

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический
университет"

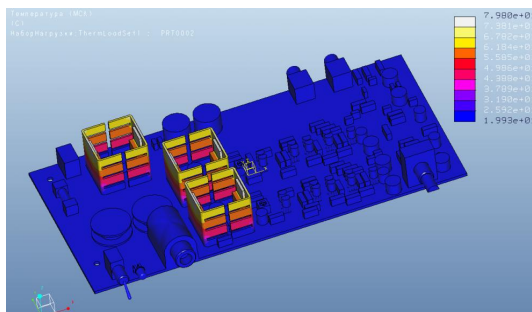
Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ РЭС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам

по дисциплине “Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС ” направление 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств», магистерская программа «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения» всех форм обучения



Воронеж 2016

Составители: канд. техн. наук А. В. Турецкий,
канд. техн. наук Н.В. Ципина

УДК 621.3

Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций РЭС: методические указания к лабораторным работам по дисциплине “Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС ” направление 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств», (направленность) «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения» всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет; сост. А.В. Турецкий, Н.В. Ципина. Воронеж, 2016. 22 с.

В лабораторных работах рассматриваются вопросы исследования температурных полей активных элементов при воздушном охлаждении, моделирования и оптимизации тепловых характеристик конструкций РЭС. Методические указания снабжены рекомендуемой литературой.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МТПЛ_лаб.pdf.

Табл. 1. Ил. 13. Библиогр.: 6 назв.

Рецензент к.т.н., доцент Н.Э. Самойленко

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук,
проф. А.В. Муратов

Издается по решению редакционно-издательского совета
воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО "Воронежский государственный
технический университет", 2016

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВОЗДУШНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Цель работы

Научиться исследовать температурные поля активных элементов при воздушном охлаждении.

1.2. Содержание работы

Creo Parametric (Pro/ENGINEER) – это САПР самого высокого уровня. Система позволяет моделировать различные объекты, содержащие сложные поверхности. Creo Parametric — расширяемое и совместимое параметрическое решение для максимально эффективной разработки инноваций, повышения качества 3D-конструкций изделий и ускорения вывода изделий на рынок. Это программное средство помогает быстро разрабатывать очень качественные и точные цифровые модели. Более того, надежные цифровые модели являются полностью ассоциативными.

Любые внесенные в изделие изменения приводят к комплексному обновлению рабочей документации. Это обеспечивает доверие к цифровым данным об изделиях, необходимое для инвестирования значительного капитала в привлечение ресурсов, производственные мощности и организацию массового производства.

В работе предполагается выполнить следующее:

- 1) изучить возможности системы **Creo Parametric** (Pro/ENGINEER Mechanica) по инженерному анализу 3D моделей простой формы;

- 2) изучить возможности задания тепловых нагрузок;
 - 3) изучить возможности модуля Creo Parametric (Pro/ENGINEER Mechanica) по тепловому анализу;
 - 4) проработать вопросы отображения результатов в Creo Parametric (Pro/ENGINEER Mechanica);
 - 5) составить отчет о выполненной лабораторной работе.
- При выполнении лабораторной работы техника безопасности должна соблюдаться при работе с компьютером.

2. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание № 1

Изучить назначение, возможности, модуля Pro/ENGINEER Mechanica по тепловому анализу.

Для выполнения домашнего задания следует проработать содержание настоящего раздела.

Основные преимущества **Creo Parametric** (Pro/ENGINEER):

- Повышение производительности за счет более эффективных и гибких функций трехмерного детального конструирования.
- Быстрое и простое создание 3D-моделей любой детали или сборки.
- Специальный набор инструментов для работы с крупными сборками.
- Автоматическое создание производственных чертежей, обеспечивающее полную уверенность в их соответствии текущей конструкции.
- Повышение эстетики конструкций за счет широких возможностей построения поверхностей.

- Удобное использование получаемых от клиентов и поставщиков данных CAD в нейтральных форматах и в форматах других систем (не PTC), исключающее необходимость в преобразовании файлов или воссоздании 3D-моделей с нуля.

- Мгновенный доступ к библиотеке деталей: винтам, болтам, гайкам, шайбам и т. д.

