

УДК 621.378.001

Занг Ван Тхань, С.У. Увайсов, В.В. Черноверская

Разработка метода оптимального размещения элементов на коммутационном поле печатного узла с целью обеспечения заданных тепловых режимов РЭС

В настоящее время техническое проектирование является одним из важнейших этапов разработки и производства электронных средств, которые широко применяются в электронной промышленности. На этапе проектных исследований в рамках решения задачи повышения качества и надежности электронных средств, изготовленных в виде печатных узлов (ПУ), получают конструктивную реализацию и основные эксплуатационные характеристики будущих изделий.

Ключевые слова: оптимизация, тепловой режим, размещение элементов, печатный узел, надёжность электронных средств

Об авторах

Занг Ван Тхань – аспирант 2-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА. *E-mail:* giangvanthanh.92tb@gmail.com. 119454, ЦФО, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78.

Увайсов Сайгид Увайсович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

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

Задача обеспечения оптимального теплового режима электронного средства относится к одной из важнейших задач его проектирования. Способы обеспечения требуемого теплового режима подразделяются на активные и пассивные. Активные способы предполагают использовать системы охлаждения с тем или иным теплоносителем, позволяющим переносить тепловую энергию от источников тепла к теплоотводу. В пассивных способах обеспечения теплового режима электронных средств имеют место следующие механизмы:

- использование элементов конструкций с хорошей теплопроводностью;
- использование при установке элементов специальных теплопроводных паст для снижения теплового контактного сопротивления;

- снижение энергопотребления за счет динамического управления питанием микросхем в зависимости от их работы или простоя;
- рациональное размещение источников тепла в электронных средствах.

Обеспечение оптимального теплового режима без использования активных систем охлаждения позволяет уменьшить массогабаритные характеристики электронных средств, а в некоторых случаях снизить их стоимость. Пассивные способы наиболее актуальны при обеспечении требуемого теплового режима для электронных средств с жесткими ограничениями на массогабаритные характеристики и специфическими условиями эксплуатации, например, невесомость, вакуум [4]. Оптимизация теплового режима путем грамотного размещения элементов на коммутационном поле печатного узла позволяет скорректировать его температурное поле, что

повышает надежность устройства в целом, которая существенно зависит от рабочих температур элементов. Рациональное размещение тепловыделяющих элементов непосредственно связано с необходимостью обеспечения оптимального монтажно-коммутационного пространства, что переводит рассматриваемую задачу в класс многокритериальных оптимизационных задач и усложняет вычислительный процесс, поэтому на этапе проектирования необходимо оценить, какой потенциал имеется для улучшения теплового режима.

Оптимизационные задачи являлись нетривиальными для разработчиков электронных средств, поэтому им всегда уделялось особое внимание. В разные годы проводились исследования, разрабатывались специализированные методы и алгоритмы оптимизации, в том числе с применением аппарата нейронных сетей и технологий искусственного интеллекта. Задачи оптимизации радиоэлектронных средств (РЭС) рассматривались в работах Гуткина Л.С., Курейчика В.М., Гладкова Л.А., Батищева Д.И., Кандырина Ю.В., Норенкова И.П. и др. Тем не менее она остается актуальной и для современных разработчиков в рамках обеспечения надежности и качества электронной аппаратуры, в условиях неуклонного стремления к миниатюризации проектируемых устройств, повышению скоростей сигналов и требований по безопасности.

Решение задачи оптимального проектирования радиоэлектронных средств требует применения специализированных систем автоматизированного проектирования (САПР), поэтому программные средства топологического проектирования дополняются функционалом инженерного анализа и расчетов. Это связано с различными видами моделей, применяемых при проектировании электронных средств, например, модель теплового расчета представляет собой уравнения математической физики, а модели электрических схем – это структурные модели, строящиеся на основе теории множеств и графов. Интеграция программных средств позволяет сделать процесс проекти-

рования последовательно-параллельным итерационным, дающим возможность учесть малейшие детали, возникающие в процессе разработки электронного средства.

Метод оптимизации расположения элементов печатного узла по температурным характеристикам

К конструкциям современных радиоэлектронных средств предъявляются достаточно высокие требования по технологичности и эксплуатационным характеристикам. Это: максимальная плотность монтажа элементов, жесткие ограничения по массогабаритным характеристикам, обеспечение высокого удельного тепловыделения, высокая степень стабильности характеристик [1; 2]. Грамотное решение этой комплексной задачи позволит обеспечить высокую надежность проектируемого устройства в целом. Одним из ведущих направлений в решении этой задачи является обеспечение оптимальных тепловых режимов работы устройства.

Многочисленные исследования в этой области показывают, что возникновение перегревов компонентов в процессе эксплуатации блоков и устройств приводит не только к изменению электрических и механических характеристик, но и снижению показателей надежности устройства.

