

УДК 621.396.69

П. А. Глухов, В. В. Черноверская, Т. А. Попова, Нгуен Ван Туан**Исследование тепловых режимов низкочастотного усилителя
в 3D-печатном варианте исполнения**

Рассмотрена возможность обеспечения тепловых режимов элементов и функциональных узлов, используемых в объемных печатных платах, создаваемых с помощью аддитивных технологий. Приведены расчеты, отображающие тепловые характеристики компонентов, интегрированных в 3D-MID изделия из диэлектрического материала, а также предоставлены расчеты по снижению температурных показателей. Проведен анализ экспериментальных данных. Расчеты выполнены с применением САПР SolidWorks.

Ключевые слова: аддитивные технологии, низкочастотный усилитель, 3D-принтер, печать электронных компонентов, печатная плата, Solidworks, 3D-MID

Об авторах

Глухов Павел Андреевич – аспирант 4-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА. E-mail: shadetai@gmail.com. Москва, пр-т Вернадского, 78.

Черноверская Виктория Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Попова Татьяна Александровна – преподаватель кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Туан Нгуен Ван – аспирант 2-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

На сегодняшний день индустрия, тесно связанная с созданием печатных плат, в основном обеспечивает производство изделий, выполненных на прямых плоских диэлектрических панелях. Такой подход позволяет унифицировать форм-фактор продукта, автоматизируя производство, а также процесс проектирования. Однако при появлении необходимости в создании устройства с нестандартным форм-фактором и ограничениями по массогабаритным характеристикам возникает потребность к использованию сторонних методов производства. При таком случае есть возможность прибегнуть к разработке печатной платы с помощью аддитивных технологий. Современные 3D принтеры позволяют изготовить объемные электронные устройства с возможностью интегрирования компонентов внутрь диэлектрика. Данный подход позволяет уменьшить массу и габариты конечного аппарата, а также избавляет от необходимости заливки компаундом. Это достигается благодаря наличию двух печатающих головок принтера, где первая наносит диэлектрический слой, вторая наносит проводящий [2]. Диэлектрик является полимером, схожим по

параметрам со стеклотекстолитом FR4, проводящий слой состоит из наночастиц серебра и имеет электропроводимость в два раза меньше, чем у меди. При печати есть возможность оставить углубления для последующей установки необходимых электронных компонентов, после чего нанести следующий слой, что позволяет разместить изделия на различной высоте друг от друга [1]. Особенность такого метода изготовления заключается в неизученности используемых материалов, а также воздействия на компоненты, устанавливаемые данным способом. Одним из важнейших аспектов при проектировании 3D-MID устройств будет являться проведение исследований, направленных на изучение тепловых режимов работы компонентов и функциональных узлов изделий, реализуемых с помощью аддитивных технологий.

Исследование

В рамках данного исследования была проведена серия расчетов с целью определения тепловых характеристик радиоэлементов, используемых в типовых электрических схемах, при интегрировании внутрь диэлектрического объема. При проектировании необходимо учитывать определенные особенности печати 3D-принтера, не позволяющие применять для внедрения элементы сложной формы [3],

что позволяет использовать преимущественно планарные комплектующие. Также стоит учитывать, что процесс создания объемных плат исключает возможность дальнейшего изменения схемы, т.к. изделие останется герметичным. В качестве одной из типовых схем рассмотрим низкочастотный аудио усилитель,

электрическая схема которого показана на рис. 1.

Исходные данные:

- выходная мощность – 0.5 W,
- напряжение питания – 25 V,
- частота – до 30 kHz.