- Мгновенный доступ к обширному набору учебных материалов и руководств непосредственно из программы, что позволяет быстро достичь необходимой производительности труда.

Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) Mechanical позволяет инженерам-конструкторам самостоятельно оценить, исследовать и оптимизировать структурное поведение разрабатываемых ими конструкций, находящихся под воздействием реальных статических и динамических нагрузок. Точное представление геометрии и уникальная адаптивная методика расчета позволяют легко получать быстрые и точные решения - решения, которые помогают повысить качество изделий, сокращая при этом время и расходы на разработку, а также расходы на изготовление и испытание опытных образцов.

Интерфейсы, имеющиеся в Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) позволяют, проводить структурный, тепловой и кинематический анализ и оптимизацию конструкций, созданных в различных CAD- системах.

Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) Thermal Simulation Package позволяет инженеру-конструктору моделировать поведение разрабатываемой конструкции под воздействием тепловых нагрузок. Возможность постоянного контроля функциональных параметров изделия позволяет своевременно вводить необходимые качественные изменения на ранних стадиях проекта, значительно сокращая затраты на разработку, испытания, изготовление и эксплуатацию изделий.

Thermal Simulation Package полностью интегрирован с остальными продуктами PTC и позволяет проводить расчеты и

оптимизацию моделей, созданных в других CAD- системах. Pro/MECHANICA позволяет использовать возможности Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) Behavioral Modeling для решения задач распространения тепла. Способность Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) эффективно решать задачи различного класса позволяет проводить с ее помощью оптимизацию конструкции одновременно по прочностным, тепловым и кинематическим характеристиками. Сочетание с мощными средствами параметрической оптимизации, дает теперь разработчику возможность создавать изделия с заданными функциональными характеристиками. Thermal Simulation Package может работать самостоятельно, а так же в качестве интегрированной опции к Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER)-Foundation.

Thermal Simulation Package позволяет разработчику оценить эффективность конструкции с точки зрения ее реакции на тепловые нагрузки, не прибегая к изготовлению испытательных образцов. При этом можно легко исследовать к чему приведут те или иные возможные модификации конструкции. Наилучшая комбинация таких модификаций, улучшающая конструкцию, затем может быть определена автоматически посредством проведения оптимизационного анализа.

Тепловые нагрузки в виде заданных температур и условий конвективного теплообмена накладываются непосредственно на геометрию модели, созданную конструктором. Эти нагрузки могут быть однородными для всей модели или различными для ее различных участков. Для контроля правильности приложения нагрузок можно получить их графическое изображение.

До начала анализа можно определить что будет использоваться для оценки сходимости: температура определенного участка модели, норма энергии, глобальная норма ошибки, или же вы зададите свой собственный показатель. После завершения анализа можно просмотреть графики их изменения на каждом

этапе расчета для визуальной оценки хода процесса сходимости решения.

Можно выбрать один или несколько параметров модели и проварьировать их в заданных пределах, а затем просмотреть графически каковы будут результаты изменения этих параметров.

Можно провести расчет локальной чувствительности при небольших отклонениях заданных параметров от их номинальных значений, а затем визуализировать результаты расчета для выяснения того дает ли существенный эффект изменение тех или иных параметров.

Возможности Pro/MECHANICA позволяют оптимизировать конструкцию по нескольким параметрам, определив в качестве целевой функции - стоимость, массу, величину теплового потока, температурные градиенты или любой другой аспект конструкции. Например, можно минимизировать массу сборочной единицы при том условии, чтобы уровень напряжений, величина первой собственной частоты, и максимальная температура модели оставались в заданных пределах.

2.2. Контрольные вопросы к домашнему заданию

1. Какова функциональность Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) по выполнению теплового анализа?
2. Каковы возможности постпроцессора в Pro/ENGINEER Mechanica?
3. Позволяет ли Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) Thermal Simulation Package проводить расчеты и оптимизацию моделей, созданных в других CAD- системах?
4. Какое количество параметров модели возможно задать и проварьировать в заданных пределах?

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Методика проведения работы

Упражнение 1: Исследование температурного поля активных элементов при воздушном охлаждении.

