

Д.Г. Рыбаков, А.Н. Беликов, В.Ф. Алексеев

Применение метода конечных элементов при анализе физических процессов, протекающих в системе мониторинга окружающей среды в программе SolidWorks Simulation

Исследовано влияние физических процессов, протекающих в системе мониторинга окружающей среды в программном продукте SolidWorks Simulation посредством применения метода конечных элементов. Разработаны три варианта компоновки радиоэлементов на печатной плате электронного модуля и исследованы закономерности влияния на результат габаритных размеров, толщины основания и способа закрепления печатной платы.

Ключевые слова: механические процессы, печатная плата, электронный модуль.

При разработке различных технических средств нужно пристальное внимание уделять большому количеству факторов, которые могут оказать критическое влияние на работоспособность устройства. В процессе эксплуатации РЭУ подвергается воздействию вибраций, ударов и линейных ускорений, а также имеет место выделение избыточной тепловой энергии. Проблема отведения тепловой энергии от высокомоощных компонентов является довольно серьезной, так как многие компоненты на печатной плате подвержены перегреву. В этом случае предусмотрена возможность использования дополнительного охлаждения устройства. Выделяют пассивные (радиаторы, тепловые трубки) и активные (вентиляторы) системы охлаждения, выбор которых зависит от конкретного типа устройства и его технических параметров [1-5].

Механические нагрузки являются одними из самых дестабилизирующих факторов, поэтому для того, чтобы оценить влияние того или иного фактора, нужно произвести моделирование системы и выявить поведение конструкции, а в случае отрицательного отклика принять меры по устранению данной проблемы [1-5].

Метод конечных элементов (МКЭ) – основной подход к анализу напряженно-деформированного состояния, лежащий в основе подавляющего большинства современных САЕ-систем, предназначенных для выполнения расчётов на прочность различных конструкций посредством численных алгоритмов на ЭВМ. МКЭ используется не только в области прочностных расчётов, но и для решения задач во многих других сферах, например, решения задач теплопроводности, гидродинамики, электромагнетизма и др. Суть метода заключается в том, что область, занимаемая конструкцией, разбивается на некоторое число малых, но конечных по размерам подобластей. МКЭ используется не только в области прочностных расчётов, но и для решения задач во многих других сферах, например, решения задач теплопроводности, гидродинамики, электромагнетизма и др. [6].

В работе рассматривается печатная плата электронного модуля системы мониторинга окружающей среды на базе встроенного модуля ESP32 DEVKITS. Данное устройство предназначено для обнаружения фонового излучения при помощи трубки Гейгера, а также для его измерения. Схема электрическая принципиальная взята из журнала *Electron* номер 1 за 2020 год [7].

Исходные данные

Для исследования влияния габаритных размеров печатной платы, размещения элементов на ней, а также способа закрепления на процессы физического воздействия на электронный модуль спроектировано три варианта компоновки элементов на печатной плате.

В первом и втором вариантах размещения элементов было использовано основание печатной платы (ПП) размером $120 \times 100 \times 1,6$ мм, а в третьем – $150 \times 75 \times 1,6$ мм. В качестве материала основания был выбран стеклотекстолит *FR-4*.

Для возможности создания сетки и уменьшения времени расчёта процессов, модели были упрощены. Были удалены мелкие детали (SMD компоненты в корпусе 0402, 0603, 0804 и 1206), выводы некоторых электролитических конденсаторов и транзисторов. Упрощены мелкие вырезы и пазы на всех элементах. Данные изменения не повлияют на результаты моделирования.

На рис. 1 – 3 представлены три варианта компоновки печатных плат, которые были спроектированы в программе *SolidWorks*.

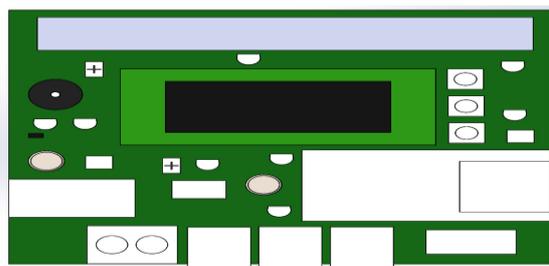


Рис. 1. Первый вариант модели печатной платы (вид сверху)

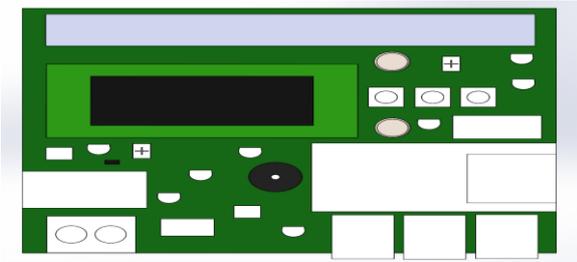


Рис. 2. Второй вариант модели печатной платы (вид сверху)

