

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

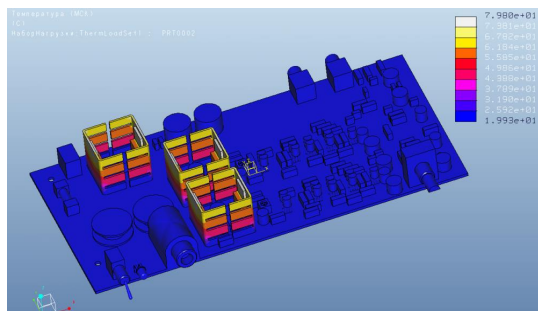
Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

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», магистерские программы «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения», «Силовая электроника» очной и заочной форм обучения.



Воронеж 2022

Составитель: 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», магистерские программы «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения», «Силовая электроника» очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет; сост. Н.В. Ципина. Воронеж, 2022. 44 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 Лаб_раб_моделир_оптимиз_тепл_характер_РЭС.pdf.

Табл. 6. Ил. 21. Библиогр.: 14 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", 2022

Лабораторная работа № 1
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
КОНСТРУКЦИЙ РЭС**

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

1.1. Цель работы - моделирование тепловых процессов радиоэлектронного узла с помощью модуля Pro/ENGINEER Mechanical.

1.2. Содержание работы

Лабораторная работа состоит из домашнего и лабораторного заданий. Домашнее задание заключается в изучении методики расчета стационарного режима радиоэлектронного узла при использовании воздушного охлаждения. При выполнении лабораторного задания проводится моделирование тепловых характеристик радиоэлектронного модуля для различных режимов работы.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Для выполнения задания необходимо проработать материал.

2. Моделирование тепловых, механических и ЭМС характеристик

2.1 Виды анализа в Pro/ENGINEER Mechanical

Pro/ENGINEER Mechanical это составная часть CAE инструмента дающая возможность для проведения анализа механических и тепловых характеристик физической модели с использованием виртуальных 3D-моделей, позволяет определить критические значения параметров модели при различных воздействиях и на основе полученных результатов анализа изменить проект.

В систему Pro/ENGINEER Mechanica входят два модуля – Structure и Thermal – каждый из которых имеет свой собственный решатель для различных типов воздействий. Эти два модуля основаны на методе конечных элементов.

Имеются два метода проведения анализа: стандартный (с помощью встроенного решателя) и метод использования математического ядра, основанного на методе конечных элементов, других программных продуктов, таких как ANSYS и NASTRAN.

При использовании стандартного метода исследование можно провести за четыре последовательных шага, они приведены в табл. 1

Таблица 1

Разработка модели	Создание геометрической модели в системе Pro/Engineer
	Упрощение модели
	Выбор или задание системы единиц
	Добавление к модели начальных условий, таких как координатная система и регионы, если это необходимо
	Добавление материалов, креплений и нагрузок на модель
	Добавление идеализаций, таких как оболочки, пружины, балки и масса
	Проверка сетки
Анализ модели	Выбор типа анализа
	Начало анализа
	Просмотр результатов анализа

Продолжение табл. 1

Определение поправок в проекте	Определение параметров проекта, которые необходимо изменить
	Обзор и корректировка формы или свойств
Оптимизация модели	Задание исследований чувствительности и оптимизации
	Начало исследований
	Просмотр результатов исследований
	Если результаты оптимизации удовлетворяют, усовершенствование модели с учетом оптимизированной модели

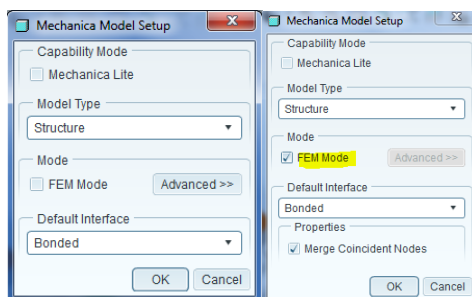
При использовании FEM анализа с помощью сторонних программных продуктов, исследование проходит пять последовательных этапов, приведенных в таблице 2.

Таблица 2

Разработка модели	Создание геометрической модели в системе Pro/Engineer
	Упрощение модели
	Выбор или задание системы единиц
	Добавление к модели начальных условий, таких как координатная система и регионы, если это необходимо
	Добавление материалов, закреплений и нагрузок на модель
	Добавление идеализаций, таких как оболочки, пружины, балки и масса
	Добавление соединений, таких как сварные швы, шарниры, болтовые соединения
	Определение анализа

Продолжение таблицы 2

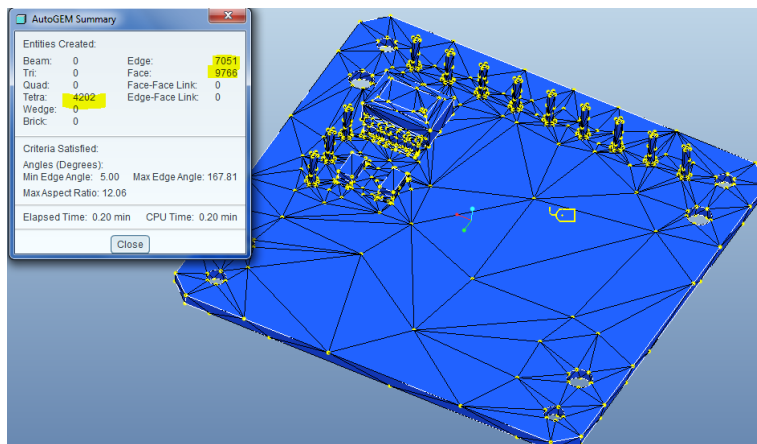
Определение анализа	Выбор типа анализа
	Выбор закреплений, нагрузок, методов и частот используемые при анализе
Создание сетки конечных элементов	Вызов модуля, контролирующего ячейки сетки МКЭ
	Создание ячейки
	Просмотр ячеек и их изменение, если это необходимо
Анализ модели	Экспорт сетки в математическое ядро таких систем как ANSYS и NASTRAN
	Просмотр экспортированной сетки
	Начало анализа
Просмотр результатов	Импортирование результатов в пост-процессор Pro/Engineer Mechanical и просмотр результатов
	Просмотр графического воспроизведения результатов анализа
	Определение параметров сетки конечных элементов
	Просмотр статистики анализа
	Создание отчета МКЭ