Необходимо разработать проект, пример приведен на рис. 1. и промоделировать его. Для расчета печатной платы (ПП) с закрепленными на ней поверхностно-монтажными компонентами и компонентами, монтируемыми в отверстия, была создана 3D модель ПП. Далее ПП экспортирована в формат .STEP для работы в Pro-ENGINEER. Для расчета механических режимов был использован пакет Pro- ENGINEER Mechanical.

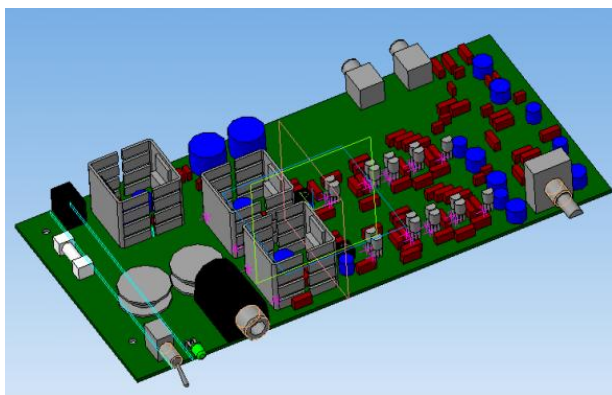


Рис.1. Внешний вид радиоэлектронного модуля

Для реализации этого задания необходимо выполнить следующее.

Задать тепловую нагрузку (в примере 100 мВт.) Результат представлен на рисунке 2.

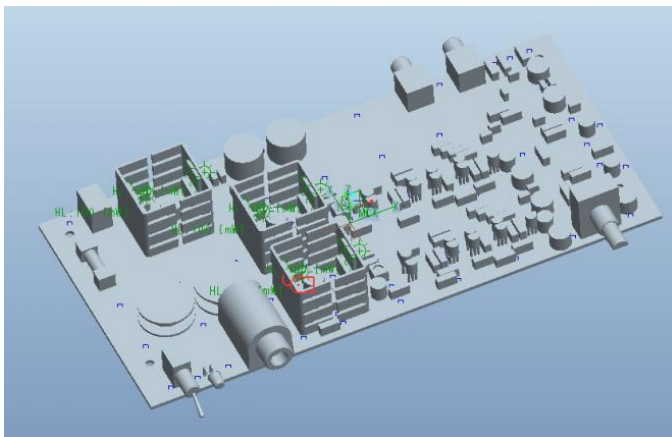


Рис. 2. Задание тепловых нагрузок

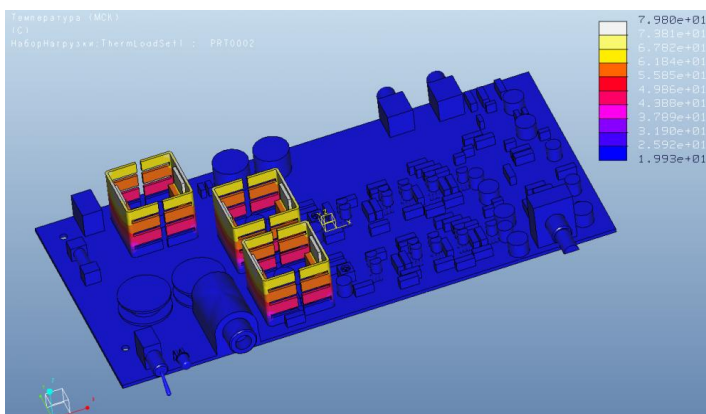


Рис.3. Тепловой режим

Результаты теплового режима представлены на рисунке 3. Расчет показал, что при данных тепловых нагрузках поверхность радиаторов имеет максимальную температуру 73,8 °С, а температура на транзисторах равна 79,8 °С, т.е. находится в диапазоне рабочих температур применяемых ЭРЭ, которая составляет от минус 0 °С до 80 °С. Устройство работает без перегрева.

Устройство имеет естественное охлаждение, являющееся наиболее предпочтительным и дешевым способом.

Для теплового расчета усилителя был использован пакет Pro-ENGINEER Mechanical.

3.2. Контрольные вопросы.

1. Каковы основные операции выполнения теплового расчета?

2. Какие виды теплового расчета можно реализовать в Pro/ENGINEER Mechanical?

Лабораторная работа № 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ РЭС

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Цель работы

Научиться выполнять моделирование тепловых характеристик конструкций РЭС.

