

УДК 621.372

*Ван Тхань Занг, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Р. М. Увайсов*

## **Алгоритм размещения элементов на печатном узле электронного средства**

*Задача оптимизации размещения элементов на печатных узлах электронных средств является очень важной задачей в процессе технического проектирования для обеспечения качества и надежности электронных средств. Оптимизированное размещение электронных компонентов на печатной плате (PCB) требуется для удовлетворения многих противоречивых целей проектирования, поскольку большинство компонентов имеют разные значения рассеиваемой мощности, рабочей температуры, характеристики материала и размеры. Для решения данной задачи применялись современные пакеты автоматизированного проектирования и инженерного анализа с целью анализа и обеспечения оптимальной температуры в поле переключения. Кроме того, при проектировании электронных устройств большое внимание было уделено использованию технологий искусственных нейронных сетей и разработан алгоритм решения задач проектирования. Направление развития данного исследования является представлением и усовершенствование алгоритма размещения элементов на печатном узле электронного средства, решения многокритериальной задачи проектирования электронных устройств и полной оценки факторов, влияющих на надежность электроники в целом.*

*Ключевые слова: алгоритм размещения элементов, оптимизация, размещение элементов, радиоэлектронное средство, печатный узел, температурный режим, надёжность электронных средств*

### **Об авторах**

**Занг Ван Тхань** – аспирант 3-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА. E-mail: Giangvanthanh.92tb@gmail.com. Москва, Проспект Вернадского, 78.

**Куан Дао Ань** – аспирант 3-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

**Хань Фам Лэ Куок** – аспирант 4-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

**Увайсов Руслан Магомедович** – магистрант 1-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Одним из важнейших этапов развития современных электронных устройств в последние годы является этап проектирования. На этом этапе большинство электронных компаний уделяют большое внимание поиску решений для оптимизации размещения электронных компонентов на печатных узлах с целью обеспечения максимальной надежности электронных средств.

Известно, что конкретный вариант размещения электронных компонентов на печатной плате влияет на температуру перехода и общее распределение тепла на ней. Электронные средства с большой мощностью нагреваются, и температура каждого компонента влияет на соседние участки печатной схемы [1; 2]. Следовательно, если компоненты оптимально размещены на печатной плате, распределение тепла может быть оптимизиро-

вано, что позволит избежать перегрева и сделать схему более стабильной.

В данной статье описан алгоритм оптимальной компоновки электронных узлов большой размерности по коммутационным и тепловым критериям. В основе алгоритма – формирование равномерных с точки зрения суммарной температуры, групп тепловыделяющих элементов с последующим размещением тепловыделяющих элементов в блоки и минимизацией числа межблочных соединений.

### **Построение модели алгоритма равномерного начального распределения тепловых элементов по блокам**

Для решения задачи оптимального размещения электронных компонентов на печатной плате будет использоваться специализированная система автоматизированного проектирования (САПР) для технического анализа и расчетов Multisim, которая позволяет моделировать и задавать значения мощности, напряжения, тока и других параметров схемы.

Результат такого моделирования показан на рис. 1, 2.

В процессе моделирования теплового режима становится ясно, что чем насыщеннее схема электронными компонентами, тем больше вариантов для размещения нужно проанализировать разработчику. Для такого исследования применялся САПР SolidWorks,

который позволяет получить достаточно точные результаты и использовать их для дальнейшей оптимизации тепловых расчетов.

На первом этапе получаем геометрию новой компоновки, на втором – тепловой расчет для каждого элемента. Результаты моделирования показаны на рис. 3, 4.

