

АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ MG32F103RBT6

Кот Я.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Яцук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе проведён сравнительный анализ методов определения собственной частоты колебаний отладочной платы с микроконтроллером *MG32F103RBT6*, содержащей набор периферийных элементов (дисплей, датчики, память, интерфейсы). Моделирование выполнено в программных комплексах *SolidWorks*, *Ansys* и *Comsol*. Полученные значения собственной частоты составили: 486,19 Гц (*SolidWorks*), 500,11 Гц (*Ansys*), 491,13 Гц (*Comsol*). Максимальное расхождение результатов не превысило 2,8 %, что подтверждает корректность применяемых моделей.

Ключевые слова: печатная плата, отладочная плата, *SolidWorks*, *Ansys*, *Comsol*, собственная частота, частотный анализ

Введение. Современные отладочные платы микроконтроллеров представляют собой сложные электронные устройства, включающие большое количество компонентов: микроконтроллер, элементы питания, интерфейсы связи, датчики и индикаторы. Надёжность таких устройств во многом определяется механической устойчивостью печатной платы [1–8].

Наличие большого числа компонентов приводит к неравномерному распределению массы и жёсткости, что делает задачу анализа собственных частот особенно актуальной. Это необходимо для предотвращения резонансных явлений при эксплуатации устройства.

Основная часть. Исследуемая отладочная плата представляет собой электронный модуль с установленными на ней компонентами различной массы и геометрии. Наличие как малогабаритных *SMD*-компонентов, так и относительно массивных элементов приводит к сложной структуре распределения масс, что необходимо учитывать при моделировании.

Для проведения анализа была построена трёхмерная геометрическая модель платы с учетом основных компонентов. При этом каждому элементу были назначены соответствующие физико-механические свойства, включая плотность, модуль упругости и коэффициент Пуассона. В качестве материала печатной платы использовался стеклотекстолит, а для компонентов применялись усреднённые характеристики полупроводниковых и металлических материалов. Граничные условия задавались в виде фиксирования платы в областях крепёжных отверстий, что соответствует реальным условиям её монтажа (рисунок 1) [2].

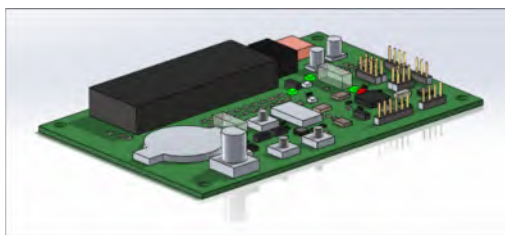


Рисунок 1 – Модель платы

В программном комплексе *SolidWorks* (рисунок 3) моделирование проводилось с использованием модуля *Simulation* в режиме частотного анализа. Данный подход позволяет

относительно быстро получить оценку собственных частот конструкции при сравнительно простой настройке модели. В результате расчёта было установлено, что первая собственная частота колебаний платы составляет 486,19 Гц. Следует отметить, что *SolidWorks* ориентирован в первую очередь на твердотельное моделирование, поэтому при анализе могут использоваться упрощённые допущения, влияющие на точность результатов [4].

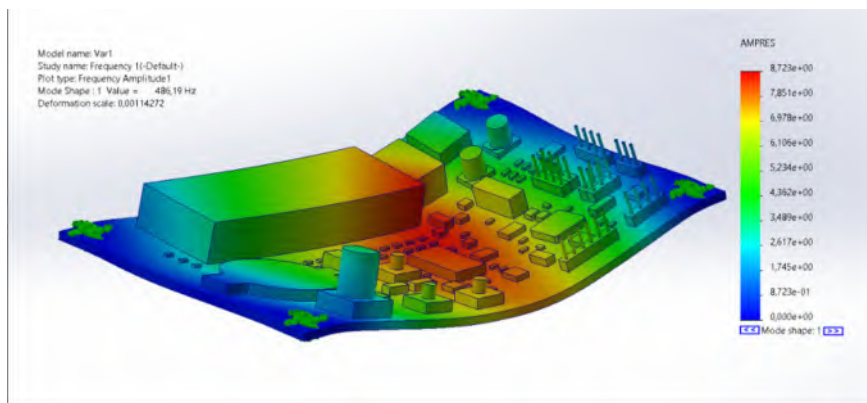


Рисунок 2 – Результат моделирования в программе *SolidWorks*

Дальнейший анализ был выполнен в программном комплексе *Ansys* (рисунок 3), который предоставляет более широкие возможности для конечно-элементного моделирования. Геометрическая модель была импортирована из *SolidWorks*, после чего выполнена генерация более детализированной сетки конечных элементов. Особое внимание уделялось корректному заданию контактных взаимодействий и распределения масс компонентов. В результате проведенного анализа собственная частота колебаний составила 500,11 Гц. Полученное значение несколько выше результата *SolidWorks*, что объясняется более точным учётом жесткости конструкции и особенностей взаимодействия элементов [3, 5].