Традиционные методы диагностики электронных средств по тепловому полю основываются на статистической обработке результатов измерения температуры. Для повышения точности топологического проектирования электронных средств необходимо рассмотреть конструкции блоков в тепловых моделях. Такие расчеты могут проводиться с использованием инструментов инженерного анализа [3; 5]. Использование специализированного программного обеспечения для расчета тепловых режимов помогает добиться максимальной эффективности и надежности, а также получить оптимальный вариант размещения элементов на коммутационном поле печатного узла по значениям их рабочих температур.

С помощью аналитической тепловой мо-

дели электронного устройства рассчитывается температура каждого электронного элемента, на основании чего выносится решение о работоспособности устройства. Для уменьшения трудоемкости задачи размещения применяются структурные тепловые модели в виде графов. Построение таких моделей основывается на исследованиях закономерностей формирования температурных полей электронных устройств различных классов. Задача размещения разбивается на две иерархические подзадачи: первая заключается в построении структурной тепловой модели (в виде графа), определяющей допустимые варианты размещения, а вторая является непосредственно задачей размещения.

Экспериментальная часть

В данной работе изложен метод оптимизации размещения электронных компонентов печатных узлов, в основу которого положены принципы системного подхода и моделирования различных физических процессов. Структурная схема предложенного метода оптимального размещения элементов на коммутационном поле печатного узла представлена на рис. 1.

Модели, используемые для оптимизации, содержат параметры или функции, которые можно изменить для достижения поставленной цели [6]. В качестве инструментальных сред, решающих задачи проектирования и инженерного анализа, применялись следующие САПР: *OrCad*, *PSpice* — для синтеза и исследования электрической принципиальной схемы устройства, представленной на рис. 2 и 3, *SolidWorks* — для выполнения моделирования и инженерных расчетов (рис. 4, 5, 6), *Altium Designer*, *Delta Design* — для проектирования топологии печатного узла (рис. 7).

Инструменты моделирования *SolidWorks* обладают достаточной точностью для получения реалистичных результатов, а также позволяют запустить и оптимизировать тепловое проектирование.

Информация, полученная на этом этапе, будет определять конструкцию блока и расположение элементов на коммутационном

поле печатной платы, после чего в среде *Altium Designer* будет спроектирована топология печатного узла. Процесс теплового моделирования будет завершен в случае формирования однородного температурного поля проектируемого узла и нахождения оптимального варианта размещения. Как правило, требуется несколько итераций алгоритма теплового моделирования, в результате которого создается лучший вариант

В данной работе был проведен ряд исследований, наиболее характерные результаты которых представлены на рис. 8–10. Согласно алгоритму моделирования рассматривались различные варианты размещения ЭРЭ относительно наиболее тепловыделяющей ИМС IC-LM317, мощность рассеивания которой составляет 20 Вт. Поскольку принципиальная схема блока не является высоконагруженной с точки зрения количества элементов, то варианты размещения выбирались разработчиком априорно, исходя из накопленного практического опыта. В то же время инструментарий современных САПР позволяет осуществить точный расчет исследуемых параметров разрабатываемого узла и выполнить детальный анализ полученных вариантов. Для анализа и моделирования более сложных электронных средств разработаны оптимизационные алгоритмы, основанные на применении теории множеств, теории графов, генетических алгоритмов. Ознакомиться с методикой их применения можно в работах [2; 4; 8–10].

Параметры теплового моделирования, распределение температурных полей и значения рабочих температур наиболее полно представлены на рис. 5, откуда видно, что оптимальным вариантом размещения ЭРЭ с точки зрения обеспечения тепловых режимов является вариант № 2, где $\Delta T_2 \approx 25^\circ\text{C}$ и прослеживается зависимость: $\Delta T_2 < \Delta T_3 < \Delta T_1$. На следующем этапе в соответствии с этим вариантом размещения спроектирована топология печатного узла и выполнено размещение ЭРЭ в САПР *Altium Designer*. Последовательность этапов поиска оптимального варианта размещения ЭРЭ с учетом тепловых режимов ра-