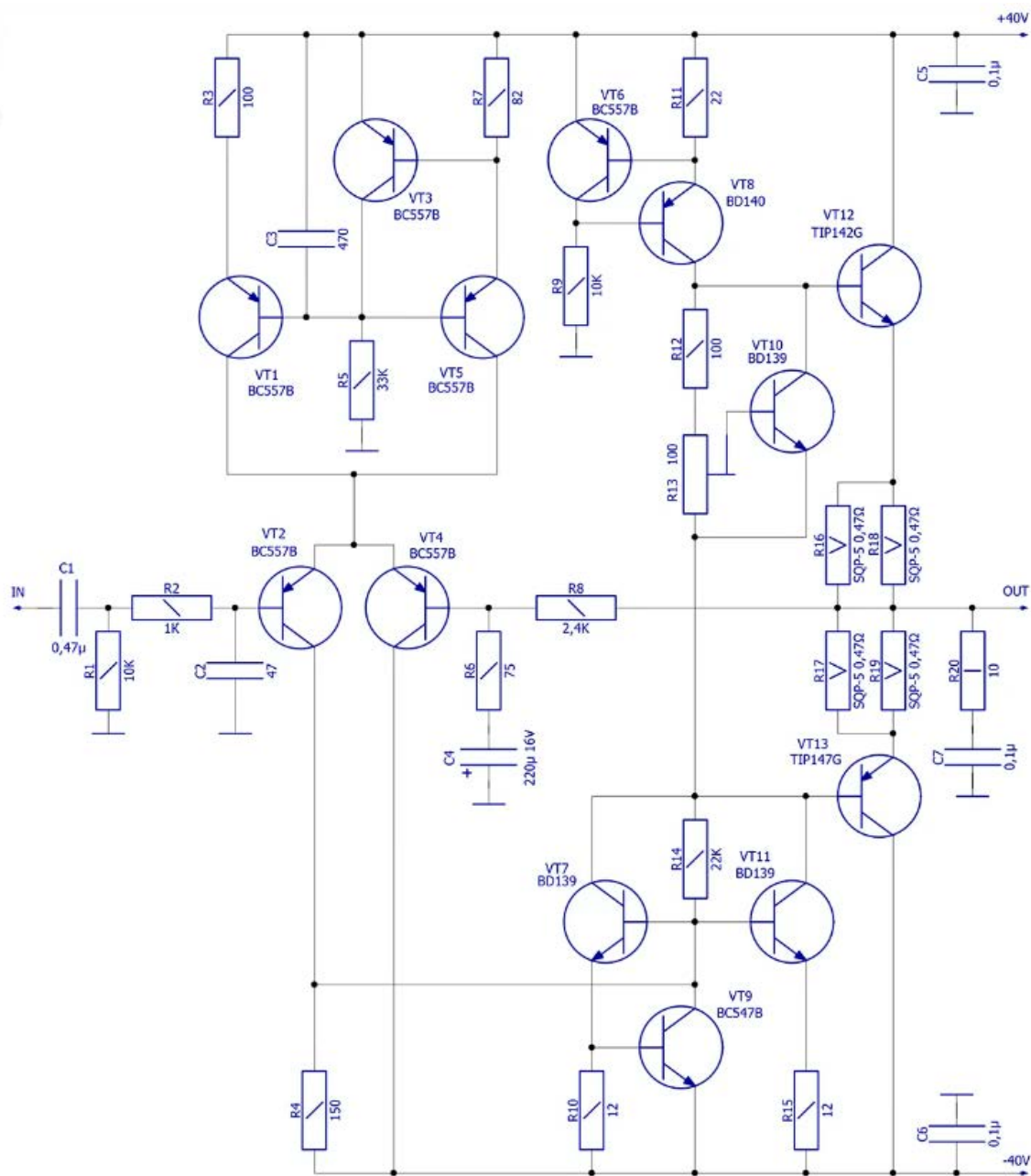


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная HI-FI УМЗЧ 120 Вт с выходным каскадом на составных транзисторах

