

## **ВИБРАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

**Аль Араджи Зайнаб Хуссам Моса**

доктор философии, доц. колледж естественных наук для женщин, физический факультет Багдадского университета, Ирак, г. Багдад

**Духа Карим Гармаш**

доктор философии, доц. Багдадский университет, Колледж естественных наук для женщин, физический факультет Багдадского университета Ирак, г. Багдад

## **VIBRATION TESTING AND SIMULATION OF PRINTED CIRCUIT BOARDS**

**Zainab Hussam Al-Araji**

*Ph.D., Associate Professor, College of Science for Women, Physics Department at  
University of Baghdad, Iraq, Baghdad*

**Dhuha Kareem Harfash**

*Ph.D., Associate Professor, College of Science for Women, Physics Department at University of  
Baghdad, Iraq, Baghdad*

**Аннотация.** Окружение радиоэлектронных устройств создает вибрацию, которая может повредить электронные платы. Кроме того, комбинированная температура и вибрация — это тип тестирования, который воссоздает среды, приближенные к более близким к реальным условиям эксплуатации [1]. Высокая стойкость к усталости паяных соединений пакета важна для всех применений, включая вибрационную нагрузку, но в литературе по этой теме очень мало данных.

Характеристика сложной печатной платы была выпущена с использованием тестов на растяжение и изгиб, чтобы извлечь пользовательский параметр ввода для моделирования [2]. Точная численная модель вибрационного моделирования была установлена путем применения модального анализа. Были подробно проанализированы всесторонние динамические реакции ПП, например, ускорение, деформации и напряжения [3]. Эксперименты проводились для проверки результатов моделирования. Установленная модель имеет превосходную корреляцию с экспериментальным измерением пикового смещения, ускорения выхода и частоты колебаний. Кроме того, исследовано влияние анизотропии ПП на собственные частоты и формы мод. Было замечено, что после модального анализа значения собственных частот не были одинаковыми для изотропных и анизотропных ПП. Затем влияние расстояния между точками фиксации изучалось с использованием различных конфигураций фиксации. Результаты показали, что увеличение расстояния между точками фиксации увеличивает значения собственных частот. Наконец, наиболее ограниченные области на плате были определены для нескольких конфигураций платы. Это открытие может быть

полезно в процессе сборки, используя минимально ограниченную конфигурацию.

**Abstract.** The environment of electronic devices creates vibrations that can damage electronic circuit boards. In addition, combined temperature and vibration is a type of testing that recreates environments that are closer to real—world operating conditions. The high fatigue resistance (HCF) of package solder joints is important for all applications, including vibration loading, but there is very little data in the literature on this topic. The characterization of a complex PCB has been released using tensile and bending tests to extract a custom input parameter for simulation. An accurate numerical model of vibration simulation has been established by applying modal analysis. Comprehensive dynamic reactions of PCB, such as acceleration, deformations and stresses, have been analyzed and analyzed in detail. Experiments were conducted to verify the simulation results. The established model has an excellent correlation with the experimental measurement of peak displacement, output acceleration and oscillation frequency. In addition, the effect of PCB anisotropy on natural frequencies and mode shapes has been studied. It was noticed that after modal analysis, the values of natural frequencies were not the same for isotropic and anisotropic PCBs. Then, the effect of the distance between the fixation points was studied using various fixation configurations. The results showed that increasing the distance between the fixation points increases the values of natural frequencies. Finally, the most limited areas on the board have been identified for several board configurations. This discovery can be useful in the build process using a minimally limited configuration.

**Ключевые слова:** CAE, печатная плата, моделирование радиоэлектронных изделий, инженерный анализ.

**Keywords:** CAE, printed circuit board, modeling of electronic products, engineering analysis.

Введение.

Согласно литературному обзору, анализ вибрационной усталости, который был сделан к настоящему времени, представляет собой в основном анализ режима и исследование циклического отказа. Только очень мало моделей усталости основаны на анализе стресса или деформации.

Поскольку тесты обычно являются дорогостоящими и трудоемкими, моделирование может быть хорошей альтернативой. Кроме того, модуляция, как доказано, очень эффективна в электронной упаковке для анализа конструкции и оптимизации, сравнивая фактические вибрационные испытания [4].

Ускорение, отклонение, скорость, диспозиции, деформации и динамические реакции на входе и выходе являются мониторами повторяемости вибрационных испытаний. Эти мониторы можно было использовать для исследования режима отказа и механизма сбоя паяных соединений [5].