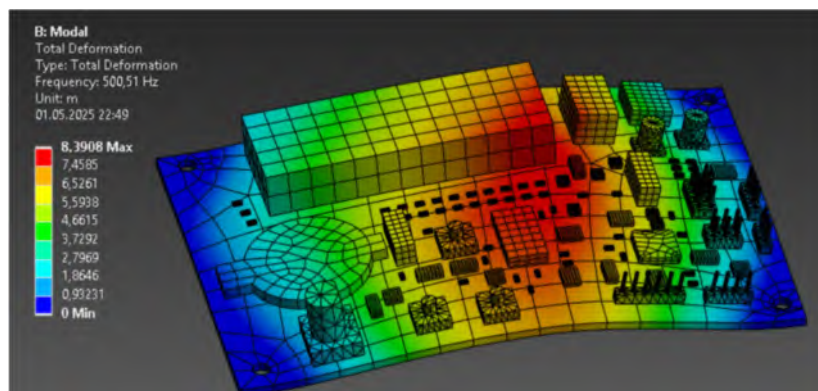


Рисунок 3 – Результат моделирования в программе *Ansys*

В программной среде *Comsol Multiphysics* (рисунок 4) также был выполнен модальный анализ с использованием аналогичных исходных данных. *Comsol* позволяет учитывать мультифизические эффекты, однако в рамках данной работы рассматривалась только механическая составляющая. Результат расчёта показал, что собственная частота равна 491,13 Гц, что находится между значениями, полученными в *SolidWorks* и *Ansys*. Это свидетельствует о сбалансированности используемой модели и адекватности принятых допущений.