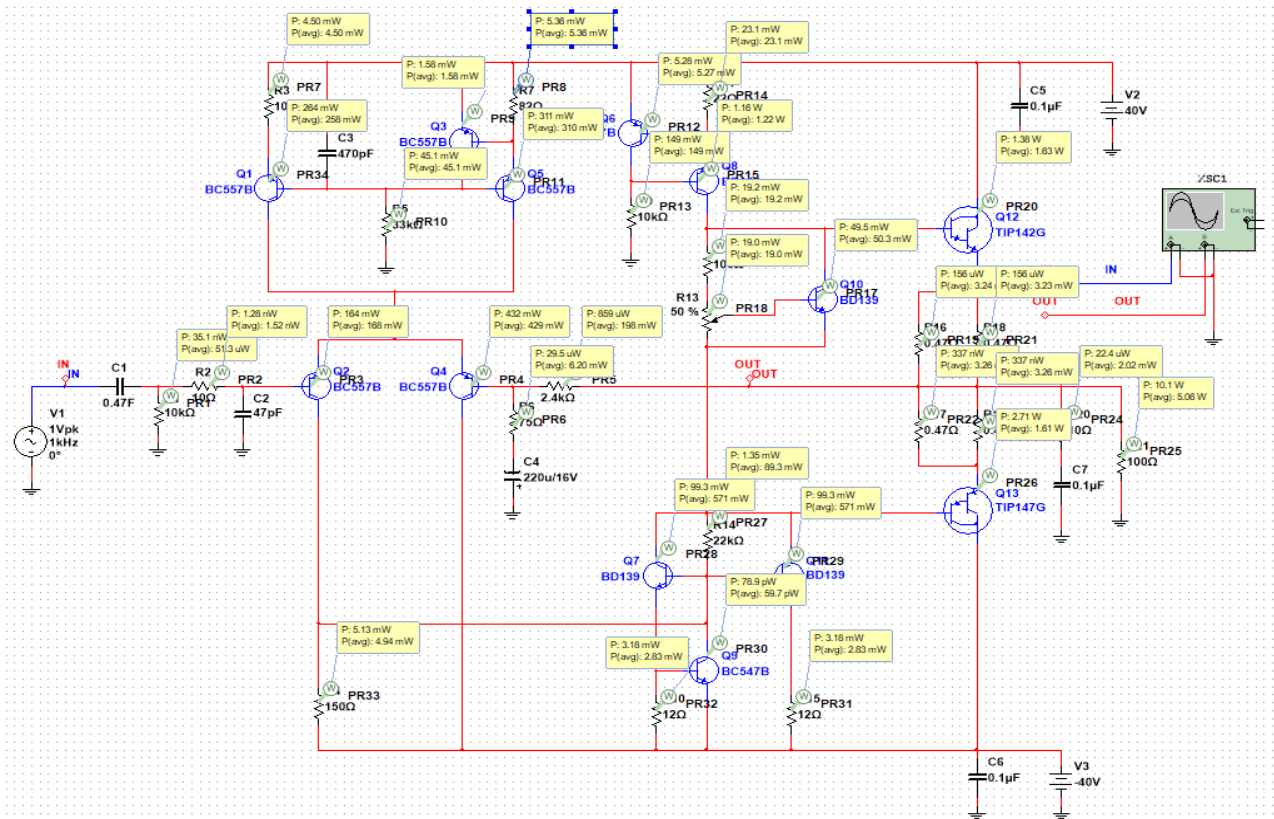


Рис. 2. Расчет параметров электрической принципиальной схемы блока питания

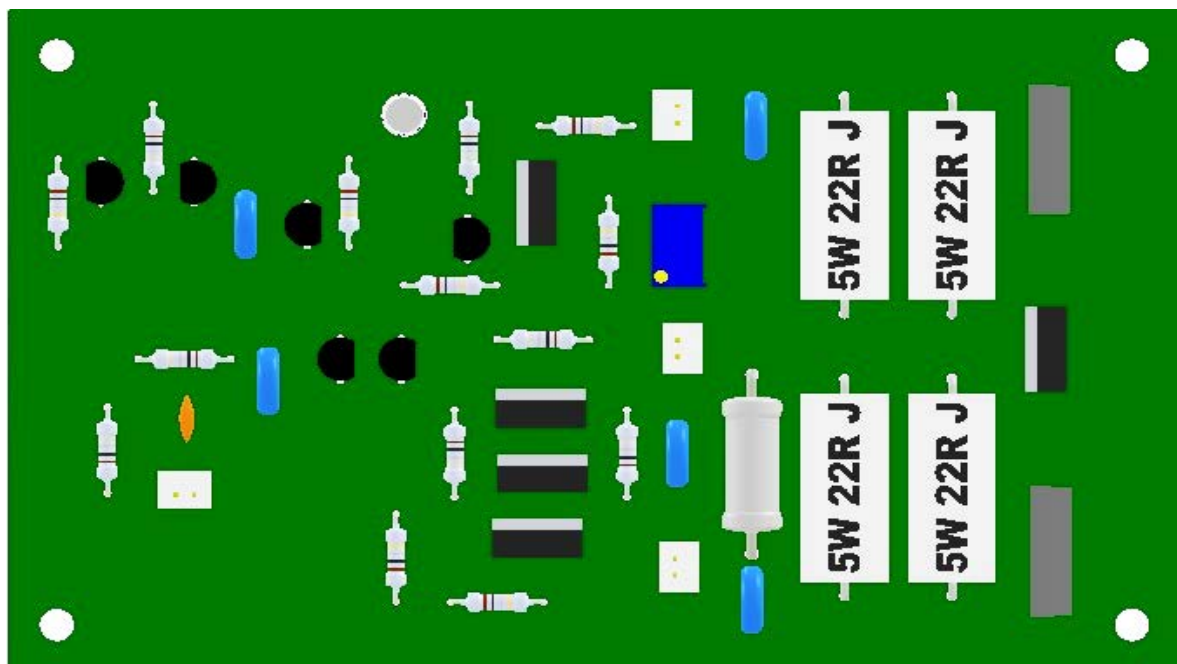


Рис. 3. 3D-модель печатного узла для начального варианта размещения ЭРЭ

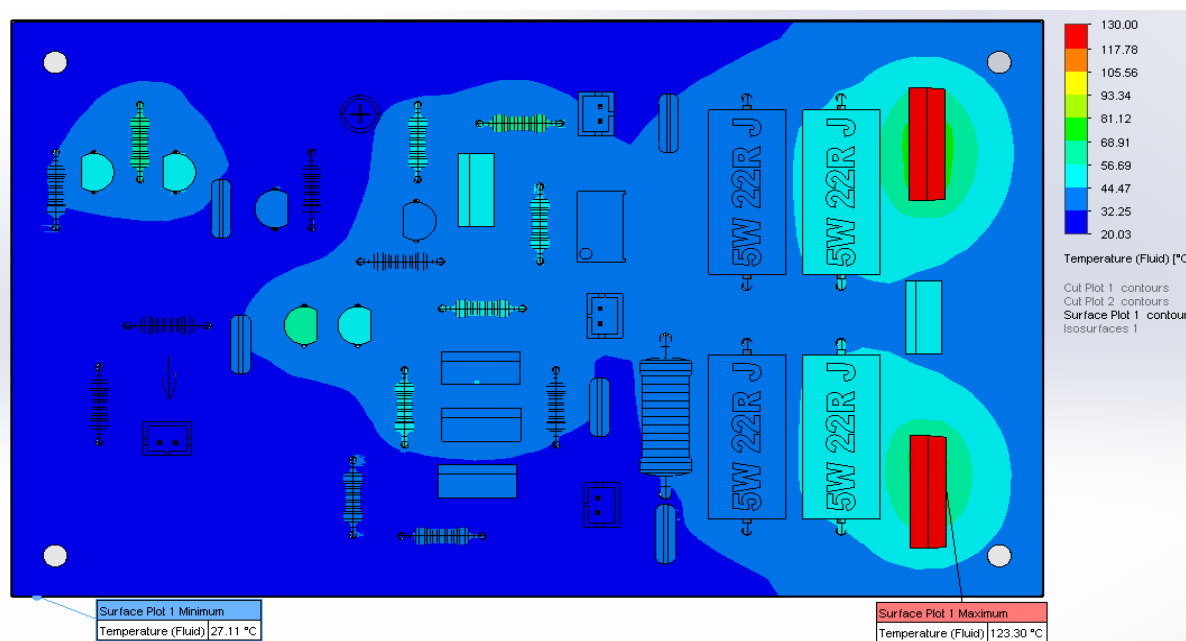


Рис. 4. Моделирование тепловых режимов печатного узла в САПР SolidWorks Simulation для начального варианта размещения электрорадиоэлементов (ЭРЭ)

При распределении массива элементов с разной температурой в отдельные блоки на печатной плате для обеспечения нормального теплового режима необходимо исключить локальный перегрев отдельных блоков. Это можно выполнить путем такого распределения элементов между блоками, чтобы суммарная (средняя) температура отдельных блоков имела незначительный разброс значений (полученные значения температуры отдельных блоков были приблизительно одинаковыми).

В результате моделирования удастся идентифицировать температурные показатели для каждого ЭРЭ исследуемой схемы. Этот массив элементов распределяется в блоки таким образом, чтобы