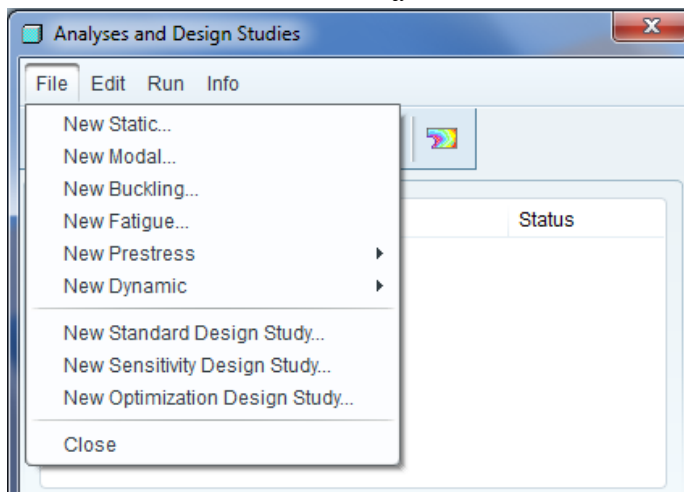
а

б

Рисунок 2.1. Выбор метода анализа: а) стандартный; б) с использованием мат.ядра других систем.

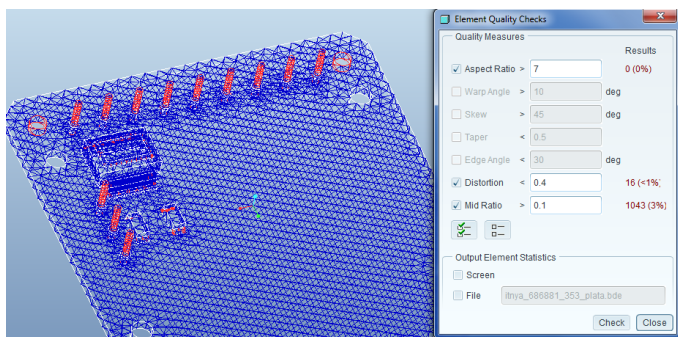


а

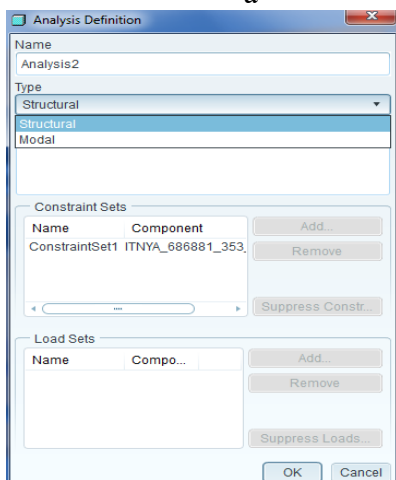


б

Рисунок 2.2. Стандартный метод: а) автоматическое построение сетки КЭ; б) выбор анализа



а



б

Рисунок 2.3 – FEM анализ: а) создание сетки КЭ; б) выбор типа анализа

При структурном и тепловом анализе возможны свои варианты расчетов:

Structure	Thermal
Bonded	Bonded
Free	Adiabatic
Contact	Thermal Resistance

Bonded (связанный)- этот тип анализа входит в структурный и тепловой модуль *Mechanica*. Компоненты или поверхности всегда соприкасаются во время анализа. Приложенные силы переходят между связанными компонентами или поверхностями.

Free (свободный) - компоненты или поверхности остаются отдельными друг от друга. Приложенные силы не передают между соединенными компонентами или поверхностями. Во время создания сетки AutoGEM узлы на соединенных компонентах не объединяются.

Contact (контакт) - компоненты или поверхности остаются отдельными друг от друга. Приложенные силы передают между соединенными компонентами или поверхностями. *Mechanica* создает величину, чтобы вычислить результирующую силу. Можно создать анализ с бесконечным трением, можно определить коэффициент трения.

Adiabatic- компоненты, соединенные этим типом интерфейса, остаются отдельными друг от друга. Тепло не передает между компонентами или поверхностями. Свойства интерфейса Adiabatic подобен интерфейсу Free.

Thermal Resistance- этот интерфейс создает тепловой зазор между соединенными компонентами и поверхностями. Существуют области проводимости, отличающиеся от проводимости компонентов. Определяется коэффициент теплопередачи.