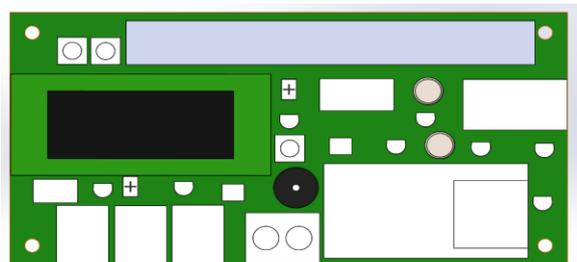


Рис. 3. Третий вариант модели печатной платы (вид сверху)

Для исследования механических процессов был выбран частотный анализ электронного модуля. При анализе печатной платы её собственная частота не должна совпадать с частотой вибрации, воздействующей на устройство, так как произойдет явление резонанса — совпадение внешней частоты с собственной частотой печатной платы, которое оказывает дестабилизирующее влияние на устройство в целом.

Исходные данные для расчёта собственных частот конструкции:

– габариты печатной платы. В первом и втором вариантах компоновки используется основание размером $120 \times 100 \times 1,6$ мм, в третьем – $150 \times 75 \times 1,6$ мм.

– материалы, применяемые к элементам электронного модуля (см. таблицу 1).

Таблица 1

Свойства материалов [8]

Материал	Плотность, кг/м^3	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона
Стеклотекстолит FR-4	1850	21,00	0,22
Пластик	1020	2,41	0,394
Керамика	2300	220,59	0,220
Алюминий 1060	2700	69,00	0,330
Железо	7870	190,00	0,22

– способ закрепления печатной платы. В первом варианте будет осуществлено закрепление по двум коротким граням, во втором – по всему периметру, в третьем – по четырем крепежным отверстиям.

– влияющая частота. В соответствии с классом РЭС рассматриваемого устройства было выбрано значение $10 - 70$ Гц [9].

Далее необходимо задать граничные условия. В случае исследования на собственные частоты это указание точек, в которых будет закреплена печатная плата. Так как программное обеспечение, используемое при моделировании, производит расчёт физических явлений методом конечных элементов, при каждом новом исследовании необходимо строить конечно-элементную сетку. Пример задания способа закрепления и построения сетки показан на рис. 4-5.

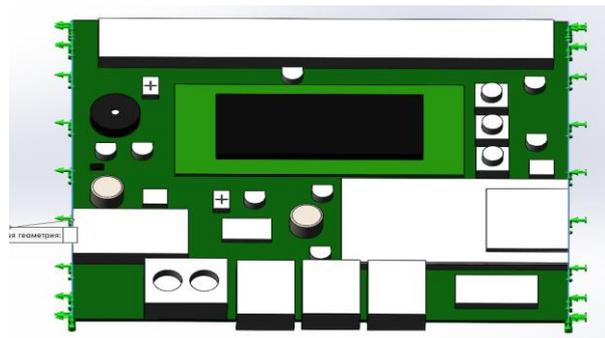


Рис. 4. Задание точек крепления

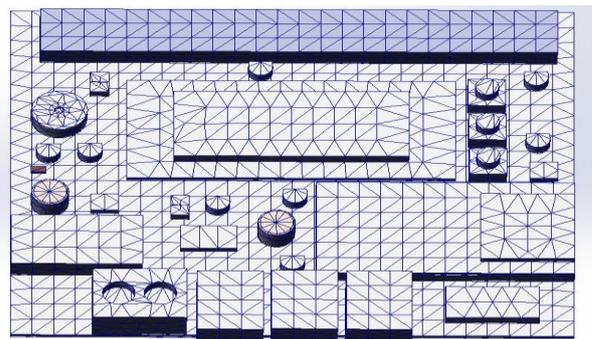


Рис. 5. Конечно-элементная сетка

Далее на рис. 6-8 представлены результаты исследования конструкции на собственные частоты для каждого из вариантов компоновки элементов на печатной плате электронного модуля системы мониторинга окружающей среды в программе SolidWorks Simulation.