1.2. Содержание работы

В работе предполагается выполнить следующее:

1) изучить возможности системы Creo Parametric (Pro/ENGINEER Mechanical), SolidWorks , Autodesk Simulation Multiphysics по инженерному анализу 3D моделей;

2) изучить возможности задания тепловых нагрузок;

3) изучить возможности модуля Creo Parametric (Pro/ENGINEER Mechanical), T-FLEX CAD, Autodesk Simulation Multiphysics по тепловому анализу;

4) проработать вопросы отображения результатов в Creo Parametric (Pro/ENGINEER Mechanical) T-FLEX CAD, Autodesk Simulation Multiphysics;

5) составить отчет о выполненной лабораторной работе.

При выполнении лабораторной работы техника безопасности должна соблюдаться при работе с компьютером.

2. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание № 1

Изучить назначение, возможности, модуля Pro/ENGINEER Mechanical, SolidWorks, T-FLEX по тепловому анализу.

Для выполнения домашнего задания следует проработать содержание настоящего раздела.

SolidWorks (Солидворкс) - программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. Работает в среде Microsoft Windows. Разработан компанией Solid Works Corporation, ныне являющейся независимым подразделением компании Dassault Systemes. Программа появилась в 1993 году и составила конкуренцию таким продуктам, как Auto CAD и Autodesk Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS и Pro/ENGINEER.

Решаемые задачи:

- Конструкторская подготовка производства (КПП):
- 3D проектирование изделий (деталей и сборок) любой степени сложности с учётом специфики изготовления.
- Создание конструкторской документации в строгом соответствии с ГОСТ.
- Промышленный дизайн.
- Реверсивный инжиниринг.
- Проектирование коммуникаций (электрожгуты, трубопроводы и пр.).
- Инженерный анализ (прочность, устойчивость, теплопередача, частотный анализ, газо/гидродинамика, оптика и светотехника, электромагнитные расчет, анализ размерных цепей и пр.).
- Экспресс-анализ технологичности на этапе проектирования.
- Подготовка данных для ИЭТР.
- Управление данными и процессами на этапе КПП.
- Технологическая подготовка производства (ТПП):
- Проектирование оснастки и прочих средств технологического оснащения

- Анализ технологичности конструкции изделия.
- Анализ технологичности процессов изготовления (литье пластмасс, анализ процессов штамповки, вытяжки, гибки и пр.).
- Разработка технологических процессов по ЕСТД.
- Материальное и трудовое нормирование.
- Механообработка: разработка управляющих программ для станков с ЧПУ, верификация УП, имитация работы станка. Фрезерная, токарная, токарно-фрезерная и электроэрозионная обработка, лазерная, плазменная и гидроабразивная резка, вырубные штампы, координатно-измерительные машины.
- Управление данными и процессами на этапе ТПП
- Управление данными и процессами:
- Работа с единой цифровой моделью изделия.
- Электронный технический и распорядительный документооборот.
- Технологии коллективной разработки.
- Работа территориально-распределенных команд.
- Ведение архива технической документации по ГОСТ
- Проектное управление.
- Защита данных. ЭЦП.
- Подготовка данных для ERP, расчет себестоимости.

Программный комплекс Solid Works включает базовые конфигурации Solid Works Standard, Solid Works Professional, Solid Works Premium, а также различные прикладные модули:

- Управление инженерными данными:

SolidWorksEnterprise PDM

- Инженерные расчеты: SolidWorks Simulation Professional, SolidWorks Simulation Premium, SolidWorks Flow Simulation

- Электротехническое проектирование:

SolidWorksElectrical

- Разработка интерактивной документации:

SolidWorksComposer

- Механообработка, ЧПУ: CAMWorks

- Верификация УП: CAMWorksVirtualMachine
- Контроль качества: SolidWorksInspection
- Анализ технологичности: SolidWorksPlastics, DFM и пр.

Комплекс T-FLEX, разрабатываемый и распространяемый российской компанией «Топ Системы», позволяет решить практически все задачи конструкторско-технологической подготовки производства – от получения заказа до изготовления изделия. При этом по функциональности каждая из систем комплекса T-FLEX конкурирует с лучшими образцами как западных, так и российских продуктов.