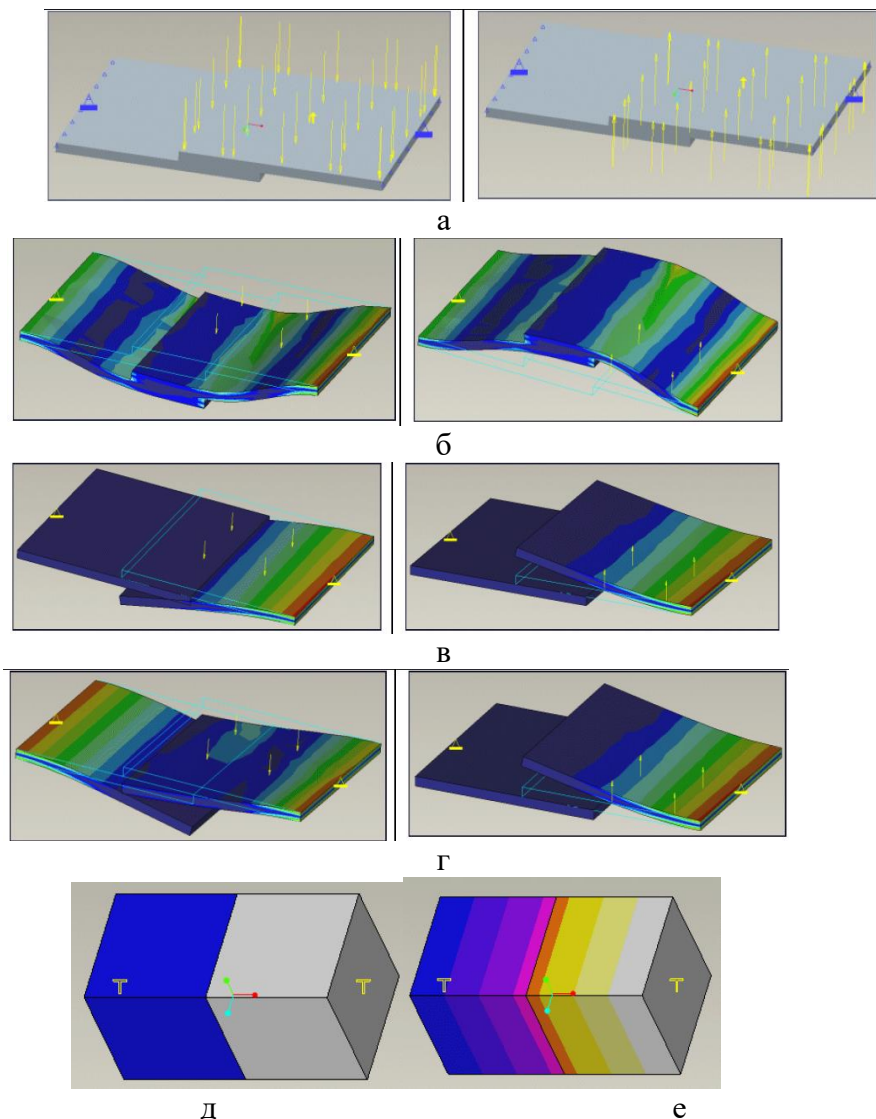


Рисунок 2.4 – Примеры типов интерфейсов: а) задание нагрузок; б) Bonded; в) Free; г) Contact; д) Adiabatic; е) Thermal Resistance

Разработка модели в системе Pro | Engineer

Для выполнения анализа, полученную CAD-средствами модель, необходимо упростить, то есть свести до минимума детализацию объекта, специалист, который проводит анализ, должен понимать от каких элементов модели можно отказаться, а какие необходимо оставить по причине их непосредственного влияния на тепловые и механические характеристики изделия.

Система Pro | Engineer Mechanical имеет структуру анализов, изображенную на рисунке 2.5. Система Pro | Engineer использует четыре системы единиц измерения: метрическую (MKS), метрическую (mmNS), английскую (FPS), английскую (IPS). Единицы измерения основных величин для этих систем представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Системы измерения

Единицы	Metric (MKS)	Metric (mmNS)	English (FPS)	English (IPS)
1	2	3	4	5
Длина	m	mm	ft	in
Время	sec	sec	sec	sec
Масса	kg	tonne	slug	lbfsec ² /in
Сила	N	N	lbf	lbf
Температура	⁰ C	⁰ C	⁰ F	⁰ F
Площадь	m ²	mm ²	ft ²	in ²
Объем	m ³	mm ³	ft ³ (cuft)	in ³ (cuin)
Скорость	m/sec	mm/sec	ft/sec	in/sec
Ускорение	m/sec ²	mm/sec ²	ft/sec ²	in/sec ²












Продолжение таблицы 3

Угол, вращение	rad	rad	rad	rad
Скорость вращения	rad/sec	rad/sec	rad/sec	rad/sec
Ускорение вращения	rad/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²
Плотность	kg/m ³	tonne/mm ³	slug/ft ³	lbfsec ² /in ⁴
Момент, вращающий момент	N-m	N-mm	ft-lbf	in-lbf
Распределенная сила вдоль кривой	N/m	N/mm	lbf/ft	lbf/in
Распределенный момент вдоль кривой	N	N	lbf	lbf
Распределение силы по плоскости, давление, напряжение, модуль Юнга	N/m ² (Pa)	N/mm ² (MPa)	lbf/ft ²	lbf/in ² (psi)
Жесткость при поступательном движении	N/m	N/mm	lbf/ft	lbf/in
Жесткость при вращении	Nm/rad	N-mm/rad	lbf-ft/rad	lbf-in/rad
Коэффициент термального расширения	/ ⁰ C	/ ⁰ C	/ ⁰ F	/ ⁰ F
Момент инерции	kg-m ²	tonne-mm ²	slug-ft ²	lbf-insec ²
Энергия, работа, тепло	J	mJ	ft-lbf	in-lbf
Мощность, переносимая энергия	W	m	ftl	inl
Температурный	C/m	C/mm	bf/ft	bf/sec