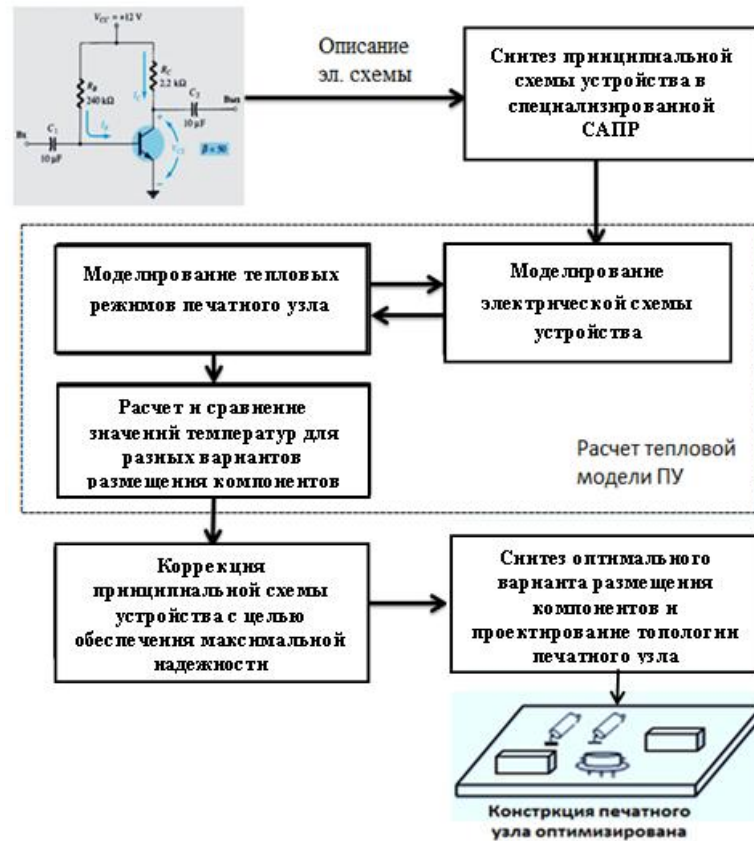


Рис. 1. Структурная схема метода поиска оптимального варианта размещения элементов печатного узла по их температурным характеристикам

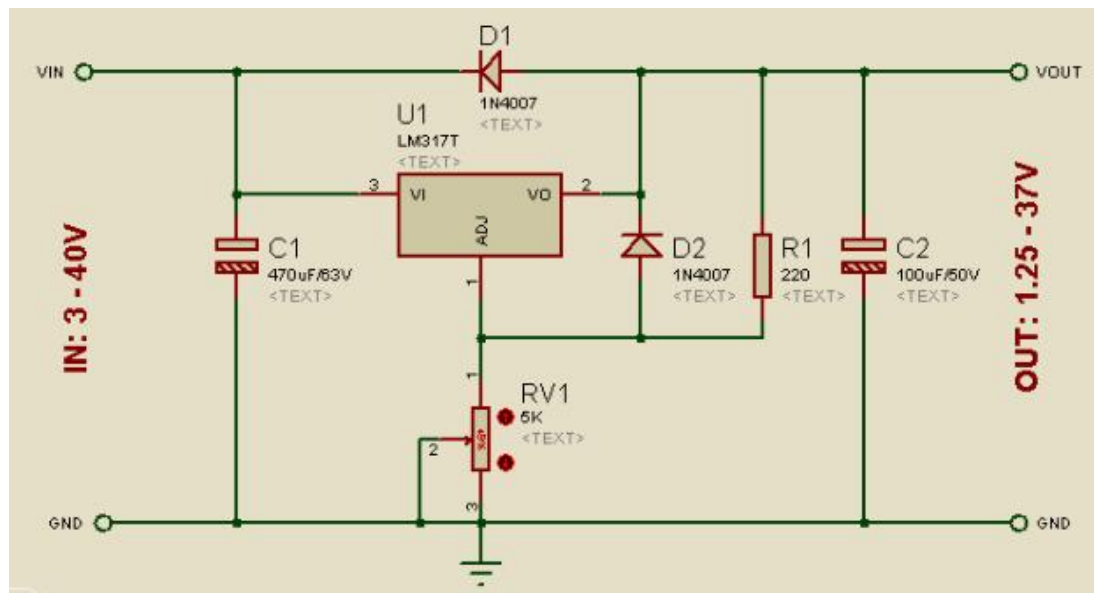


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема блока питания, построенного на ИМС IC-LM317