САПР T-FLEX позволяют инженеру-конструктору легко создавать как простые детали, так и сборочные модели, состоящие из тысяч компонентов. Система T-FLEX основана на известном, проверенном практикой, геометрическом ядре Parasolid, разработанном компанией UGS. Передовые средства параметрического 3D-моделирования позволяют конструкторам быстро создавать основную форму детали и легко дорабатывать ее, добавляя как обычные элементы (отверстия, фаски, скругления и др.), так и операции, создающие элементы с более сложной геометрией (тела с параметрическим изменением профиля, сглаживание трех граней, тело по сечениям, уклон граней и др.).

САПР T-FLEX поддерживает прямое редактирование геометрии 3D-моделей. При этом сохраняется история всех изменений, так что впоследствии все они будут участвовать в общем пересчете 3D-модели. Это особенно полезно при работе с импортированными моделями, когда нет доступа к исходным операциям. Например, можно изменить параметры граней с аналитической геометрией (цилиндр, конус, сфера, тор), как, впрочем, и поверхности скругления.

Анализируя возможности системы T-FLEX, можно выявить достаточно хорошую проработку проектной и технологической составляющих проектирования. Отличительной особенностью является поддержка не только современного, но и более

старого оборудования, что немаловажно для ряда российских предприятий.

Однако в этой системе отсутствуют средства анализа и оптимизации печатных узлов РЭС. T-FLEX имеет строгую направленность на механическое проектирование, но некоторые основные прочностные и тепловые расчеты можно провести.

2.2. Контрольные вопросы к домашнему заданию

1. Какова функциональность Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER), SolidWorks, T-FLEX по выполнению теплового анализа?
2. Каковы возможности постпроцессора в Pro/ENGINEER Mechanical, SolidWorks, T-FLEX ?
3. Позволяет ли Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) Thermal Simulation Package, SolidWorks, T-FLEX проводить расчеты и оптимизацию моделей, созданных в других CAD- системах?
4. Какое количество параметров модели возможно задать и проварьировать в заданных пределах?

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Методика проведения работы

Упражнение 1: Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций РЭС

Объектом расчета является трехмерная геометрическая модель УПК. С целью снижения времени и трудоемкости теплового расчета расчетная 3D модель упрощена (рисунок 1): убра-

ны крепеж; большинство пассивных элементов, не выделяющих тепло и не участвующих в теплопередаче; геометрия элементов, выделяющие тепло, упрощена с сохранением реальных габаритов и объема и т.д.

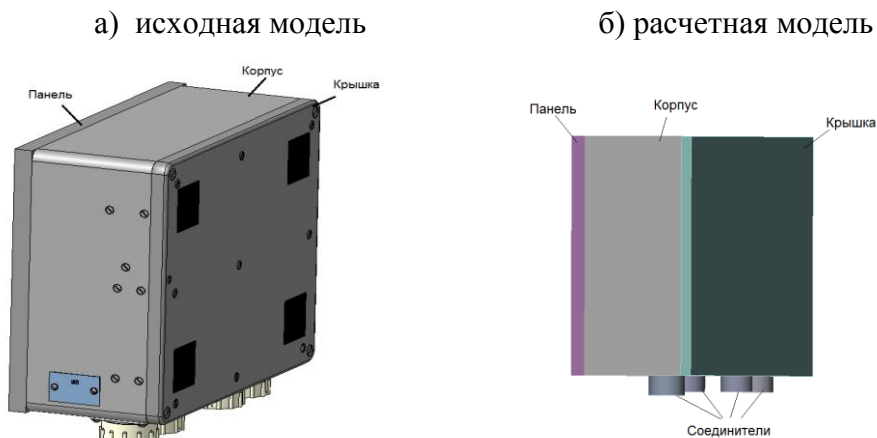


Рис.1. Общий вид расчетной 3D модели устройства

На рисунках 2 – 5 представлены составные узлы 3D модели УПК с упрощенной геометрией. Платы 4 (рисунок 2), 6 (рисунок 3), 11 (рисунок 5) состоят из двух частей – алюминиевое основание и тонкий слой стекловолокна. Остальные платы (на рисунках не обозначены) состоят из стелотекстолита толщиной 1,5 мм. Конденсаторы установлены на платы через теплопроводный клей «Эласил». Транзисторы стоят на прокладке из стелотекстолита на клее «Эласил».