градиент				
Тепловой поток	W/m^2	mW/mm^2	lbf/ftsec	lbf/insec
Теплопроводность	$W/m- C$	$mW/mm- C$	lbf/sec-F	lbf/sec-F
Коэффициент конвекции	$W/m^2- C$	$mW/mm^2- C$	lbf/ftsec-F	lbf/insec-F
Удельная теплоемкость	$J/kg- C$	$mJ/tonne- C$	ftlbf/slug-F	in2/sec2-F
1W = 1N-m/sec, 1mJ = 1N-mm, 1mW = 1N-mm/sec, N/m2=Pascal(Pa)				

С помощью модуля Mechanical можно задать многие граничные и начальные условия, задаются они с помощью инструментальной панели (таблица 4)

Таблица 4

Кнопка	Описание	Модуль
	Закрепление перемещения	S, SF
	Закрепление вдоль плоскости	SF
	Симметричное закрепление	S
	Нагрузка в опоре	S
	Центробежная нагрузка	S, SF
	Гравитационная нагрузка	S, SF
	Глобальная тепловая нагрузка	S, SF
	Тепловая нагрузка в точке	T, TF
	Тепловая нагрузка по кромке	T, TF
	Тепловая нагрузка на поверхность	T, TF
	Тепловая нагрузка на объем	TF
	Приложение силы или момента	S, SF

Продолжение таблицы 4

	Нагрузка давление	S, SF
	Структурная тепловая нагрузка в точке	SF
	Структурная тепловая нагрузка по кромке	SF
	Структурная тепловая нагрузка по поверхности	SF
	Структурная тепловая нагрузка в объеме	SF
	Балка	S, T, SF, TF
	Контакт поверхностей	SF, TF
	Сварка	S, T, SF, TF
	Винтовое (болтовое) соединение	S
	Добавление нового критерия измерения	S, T
	Зазор	SF
	Масса	S, SF
	Новая пара оболочек	S, T, SF, TF
	Пружина	S, SF
	Жесткая связь	S, SF
	Весовая связь	S, SF
	Библиотека материалов	SF, TF
	Контроль сетки конечных элементов	SF, TF
	Циклические ограничения	T
	Условия конвекции	T, TF
	Установленная температура	T, TF
*S = Structure, T = Thermal, SF = Structure в FEM методе, TF = Thermal в FEM методе		

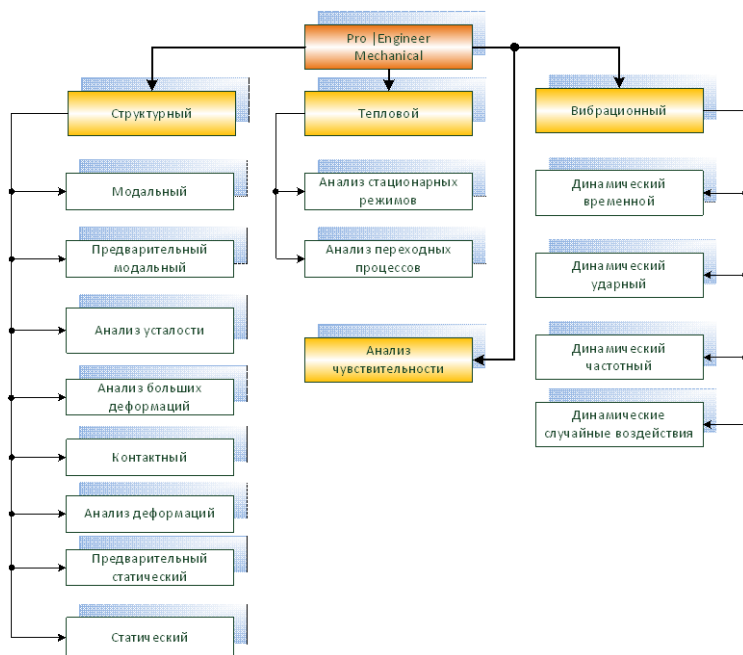


Рисунок 2.5 – Структурная схема модуля Mechanical

2.2 Термальный анализ

Выберите Analysis>Mechanica Analyses/Studies, чтобы определить тепловой анализ. Тепловой анализ измеряет эффект тепловой нагрузки по модели.

В тепловом анализе можно определить два типа исследований:

Steady Thermal (стационарный тепловой) - вычисляет установившуюся тепловую реакцию на набор ограничений и одну или более дополнительных нагрузок высокой температуры. Набор ограничений состоит из одного или более известных температур и/или условия конвекции.

Transient Thermal (тепловой переходный процесс) - вычисляет температуры и потоки температур по модели в разное время как реакция на одну или более дополнительных нагрузок высокой температуры и подвергающийся одной или более дополнительным известными температурам и/или условиям конвекции. Необходимо определить по крайней мере один набор нагрузок или один набор ограничений.

2.2.1 Задание термального анализа

Используется, чтобы определить тепловую реакцию на тепловые нагрузки в зависимости от установившихся температур или с учетом условий конвекции или обоих одновременно. Эта форма анализа не оценивает изменения в течении длительного времени.

Следующие пункты появляются на диалоговом окне Steady Thermal Analysis Definition:

Constraints — Выберите один или более наборов ограничений.

Loads — Выберите один или более наборов нагрузок. Это является дополнительным. Следующие опции появляются на диалоговом окне Steady Thermal Analysis Definition:


Convergence

Output

Excluded Elements

Для выполнения теплового анализа необходимым условием является наличие хотя бы одного условия ограничений.

Создание термального анализа:

1. Выберите Analysis>Mechanica Analyses/Studies или нажмите на . Появится диалоговое окно Analyses and Design Studies.