температура блоков была практически одинаковой. Для этого предлагается применить алгоритм равномерного распределения массива из  $N$  элементов между  $P$ -блоками.

Алгоритм функционирует следующим образом (рис. 5). Сначала все элементы массива  $N$  располагаются в порядке убывания температурных значений, т.е. массив упорядочивается в порядке убывания температур ЭРЭ. Далее, первый элемент этого упорядоченного массива заносится в первый блок, второй элемент – во второй блок и т.д.,  $i$ -й элемент устанавливается в  $i$ -й блок. Затем  $(i+1)$ -й элемент заносит также в  $i$ -й блок,  $(i+2)$ -й элемент – в  $(i-1)$ -й блок,  $(i+3)$ -й элемент ставится в  $(i-2)$ -й блок и т.д.;  $(i+i)$ -й элемент заносит в первый блок,  $(i+i+1)$ -й элемент заносит также в первый блок,  $(i+i+2)$ -й

элемент заносит во второй блок и т.д.,  $(i+i+i)$ -й элемент заносит в  $p$ -й блок,  $(i+i+i+1)$ -й элемент – также в  $p$ -й блок,  $(i+i+i+2)$ -й элемент в  $(i-1)$ -й блок и т.д., пока по блокам не будут распределены все ЭРЭ упорядоченного массива.