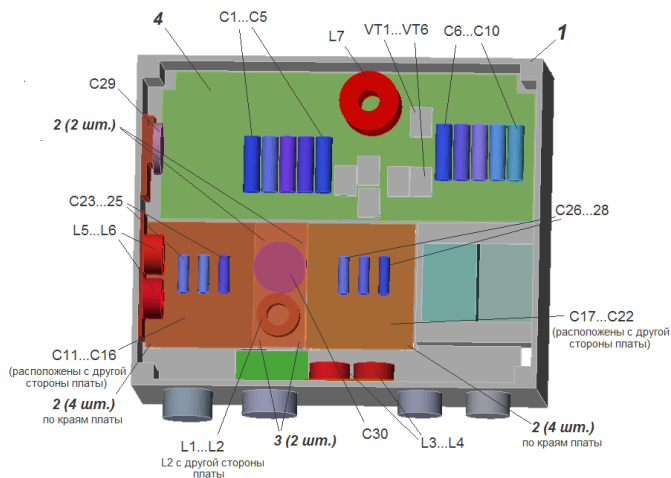


Рис. 2. Упрощённая модель нижней стороны корпуса

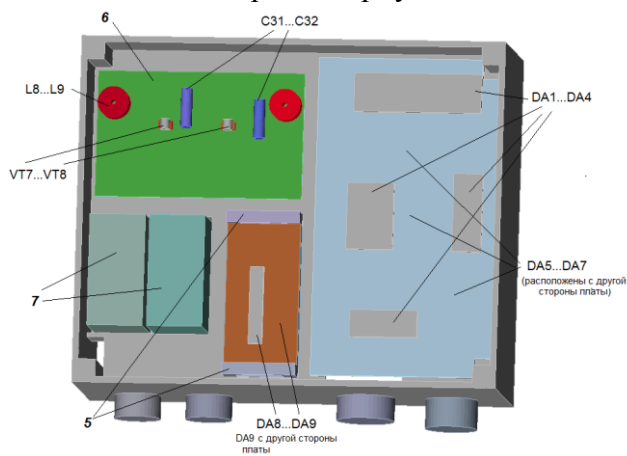


Рис. 3. Упрощённая модель верхней стороны корпуса

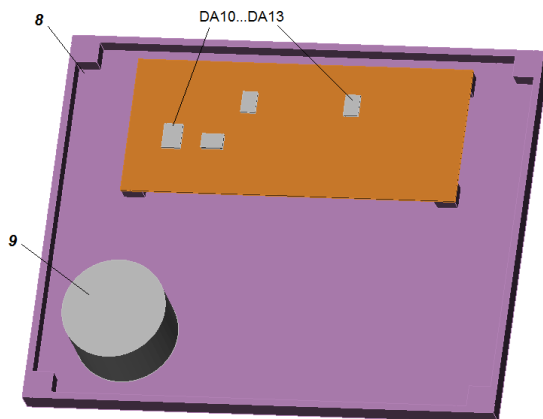


Рис. 4. Упрощённая модель панели

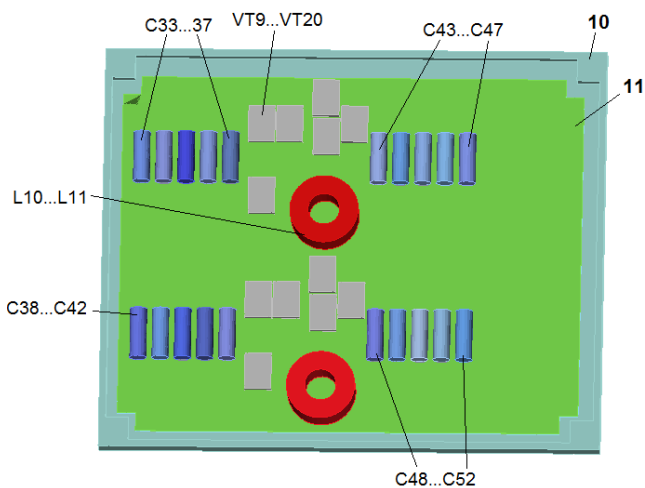


Рис. 5. Упрощённая модель крышки

Целью теплового расчёта является определение температур элементов конструкции устройства в статическом длительном режиме работы.