2. Выберите File>New Steady Thermal в диалоговом окне. Появится окно Steady Thermal Analysis Definition.
3. Введите имя анализа.
4. Выберите набор граничных условий. Чтобы выбрать больше чем один набор граничных условий, поставьте флажок Combine Constraint Sets.
5. Если определены нагрузки высокой температуры для модели, выберите один или более наборов нагрузок высокой температуры, если это требуется, чтобы включить их в анализ. Если выбираете больше чем один набор нагрузок, поставьте флажок Sum Load Sets, чтобы объединить множество тепловых нагрузок.
6. Дополнительные опции для устойчивого теплового анализа:
 - Convergence
 - Output
 - Excluded Elements
7. Нажмите ОК.

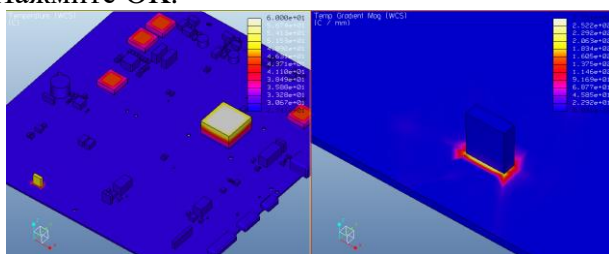


Рисунок 2.6 – Окно результатов стационарного теплового анализа

2.2.2 Переходный тепловой анализ

Используется, чтобы вычислить тепловую реакцию модели с течением времени.

В диалоговом окне Transient Thermal Analysis Definition появляются следующие пункты:

Constraint - набор ограничения. Если набор ограничения отсутствует, необходимо выбрать по крайней мере один набор нагрузок высокой температуры.

Loads выбор одного или более наборов нагрузок. Это является дополнительным, если выбран набор ограничений. Mechanical соединяет множество всех отобранных наборов нагрузок и вычисляет только одно решение с временной зависимостью для всех нагрузок высокой температуры.

Mechanical также анализирует величины, которые можно определили для своей модели. Используйте набор возможных расчетных величин для определения:

- времени, при котором данное условие верно
- значение величины по времени в выбранной точке
- max, min, или max abs для величины по всему анализу или в диапазоне требуемого времени.

Используйте переходный тепловой анализ, чтобы узнать следующую информацию:


- время, которое необходимо модели, чтобы нагреться или остыть;
- как нагреется модель при воздействии тепловой нагрузки с учетом времени этого воздействия;
- тепловые напряжения, которые развиваются в результате изменений температуры по модели.

Требования к выполнению переходного теплового анализа

1. 3D- модель;
2. только изотропические свойства материала
3. не должно быть ни каких оболочек
4. никаких связей

5. 1 набор ограничений или 1 набор нагрузок.

Создание переходного теплового анализа:

1. Выберите Analysis>Mechanica Analyses/Studies или нажмите на . Появится диалоговое окно Analyses and Design Studies.

2. Выберите File>New Transient Thermal в диалоговом окне. Появится окно Transient Thermal Analysis Definition.

3. Введите имя анализа.

4. Если есть необходимость включения граничных условий в тепловой анализ, выберите набор граничных условий. Чтобы выбрать больше чем один набор граничных условий, включите опцию Combine Constraint Sets. Если граничных условий нет, необходимо выбрать по крайней мере один набор нагрузок высокой температуры.

5. для включения высокотемпературных нагрузок в анализ, выберите один или более наборов высокой температуры. Требуется как минимум один набор, если не выбран граничный набор условий. Модуль суммирует наборы нагрузок и вычисляет одно решение с временной зависимостью.

6. Дополнительные опции для устойчивого теплового анализа:

Temperatures

Convergence

Output

Excluded Elements

7. Нажмите ОК.

Выбор выходных опций для теплового анализа

1. Нажмите Output в диалоговом окне;
 2. Если не нужно рассчитывать тепловой поток, выберите эту опцию (Heat Flux) по умолчанию она выбрана.
 3. Выберите величину плотности сетки.
- Если создается устойчивый тепловой анализ, то следующие шаги пропускаются

Выберите опцию для определения Output Interval (выходной интервал), для которых необходимо знать результаты - Automatic Intervals Within Range (автоматические интервалы в пределах диапазона) или интервалы определенные пользователем (User-defined Output Intervals).

Если выбрана опция User-defined Output Intervals, то появляются различные пункты таблицы. Продолжите с шага 7 по 10.

4. Если выбрана опция Automatic Intervals Within Range введите минимальное время для более меньшего уровня диапазона времени.
5. Введите максимальное время для окончания или выберите опцию Auto.
6. Введите число основных интервалов (Number Of Master Intervals) для анализа.
7. Используйте значения по умолчанию для каждого интервала, чтобы ввести интервалы выберите опцию User-defined Steps
8. Выберите опции Full Results следующую за интервалами интервалами, для нужно сохранить результаты анализа температур и потоков.
9. Выберите опцию Temp Load, для которых необходимо сохранить температурные данные нагрузок для того, что-

бы импортировать тепловые нагрузки или температурную область в структурный анализ.

Выбор температурных опций для переходного теплового анализа

1. Выберите Temperatures в диалоговом окне.
2. Выберите опцию Initial Temperature Distribution—Uniform или MesT
3. Если выбрана Uniform, введите температуру в область Temperature . Если есть какие-либо предписанные температуры в наборе ограничения, нужно ввести то же самое значение в качестве предписанной температуры.
4. Если выбрано MesT и желаете использовать результаты теплового анализа, который выполнялся ранее, выберите опцию Use Temperatures From Previous Design Study.
5. Если выбрана опция Use Temperatures From Previous Design Study, выберите другие пункты для включения их в переходный тепловой анализ.
Design Study
Thermal Analysis
Load Set
6. Введите значение для Accuracy (Точность)
7. Введите значение для Estimated Variation (предполагаемое значение) температуру или выберите Auto
8. Используйте выбор по умолчанию Automatically Smooth Convections (автоматическое определение конвекции) так, чтобы условия конвекции постепенно включались.