Динамические напряжения и напряжения паяных соединений непосредственно влияют на надежность паяного соединения во время испытания на вибрацию. Однако для их непосредственного измерения нет подходящего датчика. Альтернативно, динамические реакции ПП являются хорошо измеримыми индикаторами, которые тесно связаны с деформацией и напряжением при пайке.

В этой статье установлена точная модель вибрации для печатных плат. Это потребовало нескольких важных шагов.

**Первый шаг** - описать эту печатную плату, чтобы извлечь механические свойства для моделирования.

**Второй шаг** - изучить различные способы фиксации и, наконец, упрощаются гипотезы, чтобы

получить время вычисления.

Кроме того, было проведено динамическое исследование для генерации собственных частот и форм моды структуры ПП. Эти частоты сравнивались с полученными экспериментально.

## **2. эксперимент**

### **2.1 описание испытательного оборудования**

Настройка эксперимента - это шейкер с воздушным охлаждением (LDS V555 с максимальной синусоидальной силой 939 Н, максимальное ускорение 100 г с  $g = 9,81 \text{ м / с}^2$  и допустимый диапазон частот от 5 Гц до 6300 Гц).

Максимальный вес, который может поддерживать шейкер, составляет 5 кг без учета ядра банка и около 4 кг с его подсчетом. Кроме того, образец нуждается в дополнительном инструменте, который должен быть установлен на шейкере.

Средний вес вспомогательных инструментов составляет около 2 кг. Поэтому очень важно учитывать пределы шейкера, поскольку увеличение веса уменьшает пределы ускорения. Этот шейкер показан на рисунке 1.



*Рисунок 1. Шейкер устройства*

### **2.2 описание вибрационного профиля**

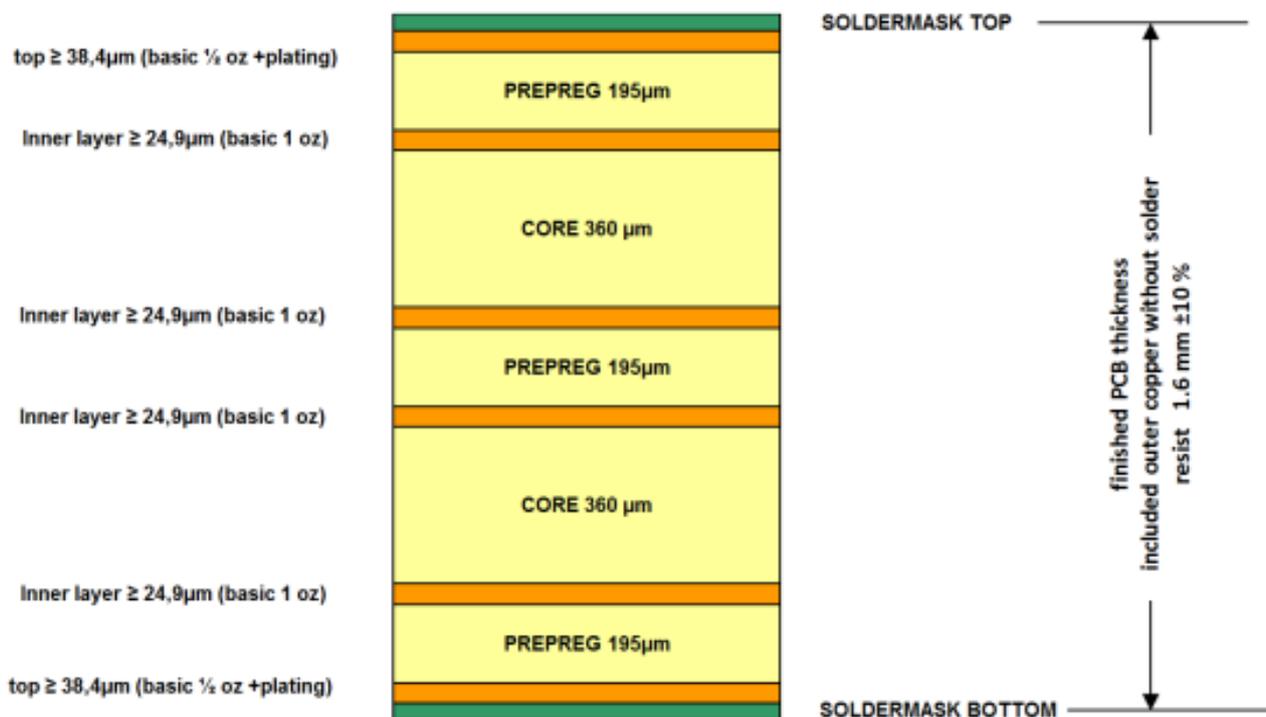
Испытания на вибропрочность стреловидности синуса использованы для того чтобы определить некоторые естественные частоты в структурах, которые не должны совпасть с частотами возбуждения от окружающей среды или прибора[6].