Устройство ориентировано соединителями вниз относительно земной поверхности (рисунок 1). Температура окружающей среды $+28^{\circ}\text{C}$, атмосферное давление – 760 мм рт. ст.

Задаем теплопроводности материалов, составляющих элементы конструкции расчетной модели УПК.

Мощности потерь на активных элементах нижней стороны корпуса (рисунок 1а) не учитывались в связи с кратковременным режимом работы, порядка 10 сек. В таблице приведены мощности потерь, выделяемых на активных элементах УПК при длительном режиме работы изделия.

Таблица 1

Мощности потерь, выделяемых на каждом активном элементе

Активный элемент	Мощность потерь, Вт	Активный элемент	Мощность потерь, Вт
C31...C32	0,1x2	DA1...DA4, DA5...DA7	0,04x7
C33...C37, C38...C42	0,27x10	DA8, DA9	0,05x2
C43...C47, C48...C52	0,15x10	DA10... DA13	0,025x4
VT7, VT8	0,8x2	L8, L9	0,15x2
VT9...VT20	0,32x12	L10, L11	0,5x2

В данном тепловом анализе заданы следующие граничные условия с учетом исходных данных:

- теплообмен внутри изделия осуществляется за счет кондуктивного механизма теплопередачи;
- тепловое сопротивление контакта между сопрягаемыми элементами конструкции принято $\sim 0^{\circ}\text{C/Вт}$;
- теплообмен между наружными поверхностями (с учетом их ориентации) и окружающей воздушной средой осуществ-

вляется за счет конвекции и радиации (степень черноты наружных поверхностей – 0,8);

— с целью повышения точности теплового анализа учитывалась зависимость интенсивности конвективного теплообмена от температуры теплоотдающих поверхностей.

Результаты теплового анализа:

На рисунках 6 – 10 представлены результаты теплового анализа устройства

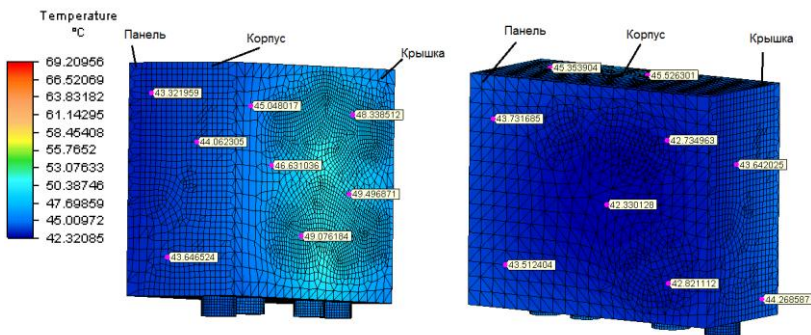
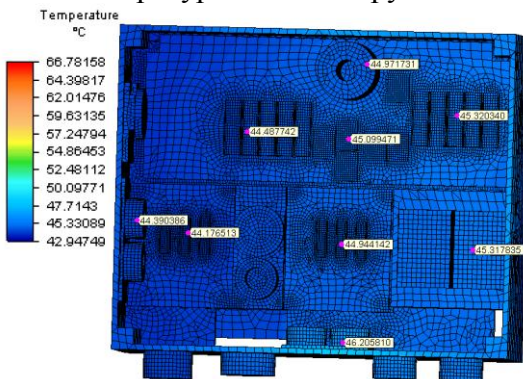