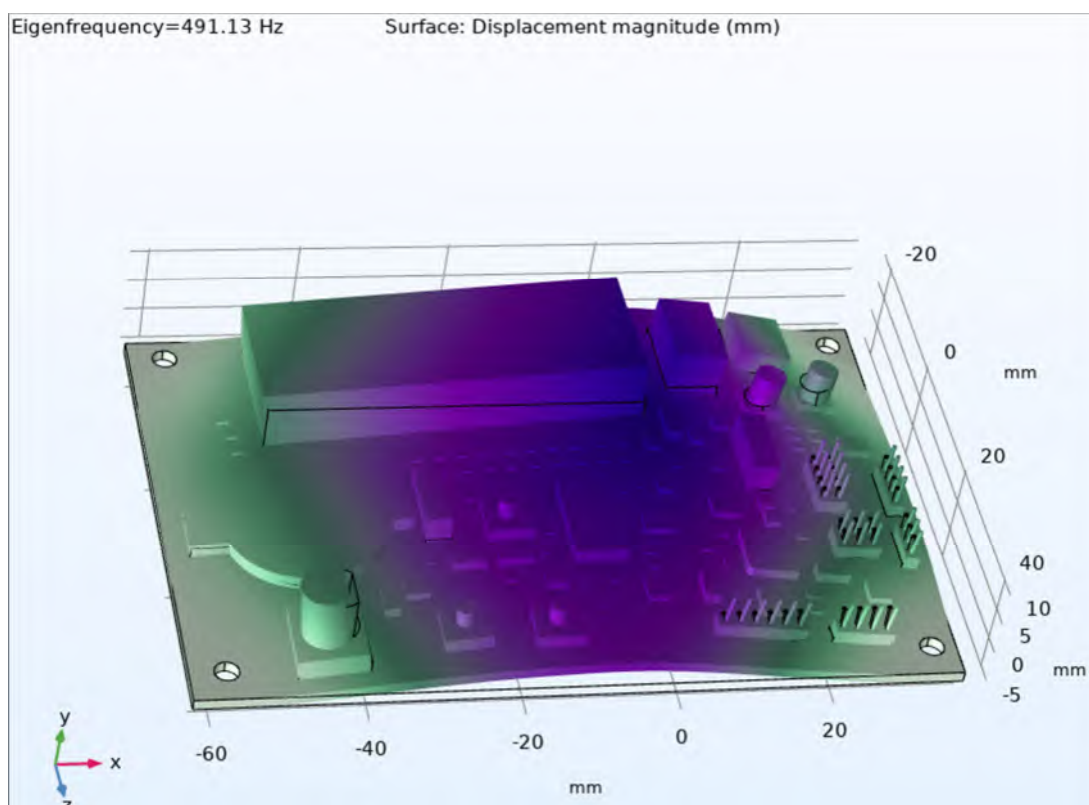


Рисунок 4 – Результат моделирования в программе *Comsol*

Сравнение результатов показывает, что все три программных комплекса дают близкие значения собственной частоты, несмотря на различия в алгоритмах расчёта и уровне детализации моделей. Максимальное расхождение между результатами составляет 2,8 %, что можно считать допустимым для инженерных расчётов данного типа. Небольшие различия объясняются особенностями реализации конечно-элементных методов, а также различиями в способах задания граничных условий и свойств материалов.

Заключение. Проведённое исследование показало, что моделирование собственной частоты колебаний отладочной платы с микроконтроллером *MG32F103RBT6* в различных программных комплексах даёт согласующиеся результаты. Несмотря на различия в подходах к моделированию, все рассмотренные системы позволяют получить достоверную оценку динамических характеристик конструкции.

Установлено, что собственная частота колебаний исследуемой платы находится в диапазоне от 486 до 500 Гц. Полученные значения подтверждают, что конструкция обладает достаточной механической жёсткостью и не подвержена резонансным явлениям в большинстве эксплуатационных условий. *SolidWorks* может эффективно использоваться на этапе предварительного проектирования благодаря простоте применения, тогда как *Ansys* и *Comsol* обеспечивают более высокую точность расчётов и подходят для проведения детального инженерного анализа.

Список литературы

1. Моделирование механических характеристик многослойных печатных плат средствами САЕ анализа / З. Х. М. Аль-Араджи [и др.] // «Надёжность и качество». – 2018. – Т. 1. – С. 224-227
2. Зиновьев, Д. В. Основы моделирования в *SolidWorks* / Д. В. Зиновьев. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 240 с.
3. *Ansys Mechanical Expert Review, Pricing and Alternatives* – 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.worquick.com/post/ansys-review> – Дата доступа: 27.03.2025.
4. Частотный анализ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://help.solidworks.com/2021/Russian/SolidWorks/cworks/c_Frequency_Analysis.htm – Дата доступа: 27.03.2025.
5. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с

6. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 2: Исследование физических процессов в конструкциях РЭС: пособие / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун, И. Н. Богатко. – Минск: БГУИР, 2017. – 74 с.

7. Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // *BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф.*, Минск, 20–21 мая 2020 г.: в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Бозуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.

8. Алексеев, В. Ф. Математическое моделирование как средство оптимизации параметров силовых интегральных микросхем / В. Ф. Алексеев, А. Д. Сыс, Г. А. Пискун // *Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives: II International Scientific and Theoretical Conference, Vilnius, October 1, 2021 / European Scientific Platform.* – Vilnius, 2021. – P. 109–113. – DOI: <https://doi.org/10.36074/scientia-01.10.2021>.

UDC 621.3.049.77:004.942

ANALYSIS OF THE SIMULATION OF THE NATURAL FREQUENCY OF THE DEBUG BOARD WITH THE MG32F103RBT6 MICROCONTROLLER

Kot Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yashchuk V.A. – master's degree student, Assistant Professor, Department of Information and Computer Systems Design

Annotation. The paper presents a comparative analysis of methods for determining the natural frequency of oscillation of a debugging board with an MG32F103RBT6 microcontroller, which contains a set of peripheral elements (display, sensors, memory, and interfaces). The modeling was performed using the SolidWorks, Ansys, and Comsol software packages. The obtained values of the natural frequency were 486.19 Hz (SolidWorks), 500.11 Hz (Ansys), and 491.13 Hz (Comsol). The maximum discrepancy in the results did not exceed 2.8%, which confirms the correctness of the applied models.

Keywords: PCB, debug board, SolidWorks, Ansys, Comsol, natural frequency, frequency analysis