Выполнив распределение элементов в блоки по принципу равномерного температурного размещения, получаем сопоставимые результирующие значения температур в блоках (с допустимым отклонением). При выполнении исследования было замечено, что чем больше элементов размещено в блоке, тем меньше отклонение температуры между блоками. Наименьшее отклонение температур достигается, когда количество элементов в каждом блоке одинаково.

В качестве примера исследовалась схема электрическая принципиальная НИ-Ф1 УМЗЧ 120 Вт с выходным каскадом на составных транзисторах. Схема содержит 40 элементов с различными значениями температуры. Температура каждого элемента, полученная с помощью САПР SolidWorks, представлена в табл. 1. Необходимо распределить данную схему между восемью блоками, в каждом из которых будет размещаться по пять элементов, чтобы суммарная температура каждого блока была одинаковой.

Результаты этого распределения, полученные при применении алгоритма равномерного начального распределения тепловых элементов по блокам, представлены в табл. 2.

Результаты начального размещения показывают, что отклонение в суммарной температуре между блоками достаточно велико и не достигло минимальных значений, поэтому на следующем этапе решено сформировать укрупненные группы ЭРЭ, в каждую из которых разместить по четыре блока, чтобы получить одинаковые значения суммарных температур в группах. Результаты этого этапа представлены в табл. 3.

Таким образом, предложенный алгоритм равномерного распределения тепловых

элементов по блокам позволяет исключить перегрев отдельных блоков, что увеличивает надежность и стабильность работы схемы в целом. На рис. 6 представлен окончательный вариант размещения ЭРЭ, полученный с помощью описанного выше алгоритма. Из рисунка видно, что температуры между укрупненными группами и блоками элементов, размещенными на коммутационном поле печатной платы, не превышают допустимых значений и имеют равномерное распределение.