Рис. 6. Температурное поле наружных поверхностей



Рису. 7. Распределение температур на нижней стороне корпуса

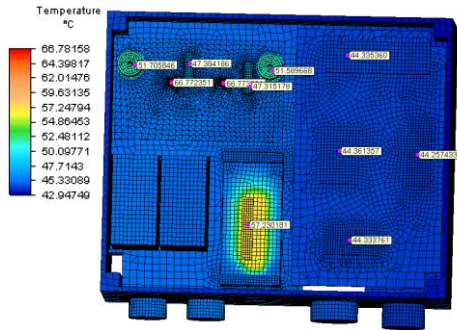


Рис. 8. Распределение температур на верхней стороне корпуса

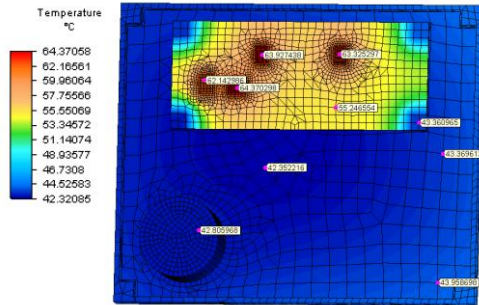


Рис. 9. Распределение температур на внутренней стороне панели

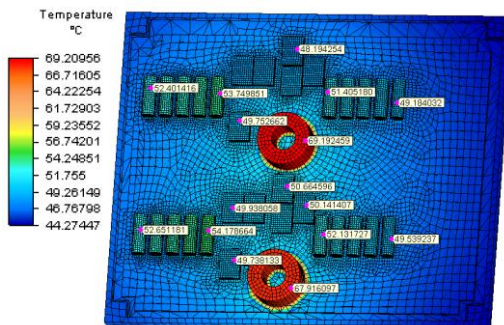


Рис.10. Распределение температур на внутренней стороне крышки

Наиболее нагретые корпуса полупроводниковых приборов – это корпуса транзисторов VT7, VT8. Температура кристаллов с учетом теплового сопротивления перехода кристалл-корпус:

$$t_n = t_k + P \cdot R_{n-k}, \quad (1)$$

где t_n – температура кристалла полупроводникового прибора, °C;

t_k – температура корпуса полупроводникового прибора, °C;

P – тепловая мощность, выделяемая в полупроводниковом приборе, Вт;

R_{n-k} – тепловое сопротивление «кристалл-корпус», °C/Вт (для VT7, VT8 оно составляет 25°C/Вт).

Согласно выражению (1) температура кристалла VT7, VT8 составляет +86,8°C. Максимально допустимая температура кристалла для VT7, VT8 – +150°C. Температуры остальных элементов имеют гораздо больший запас по сравнению с VT7, VT8.

3.2. Контрольные вопросы.

1. Каковы основные операции создания 3D модели?
2. Какие требования предъявляют к выполнению переходного теплового анализа.
3. Каким образом задаются ограничения для выполнения теплового анализа.
4. Как моделируется тепловой переходный процесс.
5. Каким образом осуществляется задание тепловых нагрузок в Pro/ENGINEER Mechanical
6. Каким образом осуществляется оптимизация конструкции с учетом тепловых характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дульнев, Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре [Текст]: учеб. пособие/ Г.Н. Дульнев. - М.: Высш. шк., 1984. – 247 с.
2. Роткоп, Л. Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Л. Л. Роткоп. – М.: Советское радио, 1976. – 472 с.
3. Шуваев, В. А. Методы обеспечения тепловых режимов при проектировании радиоэлектронных средств [Текст]: учеб. пособие / В. А. Шуваев, А.В. Муратов, О.Ю. Макаров. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2008. - 147 с.
4. Скрипников, Ю. Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов [Текст] / Ю. Ф. Скрипников. – М.: «Энергия», 1973. - 48 с.
5. Дульнев, Г. Н. Методы расчета теплового режима приборов [Текст] / Г. Н.Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов.- М.: Радио и связь, 1990. - 312 с.
6. Муратов, А.В. Расчёт теплового режима блока РЭС: методические указания по выполнению практических работ [Текст]: учеб. пособие / А.В. Муратов, Н.В. Ципина. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2014. - 27 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 2. Исследование температурного поля активных элементов при воздушном охлаждении.....	1
Лабораторная работа № 3. Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций РЭС.....	9
Библиографический список.....	21

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ РЭС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам
по дисциплине “Моделирование и оптимизация тепловых
характеристик конструкций при проектировании РЭС ”
направление 11.04.03 «Конструирование и технология
электронных средств», магистерская программа
«Автоматизированное проектирование и технология
радиоэлектронных средств специального назначения» всех
форм обучения

Составители:
Ципина Наталья Викторовна
Шуваев Андрей Владимирович

В авторской редакции

Подписано к изданию 23.11.2016.
Уч.-изд. л. 1,2.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14