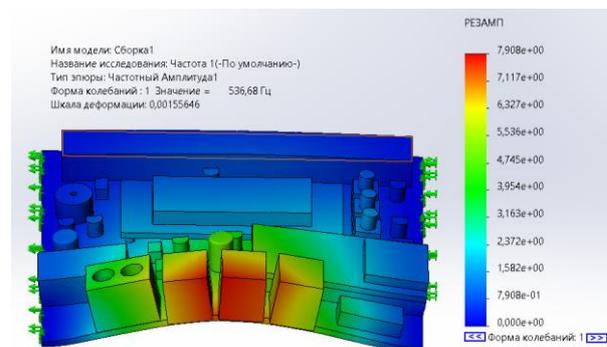


Рис. 6. Частотный анализ первого варианта ПП в SolidWorks

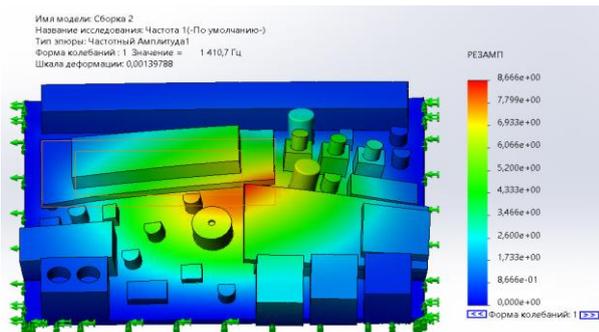


Рис. 7. Частотный анализ второго варианта ПП в SolidWorks

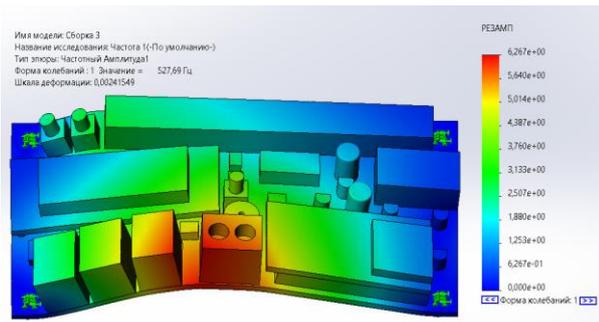


Рис. 8. Частотный анализ третьего варианта ПП в SolidWorks

Из результатов моделирования видно, что значения собственных частот всех трёх конструкций являются приемлемыми, так как значительно превышают максимальную воздействующую частоту.

Заключение

В результате выполнения работы было выполнено моделирование физических процессов, протекающих в модуле системы мониторинга окружающей среды на примере частотного анализа. Была получена собственная (резонансная) частота конструкции для трех вариантов компоновки радиоэлементов на печатной плате. Результаты моделирования сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты частотного анализа печатной платы

Значение собственной частоты, Гц		
Компоновка №1	Компоновка №2	Компоновка №3
536	1410	527

Данные значения значительно превышает диапазон влияющих частот, поэтому устройство может использоваться на практике.

Литература

1. Каленкович Н. И. Механические воздействия и защита РЭС / Н. И. Каленкович, Е. П. Фастовец, Ю. В. Шамгин. – Минск: Высшая школа, 1989. 244 с.
2. Алексеев, В. Ф. Применение метода конечных элементов для моделирования электростатического

разряда при испытаниях средств медицинской электроники / В. Ф. Алексеев и другие // Медэлектроника – 2014. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей VIII Международная научно-техническая конференция (Минск, 10 – 11 декабря 2014 г.). – Минск : БГУИР, 2014. – С. 166–169.

3. Оптимизация теплового режима приемопередающего устройства по результатам моделирования тепловых процессов в среде SolidWorks Flow Simulation / Пискун Г. А., Алексеев В. Ф., Романовский П. С., Стануль А. А. // Znanstvena misel journal. – 2019. – Vol. 1, № 35. – P. 47–60.

4. Моделирование распределения температуры в токоведущих элементах интегральных микросхем в результате воздействия электростатических разрядов / Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев, В.Л. Ланин, В.Г. Левин // Доклады БГУИР. – 2014. – № 4 (82). – С. 16–22.

5. Advanced thermal design of electronic equipment / Ralph Remsburg. Springer New York, NY, 1998. 589 p.

6. Метод конечных элементов в САЕ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ppt-online.org/270175> (дата обращения: 22.08.2023).

7. Lehmann G. Extendable Environmental Monitoring System / G. Lehmann // Elektor. – 2020. – №1. – С.28–35.

8. Справка по SolidWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://help.solidworks.com> (дата обращения: 22.08.2023).

9. Пирогова, Е.В. Проектирование и технология печатных плат: учебник / Е.В. Пирогова. – М.: Изд-во ФОРУМ, 2005. – 560 с.

Рыбаков Дмитрий Григорьевич

Студент кафедры проектирования информационных и компьютерных систем (ПИКС) Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР)
Эл. почта: dmitry_ryb10@mail.ru

Беликов Андрей Николаевич

Студент кафедры проектирования информационных и компьютерных систем (ПИКС) Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР)
Эл. почта: andrech1406@gmail.com

Алексеев Виктор Федорович

Доцент кафедры проектирования информационных и компьютерных систем (ПИКС) Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР)
Эл. почта: v.alekseev@bsuir.by