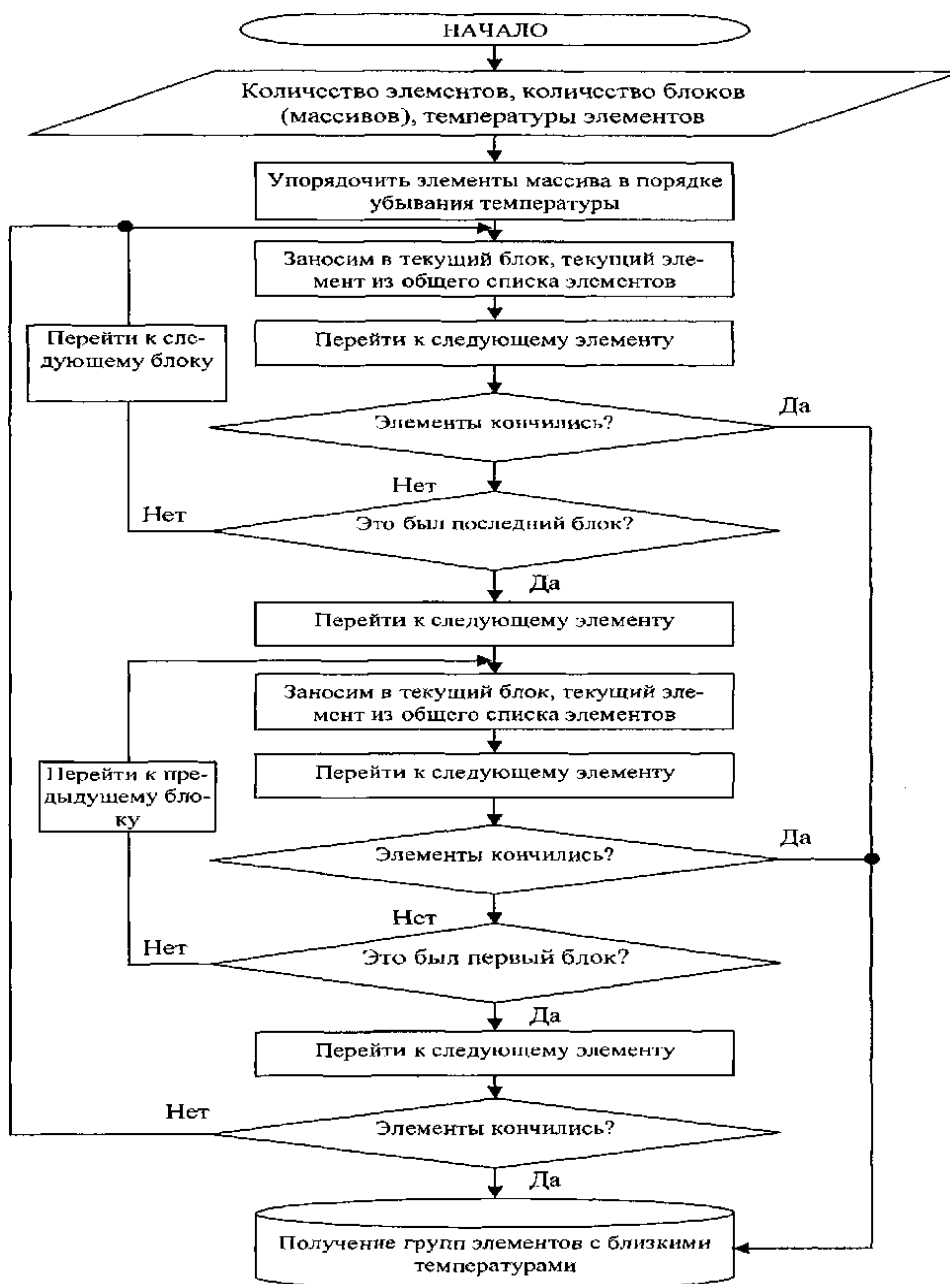


Рис. 5. Алгоритм равномерного начального распределения тепловых элементов по блокам

Таблица 1. ЭРЭ, упорядоченные в порядке убывания в зависимости от значения температуры

Номер	Компонент	Температура	Номер	Компонент	Температура
1	Q13	123,3	21	R18	40,3
2	Q12	120,6	22	R3	39,8
3	R5	68,1	23	R19	39,8
4	Q4	64,8	24	R13	38,5
5	R11	60,9	25	C5	38,2
6	R12	53,6	26	R15	36,3
7	R16	53,1	27	C7	35,3
8	Q10	53	28	R20	34,9
9	R8	53	29	R4	34,4
10	Q5	52,6	30	C6	34,3
11	R17	52,3	31	C3	34,2
12	Q2	52	32	Q9	33,6
13	Q8	51,3	33	Q3	33
14	Q1	49,3	34	R10	32,6
15	R9	46,8	35	C2	32,5
16	R14	44,6	36	R7	32,4
17	Q11	44,4	37	C4	32
18	Q7	42,2	38	C1	29,5
19	Q6	41,7	39	R2	29,5
20	R6	40,5	40	R1	27,8

Таблица 2. Результаты распределения ЭРЭ по блокам

№ блока	ЭРЭ	t ЭРЭ	ЭРЭ	t ЭРЭ	ЭРЭ	t ЭРЭ	ЭРЭ	t ЭРЭ	ЭРЭ	t ЭРЭ	Суммарная t блока
1	Q13	123,3	R14	44,6	Q11	44,4	Q9	33,6	Q3	33	278,9
2	Q12	120,6	R9	46,8	Q7	42,2	C3	34,2	R10	32,6	276,4
3	R5	68,1	Q1	49,3	Q6	41,7	C6	34,3	C2	32,5	225,9
4	Q4	64,8	Q8	51,3	R6	40,5	R4	34,4	R7	32,4	223,4
5	R11	60,9	Q2	52	R18	40,3	R20	34,9	C4	32	220,1
6	R12	53,6	R17	52,3	R3	39,8	C7	35,3	C1	29,5	210,5
7	R16	53,1	Q5	52,6	R19	39,8	R15	36,3	R2	29,5	211,3
8	Q10	53	R8	53	R13	38,5	C5	38,2	R1	27,8	210,5

Таблица 3. Распределение элементов по группам и суммарные температуры групп

	№ блока	t блока	№ блока	t блока	№ блока	t блока	№ блока	t блока	Суммарная t группы
Группа 1	Блок 1	278,9	Блок 4	223,4	Блок 5	220,1	Блок 8	210,5	932,9
Группа 2	Блок 2	276,4	Блок 3	225,9	Блок 7	211,3	Блок 6	210,5	924,1