Если частоты совпадают, то испытание на выносливость можно проводить на собственных частотах. Испытание на выносливость форма испытания усталости. Синусоидальная развертка с ускорением 2g и частотой до 2000 Гц

### **2.3 описание средств поддержки и тестирования**

ПП, используемая в этом исследовании, содержит 6 слоев меди, 2 слоя FR4-сердечника и 3 слоя PREPREG общей толщиной 1,6 мм. Состав ПП и толщины различных листов. Использовались два разных размера печатной платы. Четыре отверстия были просверлены, чтобы зафиксировать доску на шейкере. Размеры были выбраны в зависимости от размера двух предварительно изготовленных инструментов. Размер первой конфигурации, называемой Большой панель «LB», составляет 160 мм в качестве квадратной стороны, 120 мм в качестве расстояния между точками фиксации и 10 мм в качестве диаметра отверстия фиксации. Вторая конфигурация называется Small Board «SB». Это 85-миллиметровая квадратная сторона, 67-миллиметровое расстояние между точками фиксации и диаметром отверстия фиксации 6 мм.

Использовались четыре акселерометра, один для управления тем, что шейкер следует за профилем, и три для мониторинга в разных местах, в центре, рядом с крепежным винтом и с средней стороны (между двумя винтами). Для двух плат были выбраны те же самые положения. Эти акселерометры фиксировали с использованием blu-tack (синее адгезивное вещество), как показано на рисунке 2.

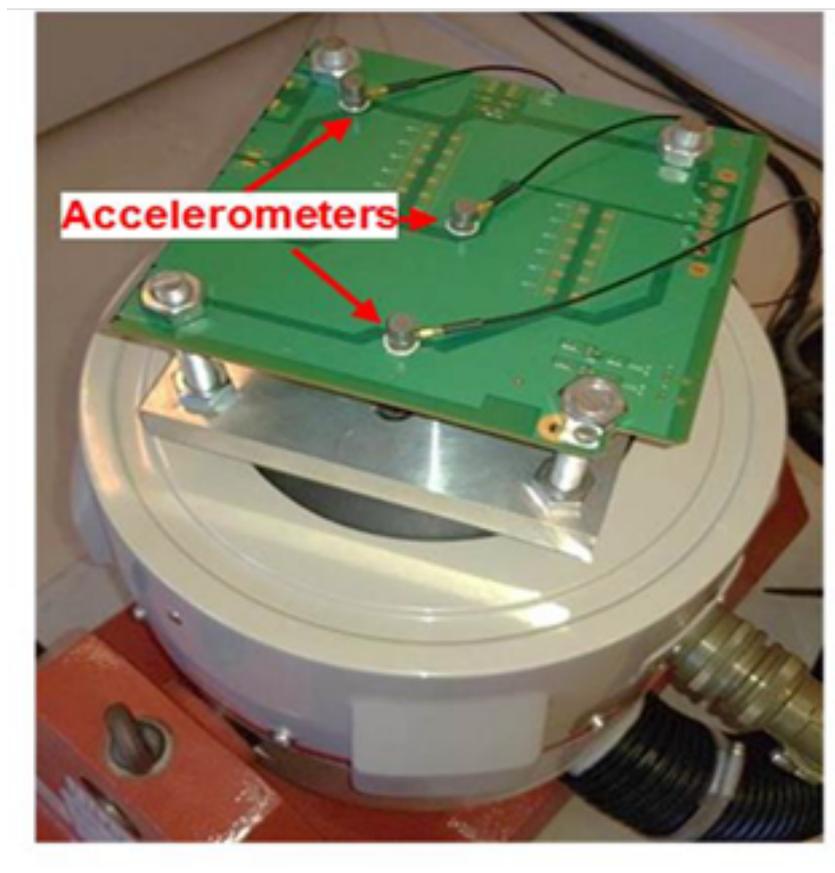


*Рисунок 2. Печатная плата содержание*

### **2.3. Экспериментальные результаты и обсуждение**

На Рисунок 3 показаны первые 3 естественные частоты больших досок и малых досок соответственно. Эти значения были получены после применения синусоидальной развертки с ускорением 2 г и до 2000 Гц.