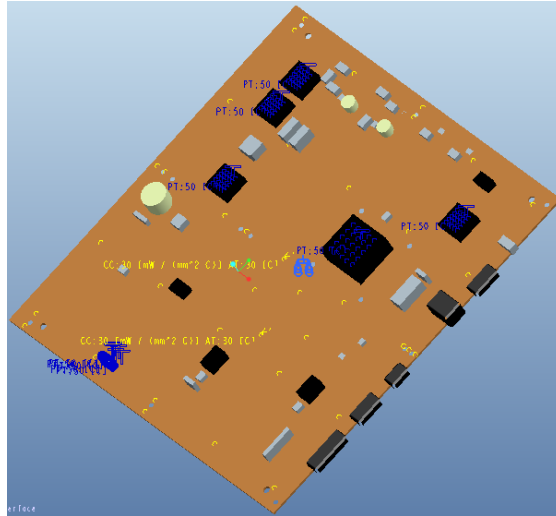


Рисунок 2.7 – Модель с заданными тепловыми нагрузками и ограничениями

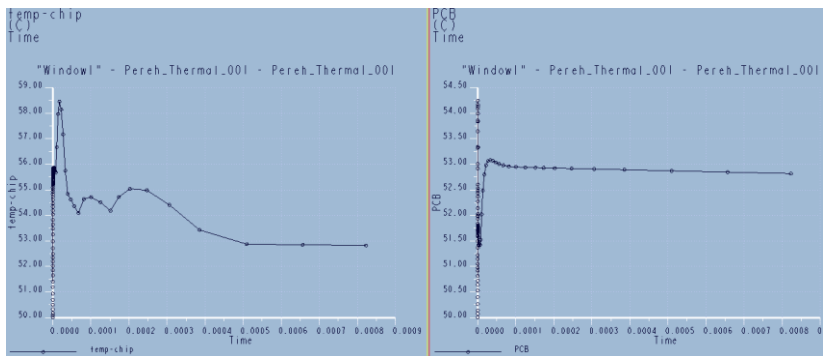


Рисунок 2.8 – Результаты переходного теплового анализа

3. ВОПРОСЫ К ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ

1. Каким образом осуществляется задание тепловых нагрузок в Pro/ENGINEER Mechanica
2. Каким образом осуществляется анализ стационарного теплового режима.
3. Каким образом осуществляется оптимизация конструкции с учетом тепловых характеристик.
4. Какие требования предъявляют к выполнению переходного теплового анализа.
5. Каким образом задаются ограничения для выполнения теплового анализа.
6. Как моделируется тепловой переходный процесс.

4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

1. Создание 3D моделей радиоэлектронного модуля.
2. Задание нагрузки и начальных условий.
3. Моделирование тепловых процессов радиоэлектронного модуля (Pro/ENGINEER Mechanica).

5. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЕ

- 5.1 Отчет по лабораторной работе должен содержать
- наименование и цель работы;
 - используемые тепловые и математические модуля;
 - исходные данные и результаты расчетов;
 - заключение и выводы по результатам работы

- 5.1 Контрольные вопросы к лабораторной работе:
- тепловая модель модуля;

- математические модели, описывающие тепловой режим модуля;
- методика определения перегрева модуля;

Лабораторная работа № 2

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 ресур-

сов, производственные мощности и организацию массового производства.

В работе предполагается выполнить следующее:

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

2) изучить возможности задания тепловых нагрузок;

3) изучить возможности модуля Creo Parametric (Pro/ENGINEER Mechanical) по тепловому анализу;

4) проработать вопросы отображения результатов в Creo Parametric (Pro/ENGINEER Mechanical);

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 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) Mechanica 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 ста-

дях 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.

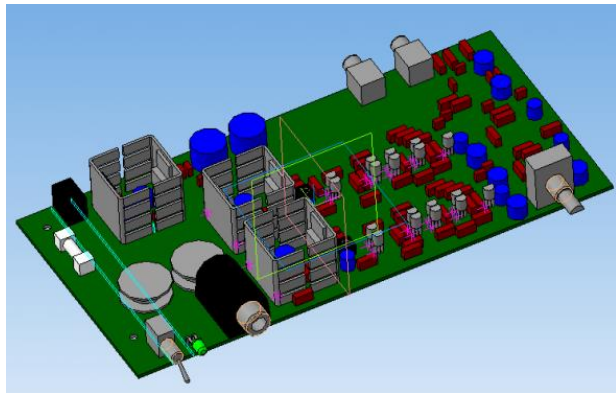


Рис.1. Внешний вид радиоэлектронного модуля

Для реализации этого задания необходимо выполнить следующее.