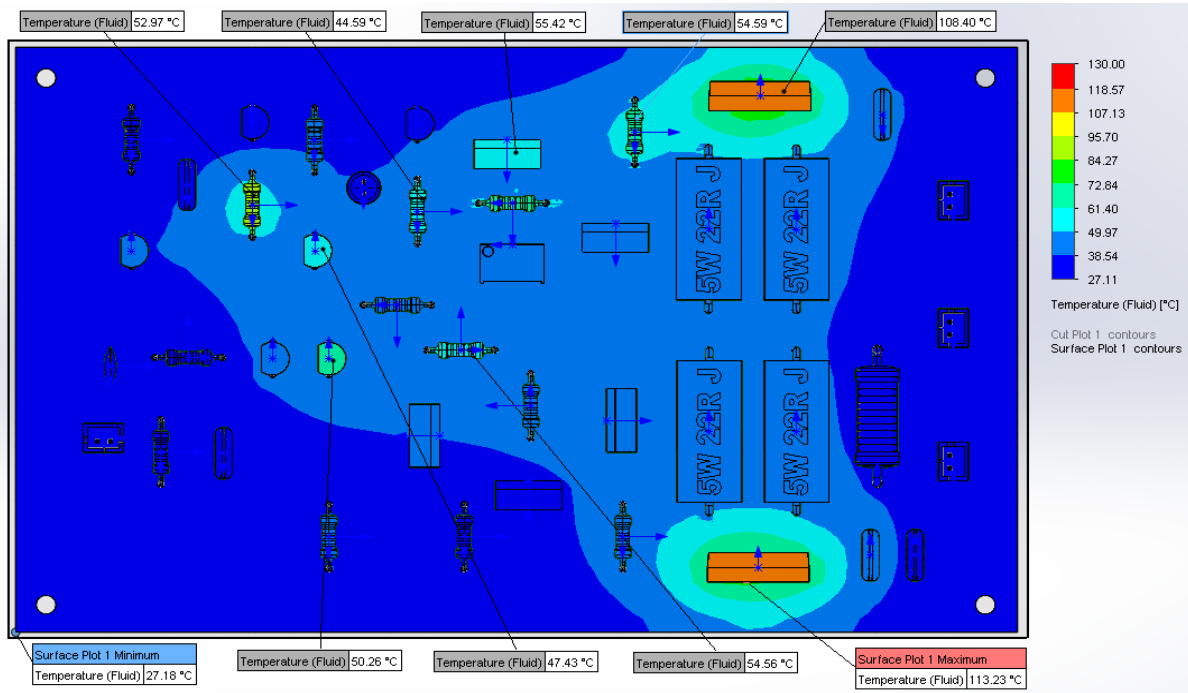


Рис. 6. Моделирование тепловых режимов в САПР SolidWorks Simulation после применения алгоритма равномерного распределения ЭРЭ в блоках по температурным значениям

На заключительном этапе, для полученного варианта размещения ЭРЭ была разработана топология печатного узла и выполнена трас-

сировка печатных проводников в САПР Altium Designer. Результаты заключительного этапа проектирования представлены на рис. 7, 8.