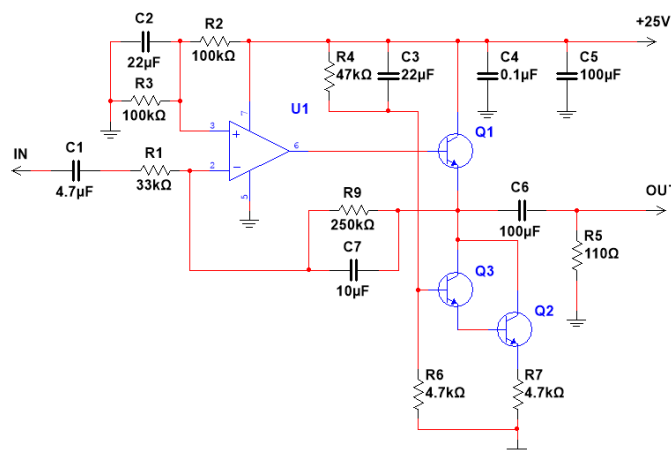


Рис. 1. Электрическая схема низкочастотного аудио усилителя

Наиболее греющимися компонентами данной схемы при правильной работе являются операционный усилитель, транзистор и резистор. При создании стандартной печатной платы с маломощными по тепловыделению узлами нет необходимости в добавлении дополнительных теплоотводов, однако при проектировании 3D-MID изделия элементы, находясь в замкнутом пространстве, состоящего из диэлектрика, будут иметь иные характеристики. В случае первого исследования была рас-

смотрена часть функционального узла усилителя, с использованием элементов в корпусах 2512 и SOT1061. На рис. 2 отображены результаты теплового моделирования элементов, при мощности тепловыделения резисторов 0.17 и 0.21W, транзистора 0.2W, при температуре окружающей среды 25 °C, где: а) отображение моделей элементов с проводящим слоем внутри объема диэлектрика; б) показатели температурных данных при моделировании, °C.

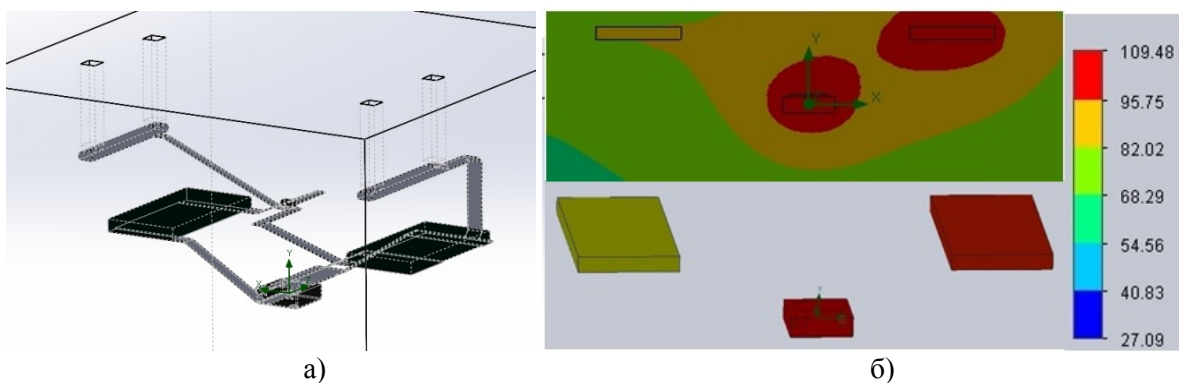


Рис. 2. Результаты теплового моделирования

Как мы можем видеть из результатов моделирования, температурные показатели элементов не превышают максимальные зна-

чения для SMD компонентов ($T < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) и стеклотекстолита ($T < 130\text{ }^{\circ}\text{C}$), однако являются достаточно высокими для такой мощности.

Использование элементов в более энергоемких электрических схемах приведет к перегреву и деформации диэлектрика, что нарушит целостность устройства. Согласно расчетным данным, такая температура достигается при

рассеиваемой мощности ≈ 0.25 W, граница с отметкой в 130 °C, что отображено на рис. 3.

