очевидно, что спектр источника с задержкой времени обеспечивает в таком случае более реалистичные результаты испытаний.

В ходе проведения эксперимента необходимо делать поправку, учитывающую влияние механического импеданса, поскольку преимущества от приближения условий испытаний к реальным компенсируются затратами времени, усилий и финансирования.

Реакция конструкции оборудования скрывает собственное динамическое влияние на функцию внешнего воздействия. На резонансных частотах тестового блока, когда ответные воздействия возрастают, он нагружает прилегающие опорные элементы (то есть создает провалы характеристики спектральной плотности ускорения на этих частотах). Величина влияния нагрузки определяется относительным импедансом конструкции оборудования и опорных элементов. Как показывает практика испытаний приборов при проведении конструкторско-доводочных испытаний, резонирующий элемент создаёт нагружающую силу, пропорциональную его динамической массе, умноженной на соответствующий коэффициент усиления.

Влияние механического импеданса может дать свой вклад в образование спектра вибрационных испытаний. Глубина провалов определяется по результатам измерений или расчётным путём.

Для вибрационных испытаний тестового блока необходимо наличие надёжного крепления, чтобы учесть точные характеристики резонансных частот и условия эксплуатации. Это должно учитываться при проектировании оснастки, также, как и отсутствие резонансных частот в полосе частот, при которых проводится испытание.

Всего существует три различных типа вибрационных испытаний, каждое из которых имеет самостоятельную цель.

Функциональные вибрационные испытания предназначены для проверки работоспособности приборов при максимальном ожидаемом уровне вибрации. Продолжительность функциональных испытаний выбира-

ется достаточной лишь для того, чтобы удостовериться в работоспособности оборудования. При испытании тестового блока проверяется способность паяных соединений сохранять значение своей электрической проводимости на всей полосе частот, то есть это означает непрерывную проверку сопротивления тестовых цепей.

Испытания на стойкость проводятся с целью продемонстрировать, что паяные соединения обладают необходимой долговечностью, закладываемой конструктором в ТУ. Уровни и продолжительность испытаний на стойкость устанавливаются путём подъёма функциональных уровней и увеличением длительности испытания до возникновения усталостных повреждений, эквивалентных приобретаемым в течение срока службы. Это приводит к тому, что уровни вибрационных испытаний превышают максимально ожидаемые при эксплуатации, в некоторых случаях они намного выше. В испытаниях на стойкость не обязательно устанавливается усталостная долговечность, поскольку они не продолжаются до разрушения паяного соединения. Испытания на стойкость проводятся только в течение заданного периода времени. Статистическая величина выборки достаточно мала, чтобы адекватно судить об усталостной долговечности.

- При ускоренных испытаниях на долговечность применяются повышенные функциональные уровни, как и в испытаниях на стойкость, но испытания длятся до отказа тестовой цепи, то есть превышения значения её сопротивления выше заданного. При этом должно использоваться несколько тестовых плат, чтобы обеспечить статистическую достоверность ускоренной усталостной долговечности.

Для масштабирования уровней вибрации, продолжительности испытаний и вывода преобразований ускорения при нагружении случайной вибрацией используется упрощенное соотношение для усталости. В уравнении сравниваются два режима испытаний, 1 и 2:

$$\left(\frac{SPZ_1}{SPZ_2}\right)^M = \frac{t_2}{t_1}$$

где СПЭ- спектральная плотность энергии ($G^2/Гц$);

t – время (с);

M – константа материала,

и представлена линейная билогарифмическая зависимость СПЭ от времени, отрицательный наклон которой равен $1/M$, если откладывать время на горизонтальной оси. Уравнение (1) может быть представлено в виде соотношения Баскина для многоциклового усталости или в виде общепризнанной кривой S/N, линейной двойной логарифмической зависимостью между напряжением и количеством циклов до наступления отказа. Значение M для паяных соединений находится в пределах от 3 до 4.

Небольшое отклонение значения показателя M может вызвать существенное изменение прогнозируемой долговечности печатного узла, если уравнения используются для пересчета при переходе от одного режима к другому. Вероятность возникновения ошибки экстраполяции особенно возрастает, если долговечность по двум режимам отличается более чем в десять раз, поэтому при проведении испытания необходимо выбрать продолжительность с учётом целесообразности работы на низких уровнях вибрации.

Список использованных источников

1. Руководящие указания по ускоренным методам испытаний на надёжность паяных соединений технологии поверхностного монтажа, IPC-SM-785, - Association Connecting Electronics Industries, 1992- 44с.
2. Федоров, В.К., Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств [Текст]/ В.К. Федоров, Н.П. Сергеев, А.А. Кондрашин, - Москва: Техносфера, 2005-504 с.
3. Соустин, Б.П. Виброиспытания космических аппаратов [Текст]/ Б.П. Соустин, Н.А.Тестоедов, А.Г. Рудометкин, А.В. Алякин, - Красноярск, Наука, 2000-171 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОИСКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ОШИБОК ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ

А. Н. Коварцев, Д. С. Оплячко

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

О применении метода статистических испытаний для целей тестирования программных модулей уже известно давно. Сущность метода сводится к генерации случайных векторов исходных данных $\xi = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ модуля $F(X)$, распределенных равномерно в области определения $\xi \in \Omega_X$. При условии $\Omega_F \neq \emptyset$, разыгрывая достаточно большое количество независимых векторов ξ , мы, с определенной вероятностью, попадем в область Ω_F и, тем самым, обнаружим ошибку в программе. Применение может быть ограничено только трудоемкостью метода решения задачи, поскольку сам метод чрезвычайно прост как в реализационном плане, так и с точки зрения требований, предъявляемым к свойствам тестируемой функции.

Существует множество способов формального определения сложности численного метода. По отношению к классу задач численной