

ВИБРАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Рассматриваются вопросы оценки надежности печатных плат, приводятся результаты моделирования вибрационной устойчивости электролитического конденсатора, запаянного на плату.

Целью статьи является исследование результатов проведенного моделирования и проблем, возникающих при оценке надежности печатных плат.

Как показывает статистика, одной из основных причин отказов печатных плат, и в первую очередь многослойных, является разрыв цепей в металлизированных отверстиях. Поэтому проблеме обеспечения качества и надежности печатных плат отводится не последнее место в их производстве.

Технологический процесс изготовления печатных плат состоит из множества разнохарактерных операций, особенно для многослойных печатных плат. Почти каждая из основных операций процесса оказывает существенное влияние на качество и надежность печатной платы. С развитием и усложнением конструкции печатных плат возрастает количество испытаний, необходимых для обеспечения надежного функционирования готовых изделий, и сложность их проведения. Наиболее распространенными являются вибрационные испытания, которые позволяют выявить некачественную пайку, усталостное разрушение потенциально ненадежных элементов.

Большинство виброизмерительных приборов многофункционально так как перемещение, скорость и ускорение могут быть определены путем интегрирования или дифференцирования. Эти операции легко реализуются схемно. Многофункциональные виброизмерительные приборы отличаются от приборов для измерения одного из параметров вибрации наличием интегрирующих и дифференцирующих звеньев, а также, в ряде случаев, наличием устройств частотной коррекции, необходимых для расширения частотного диапазона. Виды функциональных преобразователей определяются типом измерительного преобразователя. Так, приборы с пьезоэлектрическими измерительными преобразователями, чувствительными к ускорению содержат только интегрирующие цепи, а приборы с фотоэлектрическими измерительными преобразователями – только дифференцирующие цепи. Наиболее широко распространены многофункциональные приборы с пьезоэлектрическими измерительными преобразователями.

Датчики, применяемые в системах контроля вибрации, бывают двух типов: контактного и бесконтактного. Датчики бесконтактного типа для измерения отклика конструкции (наиболее часто встречающиеся – вихревые и оптические) помещают в непосредственной близости от этой конструкции. Датчики контактного типа (наиболее распространенные – пьезоэлектрические и пьезорезистивные акселерометры, датчики вибрации инерционного типа) устанавливают в непосредственном контакте с конструкцией.

При измерении высокочастотной вибрации перемещения, как правило, чрезвычайно малы, а амплитудные ускорения достигают больших значений. Так, перемещению 1 мкм на частоте 1000 Гц соответствует скорость $0,6 \cdot 10^{-2}$ м/с и ускорение 40 м/с². в связи с этим при измерении параметров высокочастотной вибрации рекомендуется использовать дорезонансные акселерометры. В зависимости от задачи можно измерять амплитудные и среднеквадратичные значения ускорения.

Наиболее широко распространены акселерометры с пьезоэлектрическими измерительными преобразователями, которые имеют широкий частотный и динамический диапазоны, высокую чувствительность и реагируют непосредственно на ускорение. Последнее обстоятельство позволяет существенно упростить схемы обработки измеряемого сигнала, так как отпадает необходимость в дифференцировании и интегрировании сигналов, расширить динамический диапазон схем обработки сигнала без увеличения погрешности.

В ходе решения задачи, заключающейся в оценке надежности печатных плат, подвергающихся воздействию ударных нагрузок, было проведено моделирование вибрационной устойчивости электролитического конденсатора запаянного на плату. Моделирование проводилось с целью определения сил, возникающих в пропаянных соединениях при воздействии вибрационного возмущения в диапазоне частот от 0 до 2500 Гц.

Моделирование также проводилось с целью определения наилучшего способа закрепления конденсатора на плате и возможности использования простых демпфирующих прокладок (воздух, резина, лак) для снижения усилий передающихся элементам конструкции.

Условия моделирования были выбраны следующие: конденсатор закреплен на плате с демпфирующей прокладкой между корпусом конденсатора и платой (рисунок 1); плата закреплена по периметру. В одном из направлений прикладывается смещение, пропорциональное ускорению и обратно пропорциональное квадрату частоты.