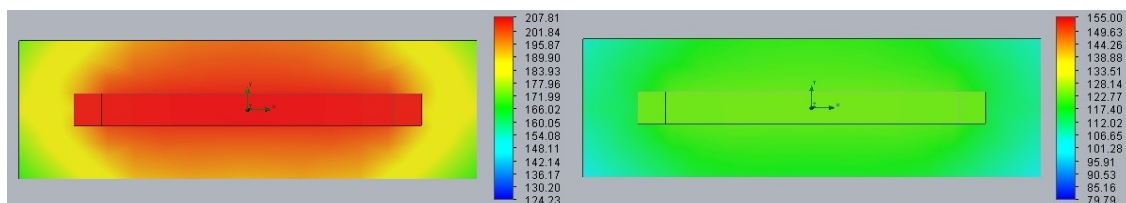
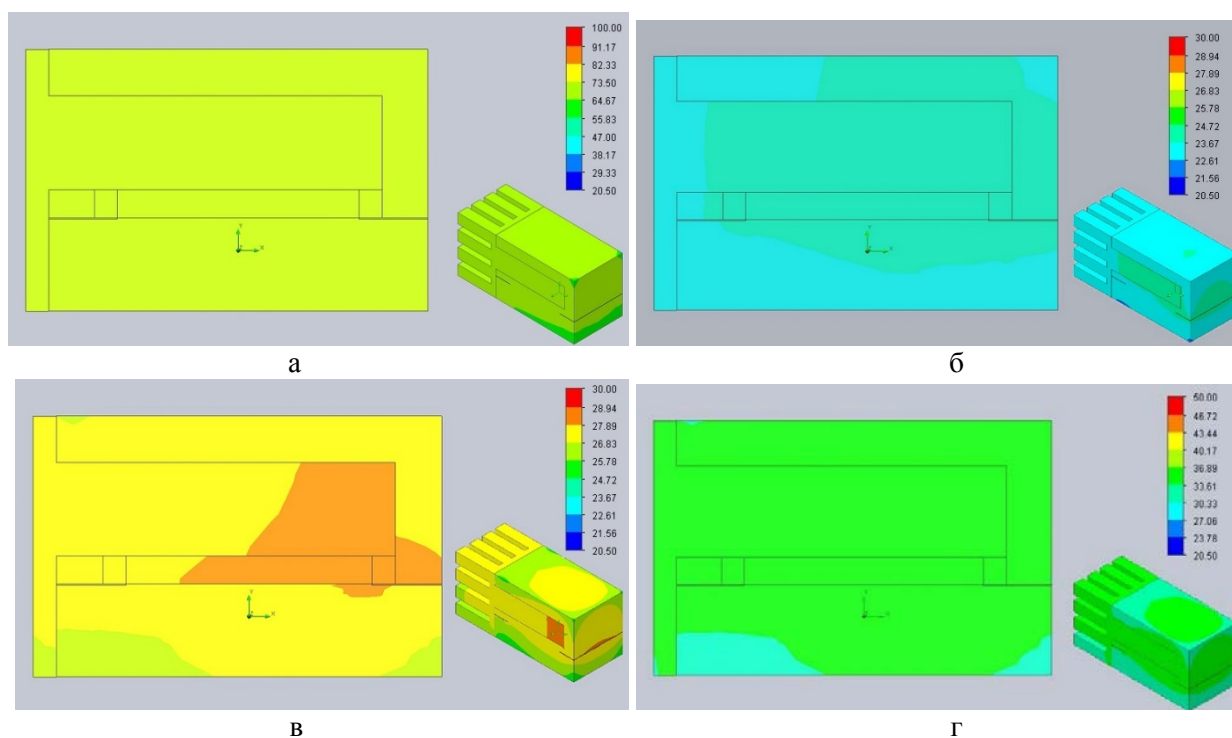


Рис. 3. Тепловые модели SMD резистора с мощностью тепловыделения 0.5 и 0.25 W

Полученные данные показывают высокое отклонение температурных данных от нормы, что ограничивает сильно нагревающиеся компоненты от использования в 3D объемных платах. Для обеспечения правильных температурных режимов необходимо внедре-

ние источников теплоотвода. При следующем исследовании была спроектирована модель миниатюрного радиатора 2×2 сантиметра из алюминия, интегрированная внутрь поверхности диэлектрика, результаты моделирования предоставлены на рис. 4.