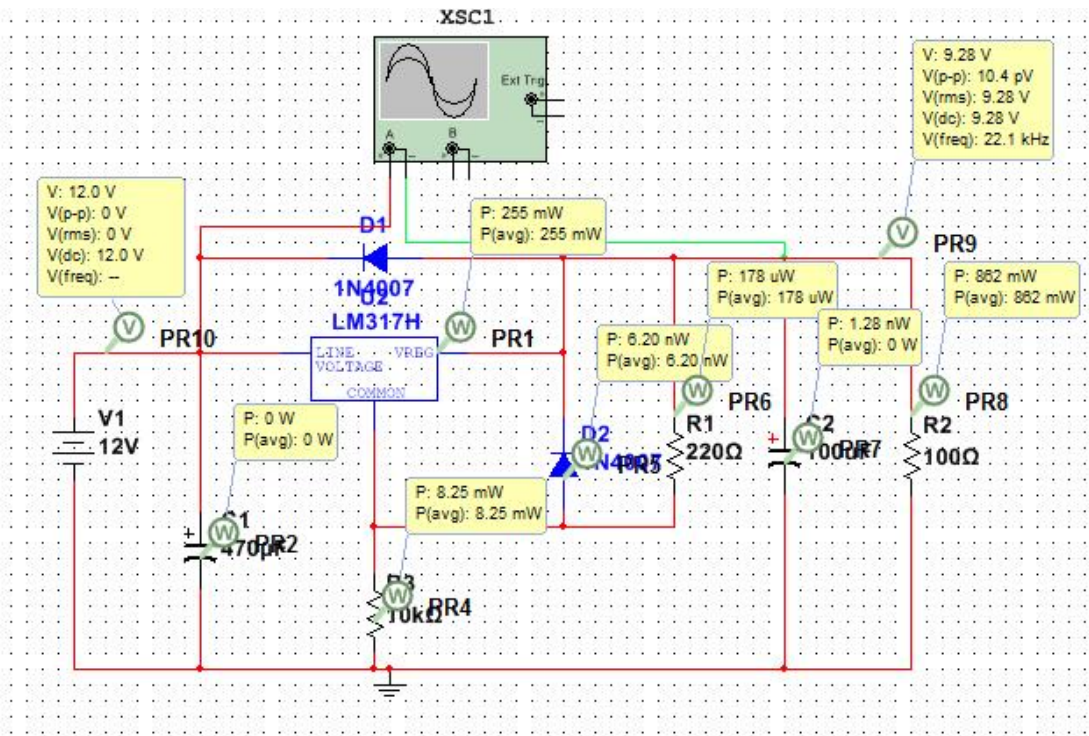


Рис. 3. Расчет параметров электрической принципиальной схемы блока питания

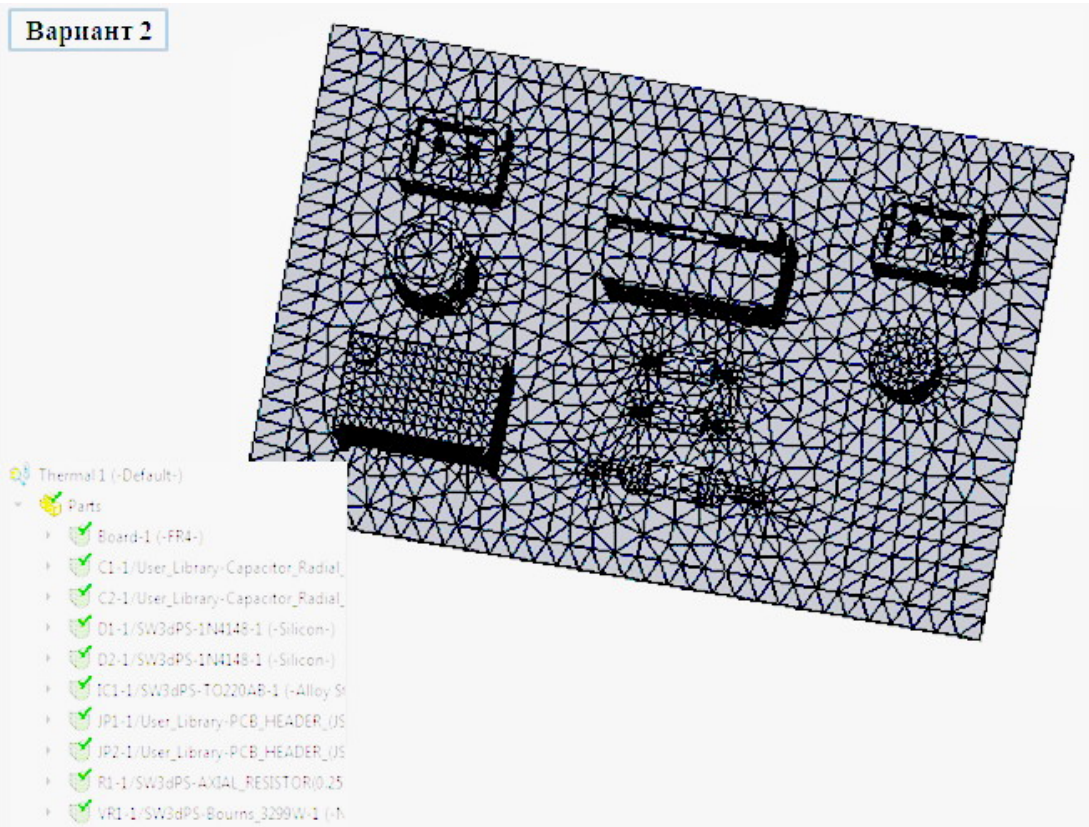


Рис. 4. Моделирование печатного узла при помощи МКЭ в САПР SolidWorks

