

Рыбаков Дмитрий Григорьевич

Беликов Андрей Николаевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОННОМ МОДУЛЕ УПРАВЛЕНИЯ «УМНЫМ» ДОМОМ

В работе приведены результаты частотного анализа печатной платы модуля управления «умным» домом. Эксперименты проводились в программной среде SolidWorks Simulation. Для выполнения исследований была разработана трехмерная модель печатной платы устройства в программе SolidWorks с установленными на нее упрощенными моделями компонентов. В ходе исследования выполнен частотный анализ печатной платы, определены собственные частоты конструкции.

Модуль управления, «умный» дом, исследование.

Rybakov Dmitry Grygorievich

Belikov Andrey Nikolaevich

MODELING OF PHYSICAL PROCESSES IN THE «SMART» HOUSE CONTROL MODULE

The paper presents the results of frequency analysis of printed circuit board of the «smart» house control module. The experiments were carried out in the SolidWorks Simulation software environment. To perform research, a three-dimensional model of the device's printed circuit board was developed in the SolidWorks program with simplified models of components installed on it. In the course of the study a frequency analysis of the printed circuit board was performed, natural frequencies of design were determined.

Control module, «smart» house, research.

Введение

Моделирование является эффективным инструментом для достижения целей проектирования, позволяя тестировать проектные решения без больших затрат. В частности, компьютерное моделирование имеет множество преимуществ при разработке радиоэлектронной аппаратуры, благодаря разнообразию программных продуктов, предназначенных для создания и работы с моделями. Оно может помочь инженерам визуализировать влияние параметров на результат, систематизировать их и дать точную оценку [1-4].

Целью работы является осуществление моделирования физических процессов, протекающих в модуле управления «умным» домом на примере частотного анализа. Для получения результатов моделирования и дальнейшего анализа, автором были проведен следующий эксперимент:

– частотный анализ печатной платы модуля управления «умным» домом и определение собственных частот конструкции.

Основная часть

В работе рассматривается печатная плата модуля управления «умным домом» на базе микроконтроллера *ATmega32A-AU*. Данное устройство предназначено для включения и выключения света, регулировки яркости освещения. Схема электрическая принципиальная взята из журнала «Радио» номер 1 за 2020 год [5, с 45-49].

Для того, чтобы спроектировать выбранное устройство, сначала необходимо найти техническую документацию (*datasheets*) на все элементы печатной платы. После по геометрическим параметрам необходимо сконструировать упрощенные модели корпусов элементов и осуществить дальнейшую сборку компонентов в программе *SolidWorks*. Для этого нужно создать документ, вставить все элементы, входящие в состав проектируемого устройства, расположить их на печатной плате и задать условия сопряжения. Это делается для того, чтобы электронные компоненты были привязаны к печатной плате. В противном случае, исследование будет неверным ввиду того, что элементы будут «висеть в воздухе», не будут зафиксированными. В работе осуществлялись условия сопряжения по трем точкам. Далее нужно проверить печатную плату на наличие явления интерференции и только после этих действий можно приступать к моделированию физических процессов, происходящих в проектируемом устройстве. Печатная плата с установленными на нее компонентами, спроектированная в программе *SolidWorks*, представлена на рисунке 1.

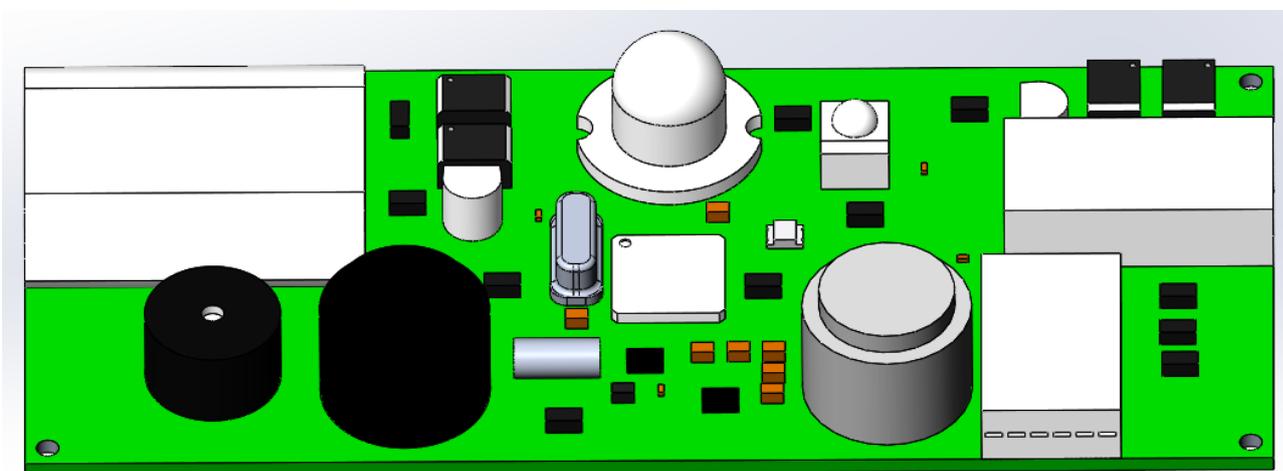


Рисунок 1 – Трехмерная модель печатной платы

Для возможности создания сетки и уменьшения времени расчёта процессов, модели были упрощены. Были удалены некоторые 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 существенно на результаты моделирования не повлияют [6]