Рису. 4. Тепловые модели SMD резистора с добавлением внутреннего теплоотвода: а – мощность тепловыделения 0,25 W; б – мощность тепловыделения 0,25 W, с охлаждением; в – мощность тепловыделения 0,5 W, с охлаждением; г – мощность тепловыделения 1 W, с охлаждением

Данное решение позволило уменьшить общую температуру агрегата с 130 °C до 73.5 °C, также далее были рассмотрены случаи с более высокими мощностями и добавлением потока воздуха кулера на 6 V, частотой 50 Hz.

С применением миниатюрного радиатора [5] и дополнительного отвода тепла с помощью потока воздуха удалось достичь снижения температурных показателей до 80%, что дает возможность использования более мощных элек-

тронных изделий внутри 3-MID устройства. При необходимости достижения более высокой степени охлаждения необходим теплоотвод с большей стороны источника тепла. На

рис. 5 отображены результаты расчетов с применением радиаторной решетки на верхней части изделия.

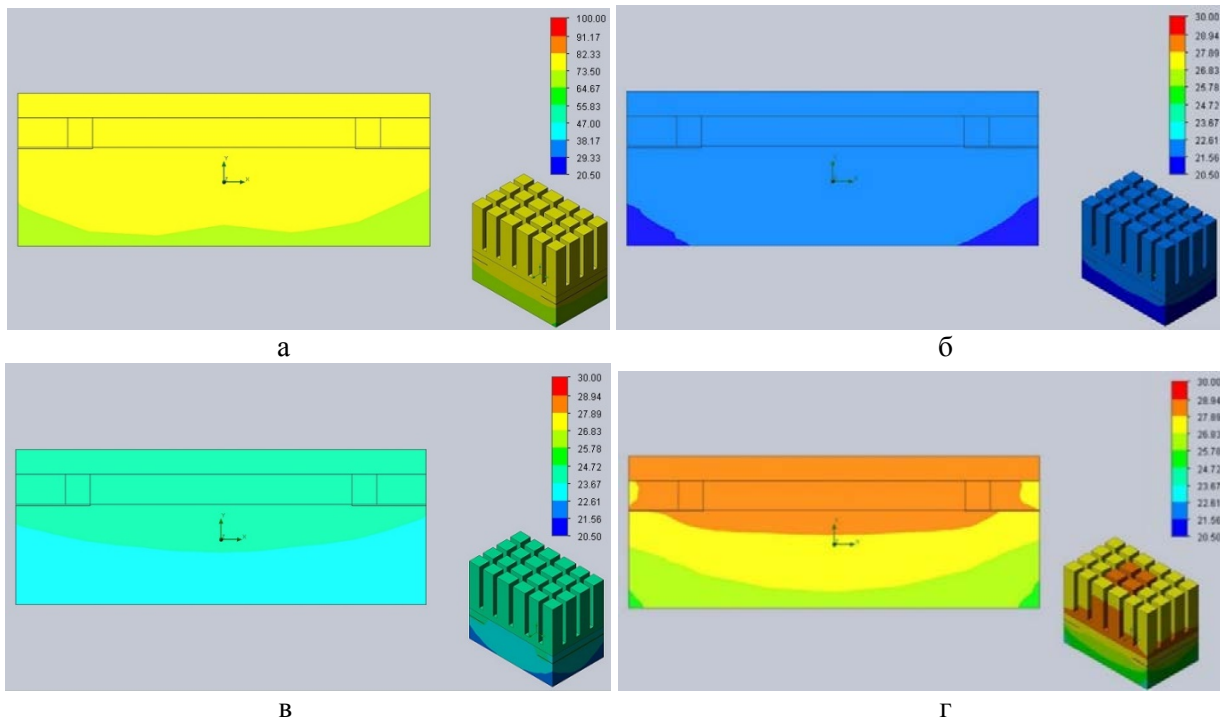
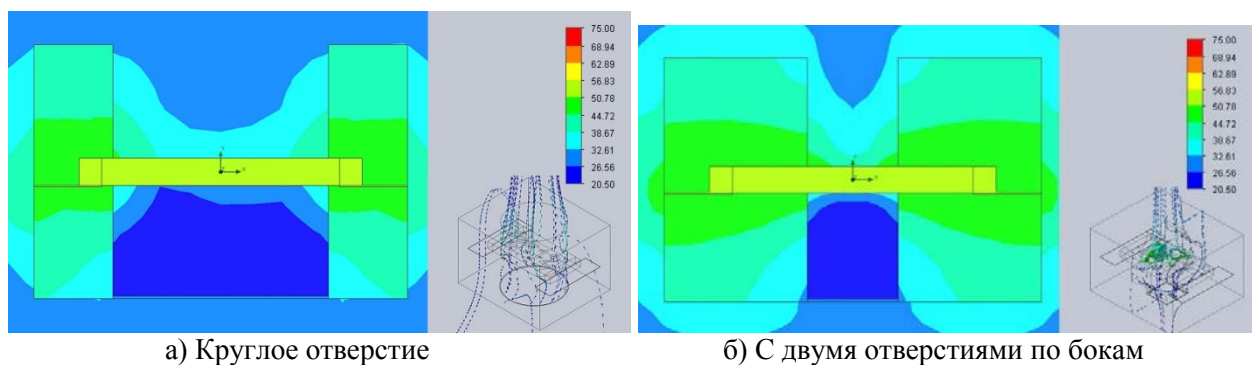