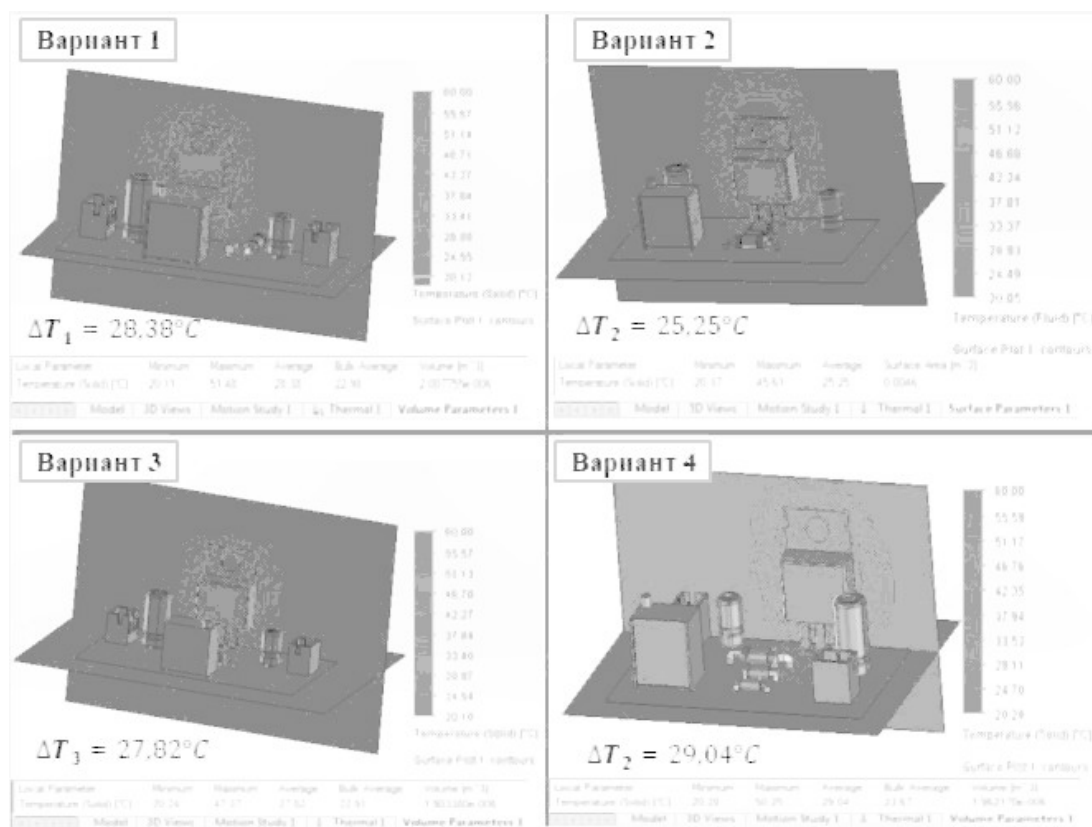


Рис. 5. Моделирование тепловых режимов печатного узла в САПР SolidWorks Simulation для разных вариантов размещения электрорадиоэлементов (ЭРЭ)