При создании печатной платы было использовано основание размером $100 \times 50 \times 1,5$ мм. В качестве материала основания был выбран стеклотекстолит

FR-4. Соотношение сторон основания 2:1. Все крупногабаритные элементы были размещены на краях основания, главные функциональные компоненты – ближе друг к другу в центре. Крепежные отверстия под винты расположены по углам печатной платы.

Исходными данными для выполнения частотного анализа являются:

- геометрические размеры печатной платы: 100×50×1,5 мм;
- диапазон частот, в которых будут исследоваться печатные платы;
- материалы, их свойства и к каким компонентам они применяются.
- способ закрепления печатной платы (по четырем отверстиям);

Исследуемое устройство описывается стандартом ГОСТ 24.104-85 «Автоматизированные системы управления» [7], но поскольку данный ГОСТ не устанавливает значения дестабилизирующих факторов для вибрации и механических ударов, в качестве определения значений данных параметров будут использованы значения воздействующих факторов для наземных РЭС, к классу которым относится проектируемое устройство. Диапазон влияющих частот для наземных РЭС составляет 10-70 Гц [8]. Данные по материалам, взятые из программы *SolidWorks*, представлены в таблице 1 [9].

Таблица 1 – Материалы, используемые для элементов ПП [9]

Материал	Свойства	Компоненты
Сплав алюминия 1060	Модуль упругости: 6,9e+10 Н/м ² Коэффициент Пуассона: 0,33 Модуль сдвига: 2,7e+10 Н/м ² Массовая плотность: 2700 кг/м ³	Кварцевый резонатор, диод
Стеклотекстолит <i>FR4</i>	Модуль упругости: 3,02e+10 Н/м ² Коэффициент Пуассона: 0,22 Модуль сдвига: 3,2e+8 Н/м ² Массовая плотность: 1900 кг/м ³	Печатная плата
Керамика фарфор	Модуль упругости: 2,2e+11 Н/м ² Коэффициент Пуассона: 0,22 Модуль сдвига: 9,04e+10 Н/м ² Массовая плотность: 2300 кг/м ³	Конденсаторы, предохранитель
<i>ABS</i>	Модуль упругости: 2e+9 Н/м ² Коэффициент Пуассона: 0,394 Модуль сдвига: 3,2e+8 Н/м ² Массовая плотность: 1020 кг/м ³	Датчики, кнопки, резисторы, разъемы, оптроны, транзисторы, микроконтроллер, пьезоизлучатель, светодиод
Медь	Модуль упругости: 1,1e+11 Н/м ² Коэффициент Пуассона: 0,37 Модуль сдвига: 4e+10 Н/м ² Массовая плотность: 8900 кг/м ³	Катушки индуктивности

Для моделирования механических процессов в *SolidWorks* используется добавление *SolidWorks Simulation*. Для начала моделирования собственных частот печатной платы создаётся частотное исследование. Далее в дереве исследования для каждого компонента задаётся материал. После через

граничные условия необходимо имитировать фиксирование платы в корпусе винтами (для этого на печатной плате сделаны четыре отверстия по 3 мм каждое). Для этого задаётся крепление «Зафиксированная геометрия», которое ограничит перемещение платы. Фиксирование отверстий нужно применять к их граням. Данные условия имитируют крепления платы к корпусу четырьмя винтами.

После задания граничных условий необходимо сгенерировать сетку. Для этого в дереве исследования нужно нажать ПКМ на сетку и выбрать «Создать сетку». После в менеджере свойств задать плотность сетки через ползунок или вручную через параметры и запустить построение сетки для моделирования [10].

Далее нажимаем ПКМ на исследование и нажимаем выполнить. По окончании анализа программа выдаст значения резонансных частот (см. рисунок 2).

Название исследования: Частота 3

Режим No.	Частотный(Рад/сек)	Частотный(Герц)
1	2 602,7	414,23
2	6 979,9	1 110,9
3	7 244,9	1 153,1
4	12 360	1 967,1
5	13 972	2 223,8

Рисунок 2 – Список резонансных частот

Наиболее значимой частотой является первая, так как она является минимальной. На рисунке 3 представлены результаты моделирования частотного анализа, изображена деформация печатной платы.