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

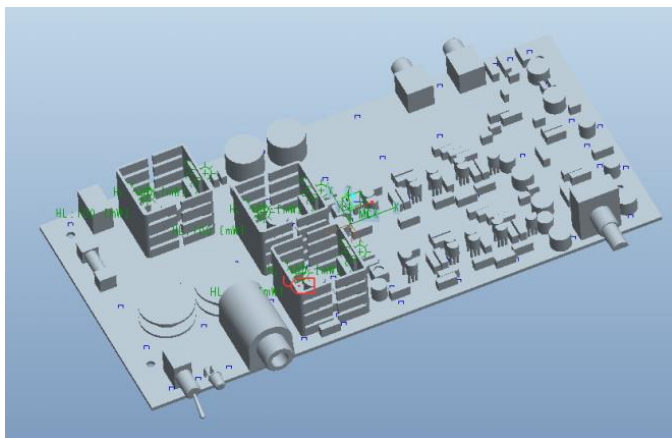


Рис. 2. Задание тепловых нагрузок

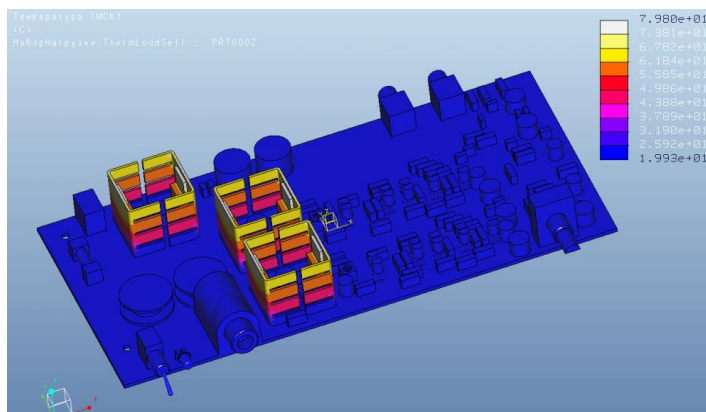


Рис.3. Тепловой режим

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.

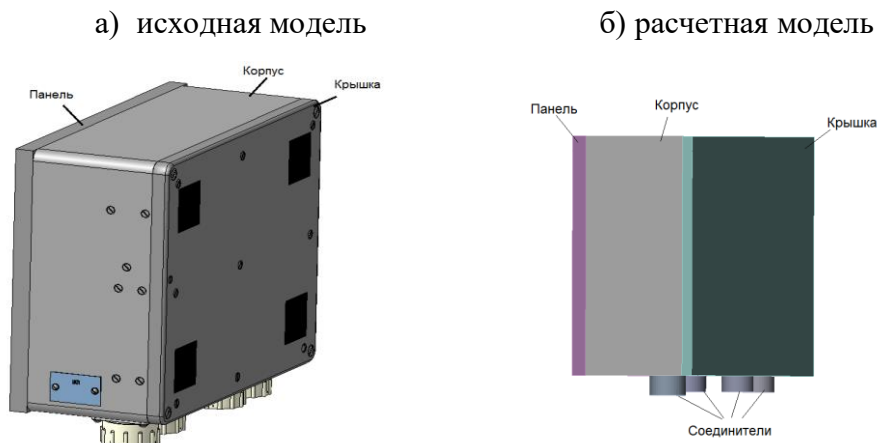


Рис.1. Общий вид расчетной 3D модели устройства

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 стекловолкна. 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».