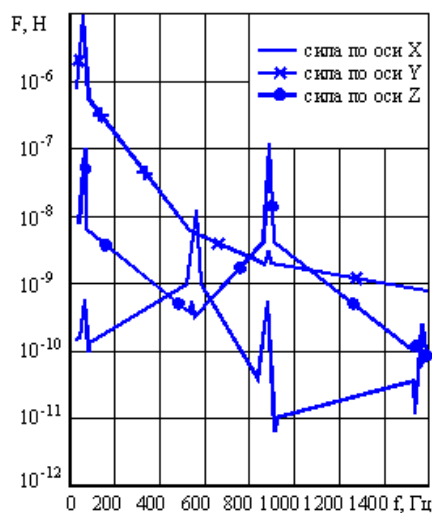


Рисунок 2 – Силы инерции, возникающие в нижней части конденсатора

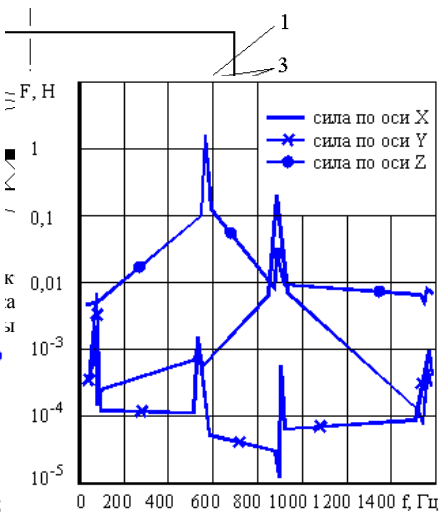


Рисунок 3 – Силы инерции, возникающие в верхней части конденсатора

Задача решалась с помощью программы конечно-элементного моделирования ANSYS 6.1. При расчете использовались гармонический и модальный анализы.

По результатам моделирования получены (таблица 1) собственные резонансные частоты конструкции с разными демпфирующими прокладками.

Таблица 1 – Собственные резонансные частоты конструкции

Тип демпфирующей прокладки	Резонансная частота, Гц			
Воздух	81,064	561,91	889,25	1575,3
Резина	1040,4	1048,1	1285,4	2219,5
Лак	1529,5	1537,5	1681	

Для уменьшения времени моделирования сил инерции, расчет проводился вблизи резонансных частот, т. е. на частотах до и после резонансной частоты расчет проводился с шагом 10 Гц (пять шагов до резонансной частоты и пять шагов после нее). Проводился также расчет на первых двух частотах (25 и 50 Гц) и на последних двух частотах (2475 и 2500 Гц).

Для сравнения нагрузок, возникающих в различных направлениях, при приложении воздействий в трех ортогональных плоскостях построены графики зависимости смещения или ускорения от частоты для трех основных направлений вибрации. Данные снимались в семи точках конструкции: точка сверху конденсатора, выводы конденсатора, внизу конденсатора, точки на переходных отверстиях сверху и центр платы.

Полученные зависимости силы от частоты (рисунок 2) свидетельствуют о том, что наибольшее усилие в нижней части конденсатора вызваны вибрацией в направлении Y. Это может быть связано с тем, что колебания в направлении Z не передаются демпфирующей прокладкой, а передача смещения происходит только через выводы конденсатора. В то время, как в направлении Y сдвигающие моменты, при смещении платы действуют на выводы конденсатора и на прокладку, а те в свою очередь на корпус конденсатора. То есть при сдвигающих направлениях вибрации происходит изгиб выводов конденсатора и корпус конденсатора, соприкасаясь через прокладку к плате, приобретает дополнительную механическую энергию.

В верхней части конденсатора (рисунок 3) наибольшие усилия возникают при возмущающей вибрации в направлении Z для основного направления вибрации и для возмущающей вибрации в направлении X для второго бокового направления, однако усилия для основного направления в 5 раз больше. Это связано с тем, что на резонансной частоте 900 Гц происходит сдвиг фазы направления смещения на 180°. В результате этого возникает резонанс сил, препятствующих такому переходу, направленных в противоположную сторону.