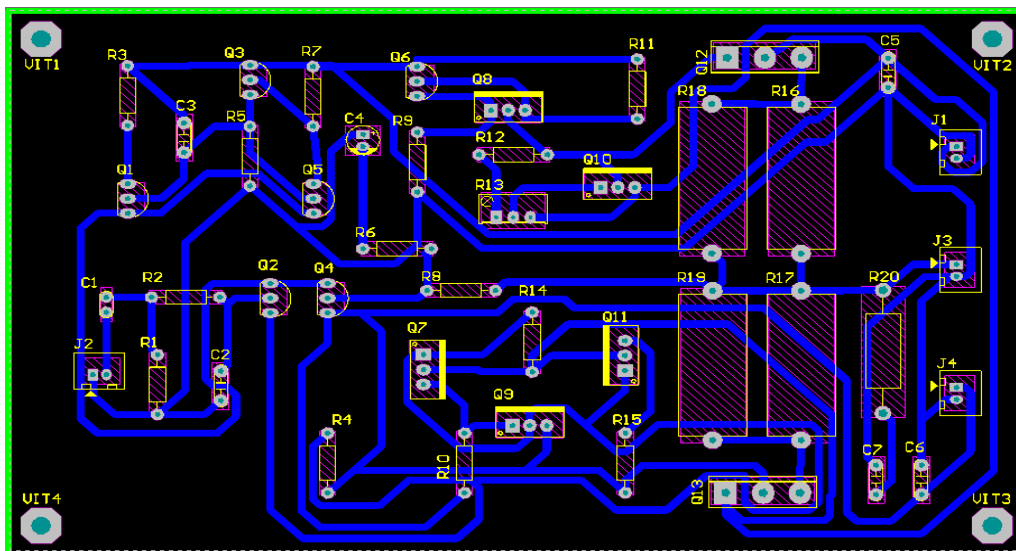


Рис. 7. Трассировка печатных проводников, выполненная в САПР Altium Designer

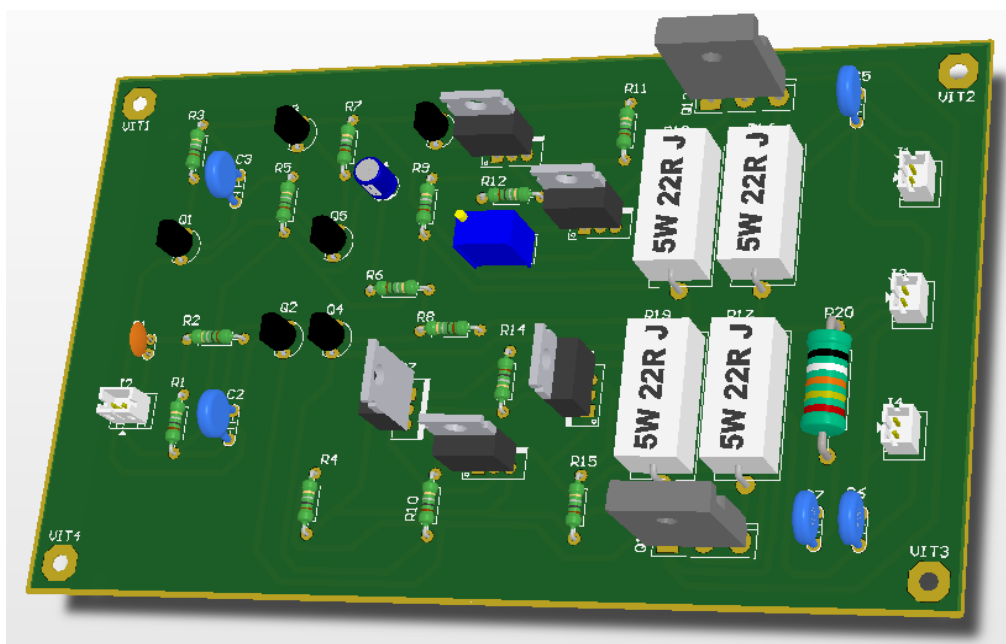


Рис. 8. 3D-модель печатного узла

### Выводы

В данной статье рассматривается задача размещения ЭРЭ на печатной плате при надежном проектировании электронного оборудования в соответствии с опубликованными температурными стандартами. Алгоритм равномерного начального распределения тепловых элементов по блокам был сформирован с целью помочь схеме избежать перегрева и работать более стабильно, повысить надежность и долговечность электронных устройств.

Дальнейшим развитием представленного исследования станет совершенствование генетического алгоритма с целью поиска оптимального решения, учитывающего связи между элементами схемы. Задача, которую предстоит решить, – это минимизация пересечения соединительных проводников, которая позволит повысить общую надежность электронного средства.

### Библиографический список

1. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в *SolidWorks Simulation*. М.: ДМК-Пресс, 2010. 464 с.
2. Горячев Н.В., Граб И.Д., Рыжов А.А. Подсистема расчета средств охлаждения радио-

элементов в интегрированной среде проектирования электроники // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2010. № 4. С. 24–29.

3. 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.

4. Меркухин Е.Н. Априорный критерий оценки эффективности оптимизации теплового режима путем рационального размещения электронных элементов // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 77–81. – URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37198> (дата обращения: 06.01.2020).

5. Меркухин Е.Н. Использование графовых моделей пространства допустимых решений в задаче размещения электронных элементов // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 5. С. 56–61.

6. 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. – URL: <https://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=10384> (дата обращения: 06.01.2020).

7. Lombard M. *SolidWorks 2013 Bible*. John Wiley & Sons Inc., 2013.

Поступила в редакцию

27.11.2020