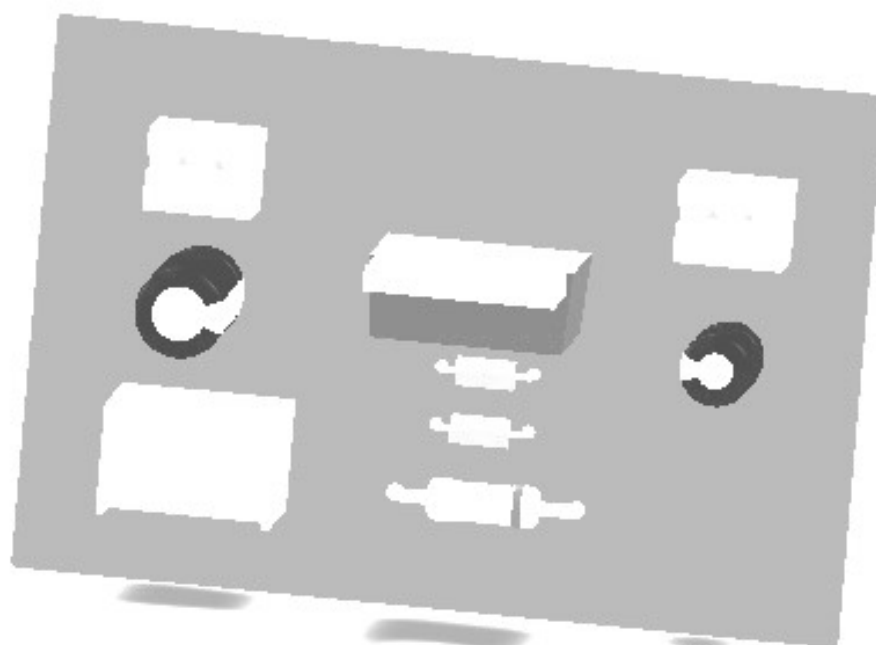


Рис. 6. 3D-модель печатного узла для одного из вариантов размещения ЭРЭ

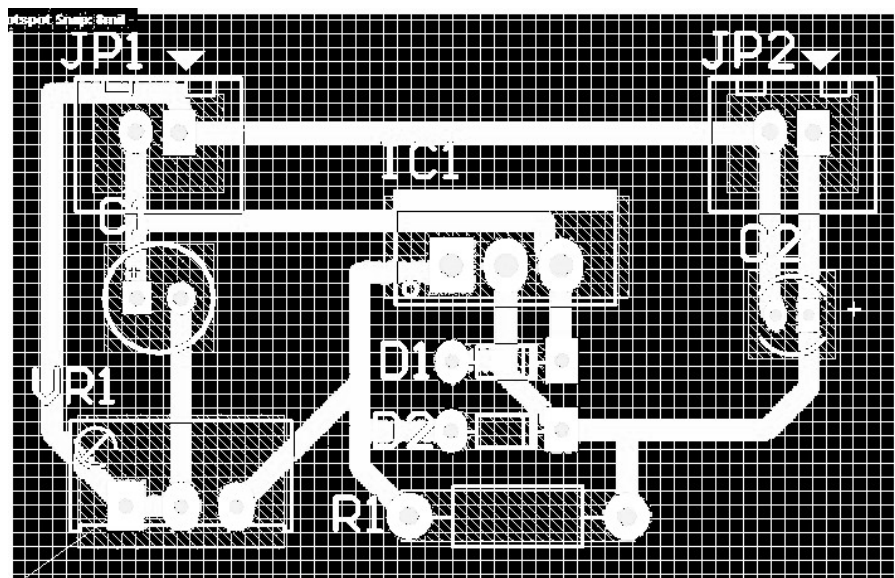


Рис. 7. Печатный узел для одного из вариантов размещения ЭРЭ, созданный в среде *Altium Designer*

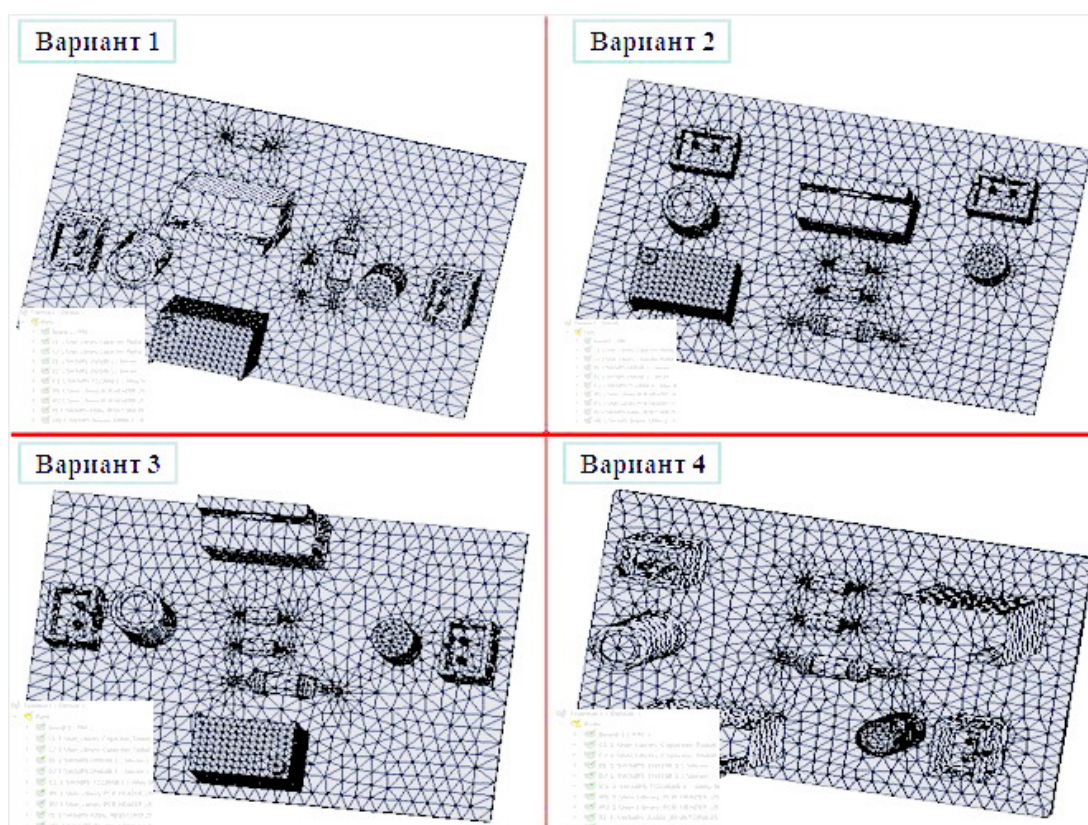


Рис. 8. Применение МКЭ в САПР *SolidWorks* при моделировании топологии печатного узла для 4-х вариантов размещения ЭРЭ