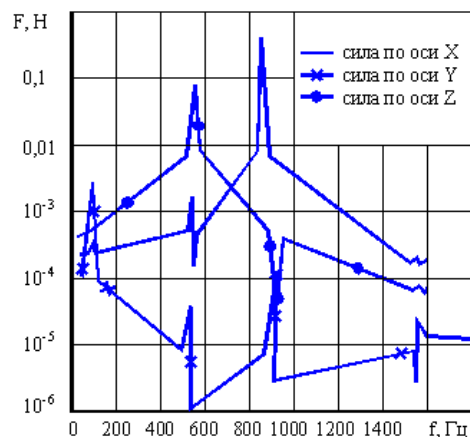


Рисунок 4 – Силы инерции, возникающие на выводах конденсатора

Наибольшие усилия (рисунок 4) на выводах внутри конденсатора возникают при возмущающей вибрации в направлении Z для основного направления вибрации и для возмущающей вибрации в направлении X, причем значения сил соизмеримы.

Зависимости (рисунок 5) силы, возникающей в переходном отверстии печатной платы, от частоты показывают, что отклик системы на вибрацию практически одинаков для всех возбуждающих направлений. Это можно объяснить тем, что переходное отверстие связано с печатной платой непосредственно

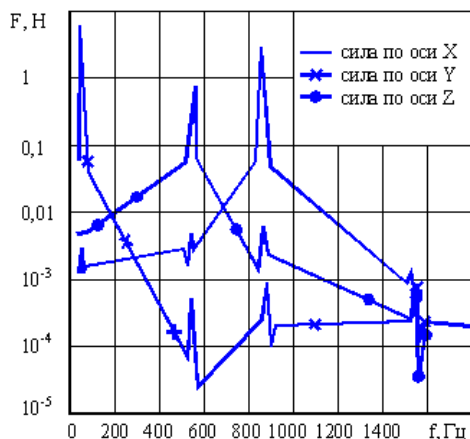


Рисунок 5 – Силы инерции, возникающие на переходных отверстиях

По результатам моделирования можно говорить о том, что проведение вибрационных испытаний для выявления ненадежных элементов, которые закрепляются на небольшом расстоянии от платы на двух выводах, вес которых больше чем суммарный вес паяных соединений и выводов, необходимо осуществлять на нелакированных платах, в этом случае на элементы (типа конденсатор) прикладывается наибольшее воздействие. После лакировки, воздействие на данный тип элементов уменьшается. Таким образом, для повышения устойчивости электролитических конденсаторов к вибрации необходимо лакировать платы так, чтобы лак затекал в промежуток между платой и конденсатором. Так как боковые составляющие при закреплённом конденсаторе лаковой прослойкой увеличиваются, то для уменьшения подобного влияния необходимо скреплять конденсаторы (рядом стоящие компоненты) между собой компаундом или клеем. В паяном соединении основные нагрузки приходятся на верхнюю и нижнюю

части оловянной галтели, причем эти нагрузки направлены по линии расположения выводов.

Помимо вибрационных большое значение для обеспечения надежности печатных плат имеют испытания изделий и их элементов на воздействие механического удара, выполняемые на специальных ударных испытательных установках. Ударный метод оценки надежности имеет значительное преимущество перед вибрационными испытаниями, так как при ударе каждый элемент, закреплённый на печатной плате, начинает колебаться на частоте собственного резонанса, и испытание происходит гораздо быстрее. При этом ускорение колебательной системы определяет в большинстве случаев механическое напряжение в точках крепления и относительное смещение элементов.

В дальнейшем планируется проведение ряда экспериментов для исследования параметров ударного воздействия на паяные соединения печатных плат.

Библиографический список

1. Генкин М.Д. Вибрации в технике. Измерения и испытания: Справочник [В 6-ти т.] / М.Д. Генкин. — М.: Машиностроение, 1981. — 496 с.
2. Ключев В.В. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник [в 2-х т.] / В.В. Ключев. — М.: Машиностроение, 1978. — 448 с.
3. Конструированиеи технология печатных плат: Учеб. пособие для вузов / А.Т. Жигалов, Е.П. Котов К.Н. Шихаев. — М.: Высш. шк., 1973. — 123 с.
4. Половко А.М. Инженерные методы исследования. Надежность радиоэлектронных систем. / А.М. Половко Пер. с англ. А.Г. Варжапетяна. — М.: Сов. радио, 1968. — 317 с.

Поступила в редакцию 17.04.2006 г.