Три частоты для Большого совета и Малого совета суммируются Методика моделирования представлена в следующем разделе.



*Рисунок 3. ПП на вибрации стенд*

### **3.1. моделирование вибраций конечных элементов**

Поскольку предполагалось, что вибрация может повлиять на напряжения и деформации упаковки, было сочтено важным установить точную модель, представляющую напряжение-напряжение из-за динамической нагрузки. Модель может быть подтверждена путем сопоставления взаимосвязи между экспериментальными и результатами моделирования. Выбор заключался в том, чтобы выполнить протокол модального анализа с помощью моделирования конечных элементов, чтобы сравнить собственные частоты и формы их моды, полученные либо путем моделирования, либо путем измерений[7]. Следовательно, поведение численной платы может быть скорректировано для расширенной вибрации на основе модели для более сложных исследований в качестве комбинированного испытания на вибрацию / тепловую энергию.

#### **Выводы.**

В настоящей работе рассмотрен динамический отклик печатной платы с использованием имитаций и экспериментов. Испытуемая ПП представляет собой сложную многослойную структуру, которая должна быть охарактеризована с использованием механических испытаний для извлечения пользовательского параметра ввода для моделирования. Действительно, было доказано, что значения собственных частот не были одинаковыми для изотропных и анизотропных ПП.

В настоящей работе рассмотрена валидация модели динамического моделирования вибрации, сопоставляя результаты моделирования и результаты эксперимента. Наблюдалось хорошее

согласие между симуляцией и экспериментом.

Измерение собственных частот ПП требует тщательного планирования и проектирования техники измерения и испытаний. Кроме того, необходимо учитывать различные факторы воздействия. Были изучены некоторые из этих факторов, в том числе калибровка шейкера, фиксация винтовой гайки и пространственная фиксация. Действительно, было замечено, что значения собственных частот не были одинаковыми для изотропных и анизотропных ПХБ. Кроме того, было замечено, что увеличение расстояния между точками фиксации увеличивает значения собственных частот.

Для нескольких конфигураций платы были определены наиболее напряженные арки на плате. Этот вывод может быть полезен в процессе сборки, используя наименее напряженную конфигурацию. Исследование, описанное в этом документе, представляет собой предварительный шаг для достижения главной цели нашего проекта. Последнее состоит в том, чтобы создать полную модель, описывающую комбинированные нагрузки из-за вибрации и термического циклирования.

### Список литературы:

1. Черниченко, Алексей Владимирович. "Исследование кинематики шестистепенного вибрационного стенда с параллельной кинематикой." (2022).
2. Аль-Араджи З.Х.М., Муратов А.В., Турецкий А.В., Худяков Ю.В. Моделирование механических характеристик многослойных печатных плат средствами CAE анализа // НиКа. 2018. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-mehanichestkih-harakteristik-mnogosloynnyh-pechatnyh-plat-sredstvami-cae-analiza> (дата обращения: 16.05.2024).
3. Фролов Александр Владимирович, Савватеев Денис Олегович, Шаповалов Петр Анатольевич МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИ БИНС С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ANSYS // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modalnyy-analiz-modeli-bins-s-pomoschu-paketa-ansys> (дата обращения: 16.05.2024).
4. Расторгуев Г.И., Белоусов А.И., Сингин В.В. Вибрационные испытания и конечно-элементный анализ конструкций // Решетневские чтения. 2011. №15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vibratsionnye-ispytaniya-i-konechno-elementnyy-analiz-konstruktsiy-1> (дата обращения: 16.05.2024).
5. Кузьменко, Владимир Павлович. "Модели и методики обеспечения качества светодиодных осветительных приборов." (2021).
6. Z. H. Al-Araji, N. A. Swaikat, A. Muratov and A. V. Turetsky, "Modeling and Experimental Research of Vibration N Properties of A Multi-Layer Printed Circuit Board," 2019 4th Scientific International Conference Najaf (SICN), Al-Najef, Iraq, 2019, pp. 43-47, doi: 10.1109/SICN47020.2019.9019364.
7. Luo, Junhui, and Linchang Miao. "Research on dynamic creep strain and settlement prediction under the subway vibration loading." SpringerPlus 5, no. 1 (2016): 1252.