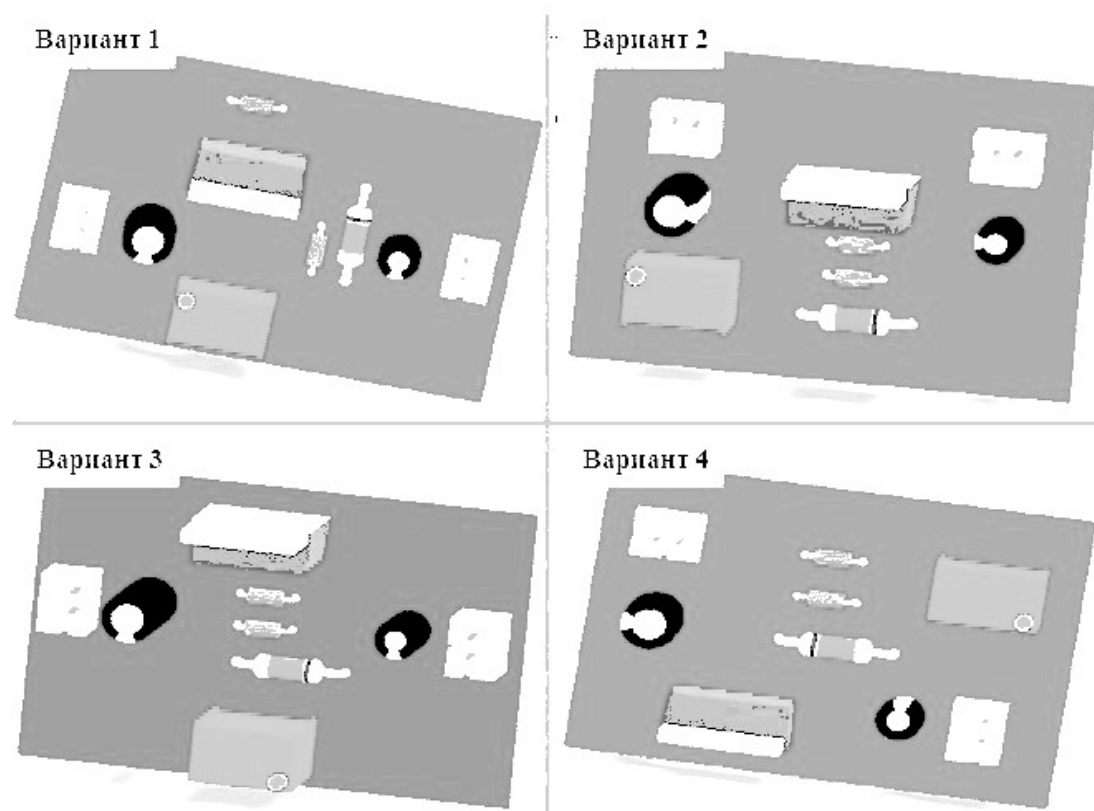


Рис. 9. 3D-модель печатного узла для 4-х вариантов размещения ЭРЭ

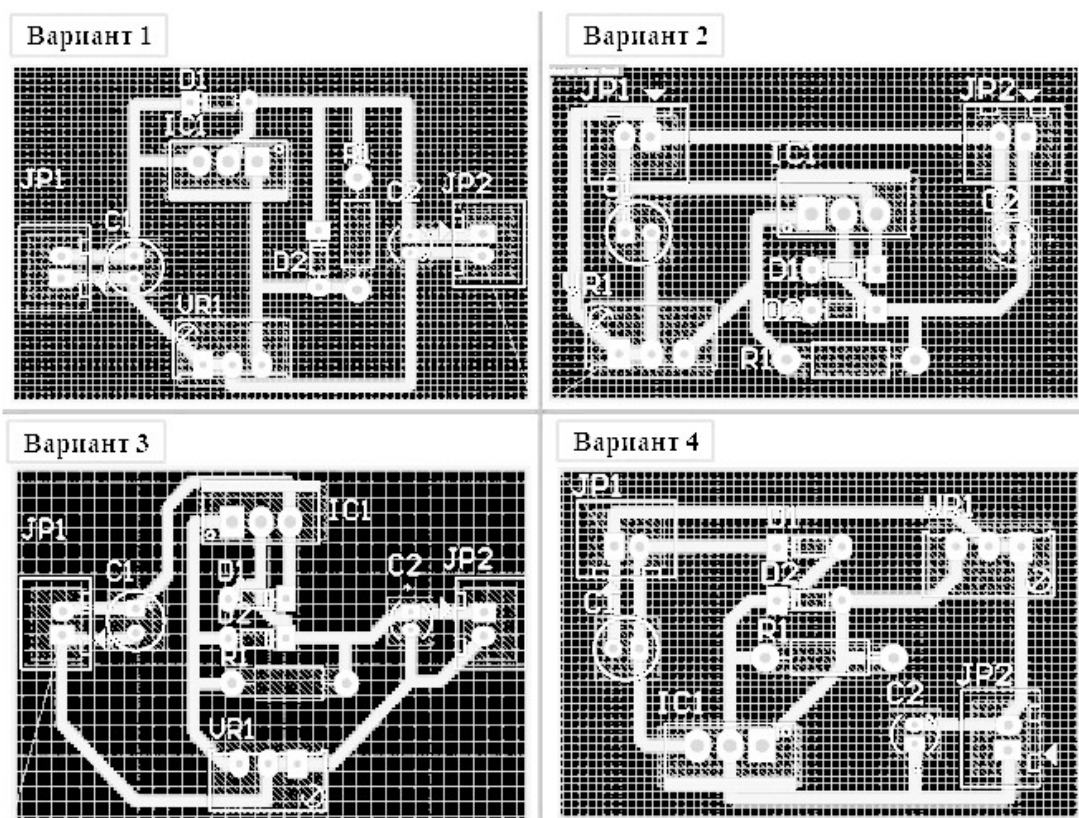


Рис. 10. Варианты размещения ЭРЭ, полученные в САПР *Altium Designer*

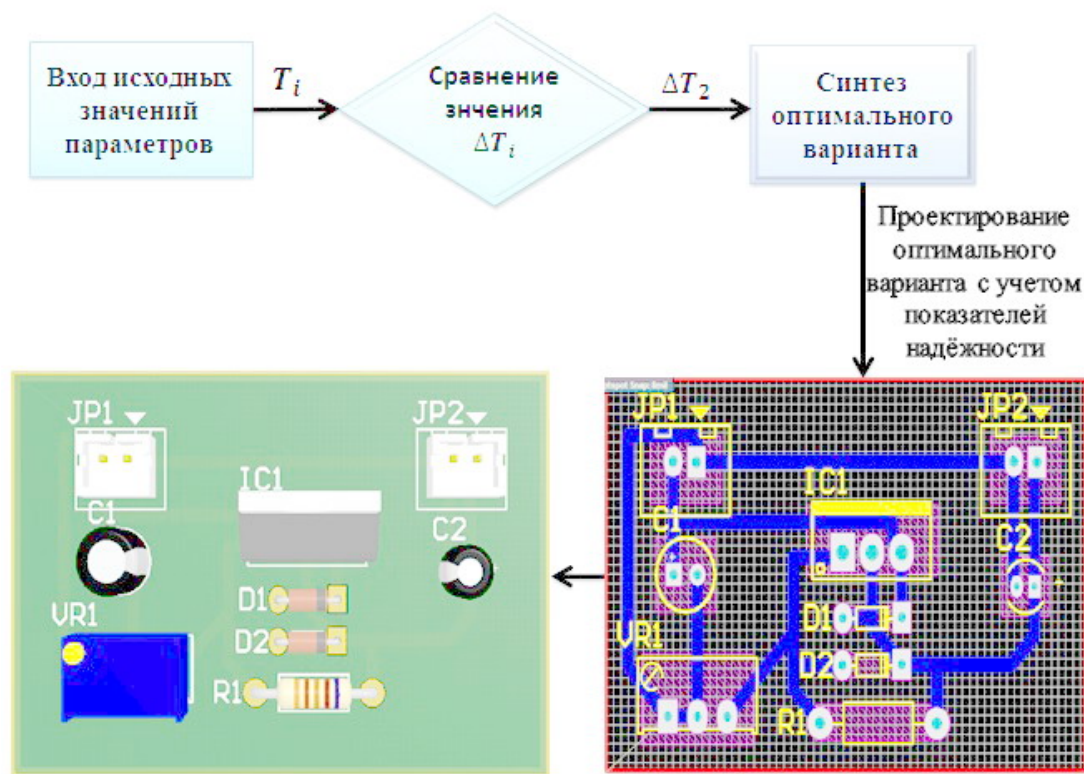


Рис. 11. Последовательность этапов поиска оптимального варианта размещения ЭРЭ с применением современных САПР

боты узла представлена на рис. 11.

Выводы

В данной работе рассмотрена задача обеспечения оптимальных тепловых режимов электронного средства за счет разработки метода рационального размещения электронных компонентов на печатных узлах с целью формирования однородного температурного поля по поверхности узла и предотвращения перегревов ЭРЭ. Для решения данной задачи применялись современные пакеты автоматизированного проектирования и инженерного анализа. В результате исследования удалось получить оптимальный вариант размещения ЭРЭ и разработать алгоритм поиска такого решения.

Дальнейшим направлением развития представленного исследования станет совершенствование алгоритма поиска оптимального решения с учетом многокритериальности рассматриваемой задачи и более полной оценки факторов, влияющих на надежность электронного устройства в целом.

Библиографический список

1. Кольтюков Н.А., Белоусов О.А. Проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009.
2. Меркухин Е.Н. Использование графовых моделей пространства допустимых решений в задаче размещения электронных элементов // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 5. С. 56–61.
3. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК-Пресс, 2010.
4. Меркухин Е.Н. Априорный критерий оценки эффективности оптимизации теплового режима путем рационального раз-

мещения электронных элементов // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 77–81.

5. Lombard M. SolidWorks 2013 Bible. John Wiley & Sons Inc. 2013.
6. Горячев Н.В., Граб И.Д., Рыжов А.А. Подсистема расчета средств охлаждения радиоэлементов в интегрированной среде проектирования электроники // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2010. № 4. С. 24–29.
7. Кочегаров И.И., Горячев Н.В., Гришко А.К. Выбор оптимального варианта построения электронных средств. // Вестник Пензенского государственного университета. 2015. № 2 (10). С. 153–159.
8. Меркухин Е.Н. Синтез тепловой модели на основе принципа суперпозиции температурных полей для платы микроблока электронной аппаратуры // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10-4. С. 534–538.
9. Меркухин Е.Н. Метод расчета теплового режима плат микроблоков электронной аппаратуры // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Махачкала: ДГТУ. 2011. № 21. С. 32–36.
10. Мелехин В.Б., Бахмудов А.М., Меркухин Е.Н. Синтез процедур выбора решений сложных задач интеллектуальными системами на нечетких моделях представления знаний // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Махачкала: ДГТУ. 2011. № 23. С. 43–49.

*Поступила в редакцию
06.05.2020*