Рис. 5. Тепловые модели *SMD* резистора с добавлением наружного теплоотвода: *а* – мощность тепловыделения 0,25 W; *б* – мощность тепловыделения 0,25 W, с охлаждением; *в* – мощность тепловыделения 0,5 W, с охлаждением; *г* – мощность тепловыделения 1 W, с охлаждением

Применение такого вида установки дополнительно обеспечила эффективность теплового оттока до 10 °C при данных условиях.

Возможность 3D принтера печатать диэлектрические фигуры любой формы позволяет использовать установку в целях создания

сквозных отверстий [4] для получения дополнительной вентиляции установленных компонентов. По данному методу было проведено несколько моделирований, где начальные условия рассеиваемой мощности элемента = 0.5 W, два из них отображены на рис. 6.



а) Круглое отверстие

б) С двумя отверстиями по бокам

Рис. 6. Тепловые модели с применением сквозных воздушных отверстий

Результаты по моделированию тепловых моделей с применением сквозных воздушных отверстий также показали существенное снижение температуры, что позволяет обеспечить необходимые для проектировщика схемы условия.

Выводы

Результаты данной работы отображают возможности использования аддитивных технологий при разработке печатных плат, а также способы их внедрения. В процессе моделирования были выявлены критерии по применению и выборке электротехнических изделий для разработки объемных 3D-MID печатных платах. Проведены расчеты по обеспечению эффективного теплоотвода от элементов с большой рассеиваемой мощностью, что дает возможность реализации большего количества устройств в нестандартном 3D форм-факторе, что может обеспечить дополнительное снижение массогабаритных характеристик изделия. Последующим направлением данного исследования будет создание и обеспечение лучших температурных режимов сложных техниче-

ских устройств с применением аддитивных технологий.

Библиографический список

1. Белова О.В., Калачев П.Ю. Разработка и исследование элементов интенсификации теплообмена, изготовленных с применением аддитивных технологий // Аддитивные технологии: настоящее и будущее. Материалы III Международной научной конференции. М.: ВНИИИАМ, 2017. С. 1–12.
2. 3D-принтер DragonFly – революционное решение для изготовления многослойных печатных плат // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2018. № 8 (00179). С. 134–136.
3. Javaid Butt. Exploring the Interrelationship between Additive Manufacturing and Industry 4.0 Designs 2020. V. 4, 13. P. 11–14. doi:10.3390/designs4020013.
4. Patrick F. Flowers, Christopher Reyes, Shengrong Ye, Myung Jun Kim, Benjamin J. Wiley. 3D printing electronic components and circuits with conductive thermoplastic filament // Additive Manufacturing. 2017. Volume 18. December. P. 156–163.
5. Yue Dong, Chao Bao, Woo Soo Kim. Sustainable Additive Manufacturing of Printed Circuit Boards // Joule 2. April 18. 2018. P. 579–582.

Поступила в редакцию
22.10.2020