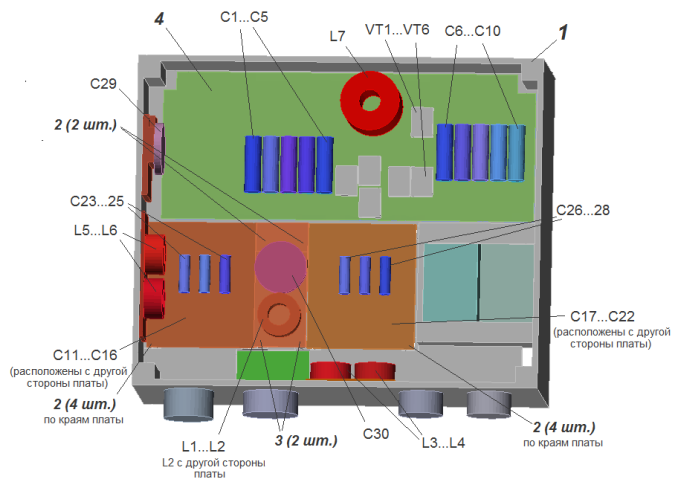


Рис. 2. Упрощённая модель нижней стороны корпуса

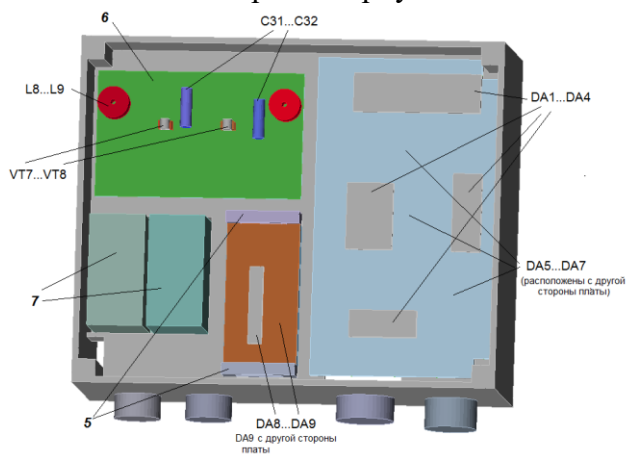


Рис. 3. Упрощённая модель верхней стороны корпуса

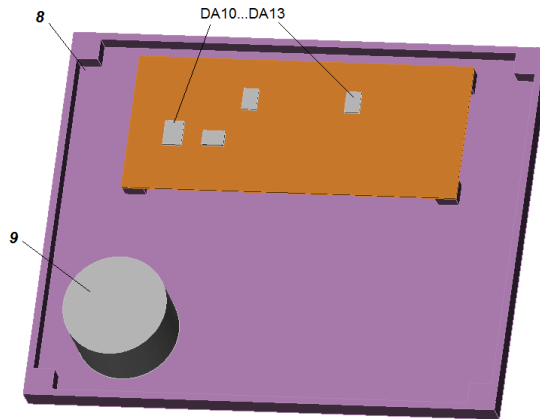


Рис. 4. Упрощённая модель панели

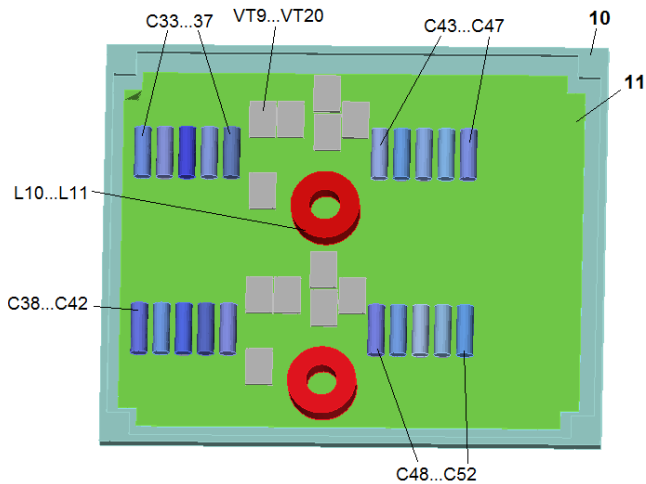


Рис. 5. Упрощённая модель крышки

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

Устройство ориентировано соединителями вниз относительно земной поверхности (рисунок 1). Температура окружающей среды +28°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 ~ 0 °C/Вт;

— теплообмен между наружными поверхностями (с учетом их ориентации) и окружающей воздушной средой осу-

ществляется 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

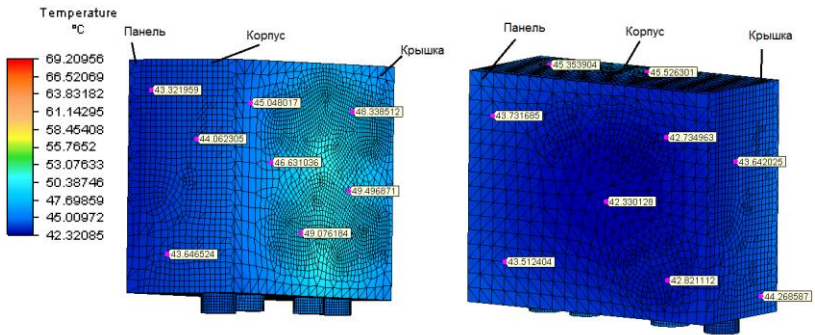
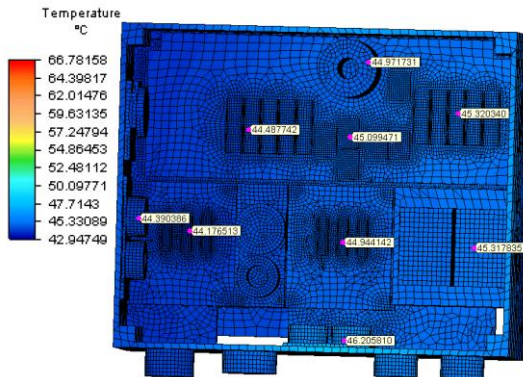


Рис. 6. Температурное поле наружных поверхностей



Рису. 7. Распределение температур на нижней стороне корпуса

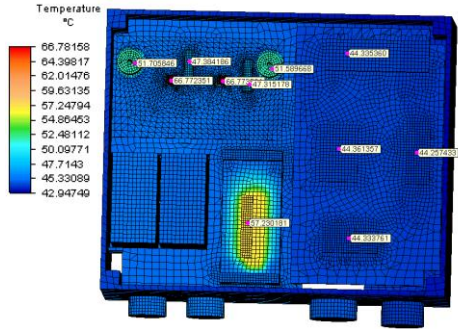


Рис. 8. Распределение температур на верхней стороне корпуса

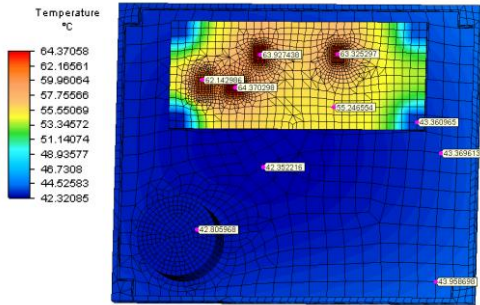


Рис. 9. Распределение температур на внутренней стороне панели

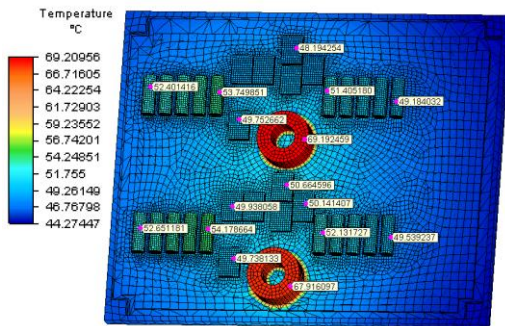


Рис.10. Распределение температур на внутренней стороне крышки

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, °С;

t_k – температура корпуса полупроводникового прибора, °С;

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

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

Согласно выражению (1) температура кристалла VT7, VT8 составляет +86,8°С. Максимально допустимая температура кристалла для VT7, VT8 – +150°С. 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 Mechanica
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 № 1. Моделирование тепловых характеристик конструкций РЭС.....	3
Лабораторная работа № 2. Исследование температурного поля активных элементов при воздушном охлаждении.....	22
Лабораторная работа № 3. Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций РЭС.....	30
Библиографический список.....	42

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», магистерские программы «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения», «Силовая электроника» очной и заочной форм обучения.

Составитель:

Ципина Наталья Викторовна

В авторской редакции

Подписано к изданию . . .2022.

Уч.-изд. л. 1,2.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14