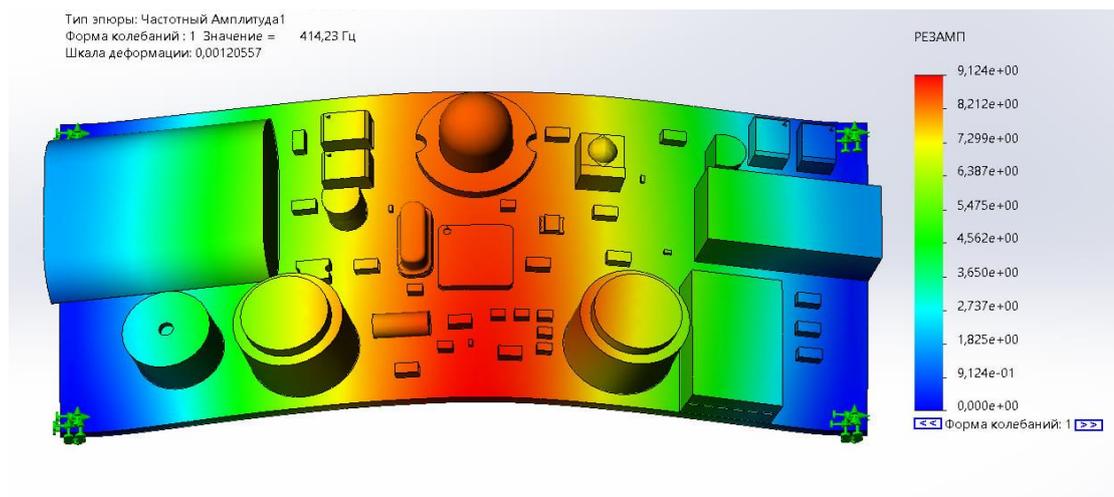


Рисунок 3 – Результат моделирования собственной частоты конструкции

Из рисунка видно, что значение частоты составляет 414 Гц, что является приемлемым результатом, так как значение конкретной резонансной частоты не попадает в диапазон от 10 до 70 Гц и значительно превышает эти значения.

Выводы

В результате выполнения работы было выполнено моделирование физических процессов, протекающих в модуле управления «умным домом» на примере частотного анализа. Была получена собственная (резонансная) частота конструкции 414 Гц. Данное значение значительно превышает диапазон влияющих частот, поэтому устройство может использоваться на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молодечкина Т.В. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств : учеб.–метод. комплекс. В 2 ч. Ч. 2 / Т.В. Молодечкина, В.Ф. Алексеев, М.О. Молодечкин. – Новополоцк : ПГУ, 2013. – 224 с.
2. Радиоэлектронная аппаратура и основы ее конструкторского проектирования : учебно-методическое пособие для студентов спец. «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» и «Проектирование и производство РЭС» / Н. И. Каленкович [и др.]. – М. : БГУИР, 2008. – 200 с.
3. *SolidWorks u SolidWorks Simulation* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/cworks/c_solidworks_simulation_fundamentals.htm.
4. The impact of ESD on microcontrollers / G.A. Piskun [et al.]. Minsk: Kolorgrad, 2018. 184 p.
5. Антонов, М.С. Модернизация «умного дома» // Радио. – 2020. – №1. – С.45-49.
6. Моделирование физико-механических характеристик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studref.com/700407/tehnika/spetsializirovannye_s_redstva_modelirovaniya.
7. ГОСТ 24.104-85. Автоматизированные системы управления. Общие требования. – Введ. 1987-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 11 с.
8. Пирогова, Е.В. Проектирование и технология печатных плат: учебник / Е.В. Пирогова. – М.: Изд-во ФОРУМ, 2005. – 560 с.
9. Справка по SolidWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://help.solidworks.com/2022/russian/SolidWorks/cworks/c_Materials_Fundamentals.htm
10. Метод конечных элементов в САЕ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ppt-online.org/270175>.

Автор: Дмитрий Григорьевич Рыбаков, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Беларусь, город Минск, улица Петруся Бровки 6, 220089, телефон: +375 (29) 294-52-62, email: dmitry_ryb10@mail.ru.

Автор: Андрей Николаевич Беликов, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Беларусь, город Минск, улица Петруся Бровки 6, 220089, телефон: +375 (29) 510-42-19, email: andrech1406@gmail.com.

Author: Dmitry Grigorievich Rybakov, student of BSUIR, Belarus, Minsk city, Petrusya Brovki street 6, 220089, phone: +375 (29) 294-52-62, email: dmitry_ryb10@mail.ru.

Author: Andrey Nikolaevich Belikov, student of BSUIR, Belarus, Minsk city, Petrusya Brovki street 6, 220089, phone: +375 (29) 510-42-19, email: andrech1406@gmail.com.