ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ РЭС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе
по дисциплине “Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС ” для студентов направления подготовки 11.04.03. «Конструирование и технология электронных средств» магистерская программа «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения»
очной формы обучения

Воронеж 2013

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

УДК 621.3

Моделирование тепловых характеристик конструкций РЭС: методические указания к лабораторной работе по дисциплине “Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС ” для студентов направления подготовки 211000.68 «Конструирование и технология электронных средств» магистерская программа «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет; сост. Н.В. Ципина, В.А. Шуваев. Воронеж, 2013. 22 с.

В лабораторных работах рассматриваются методики расчета стационарного режима радиоэлектронного узла при использовании воздушного охлаждения, проводится моделирование тепловых характеристик радиоэлектронного модуля для различных режимов работы. Методические указания снабжены рекомендуемой литературой.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе Microsoft Word 97 и содержатся в файле МТП_РЭС_лаб.doc.

Табл. 5. Ил. 8. Библиогр.: 8 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. О.Ю. Макаров

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

Издается по решению редакционно-издательского совета воронежского государственного технического университета

©ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2013

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 Mechanica.

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 Mechanica

Pro/ENGINEER Mechanica 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, закреплений 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

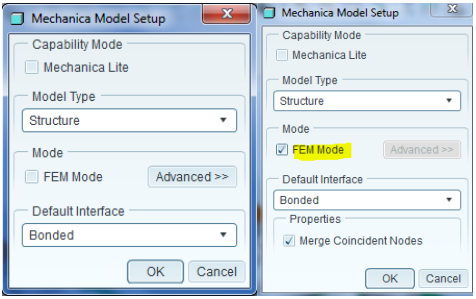
При использовании FEM анализа с помощью сторонних программных продуктов, исследование проходит пять последовательных этапов, приведенных в таблице 2.

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

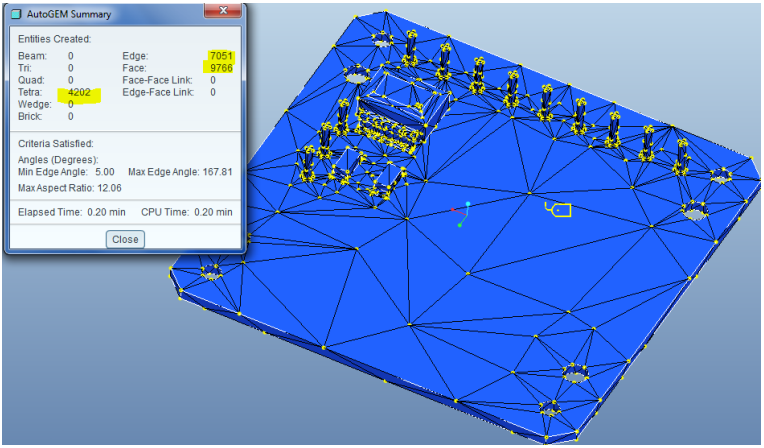
Продолжение таблицы 2

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 теких систем как ANSYS и NASTRAN
	Просмотр экспортированной сетки
	Начало анализа
Просмотр результатов	Импортирование результатов в пост-процессор Pro/Engineer Mechanica и просмотр результатов
	Просмотр графического воспроизведения результатов анализа
	Определение параметров сетки конечных элементов
	Просмотр статистики анализа
	Создание отчета МКЭ

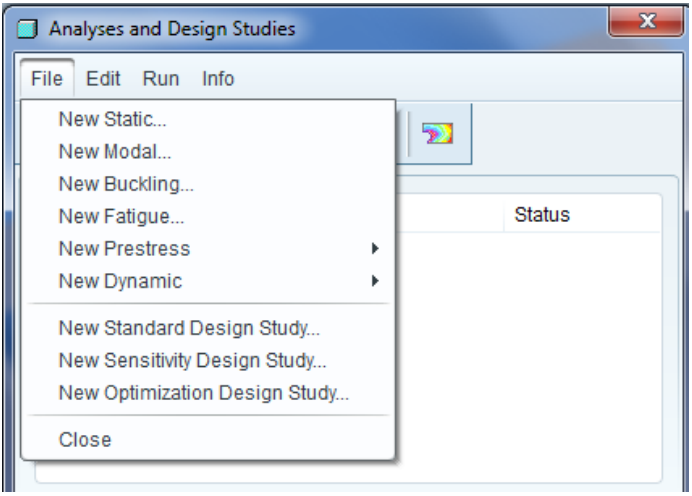


а б

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

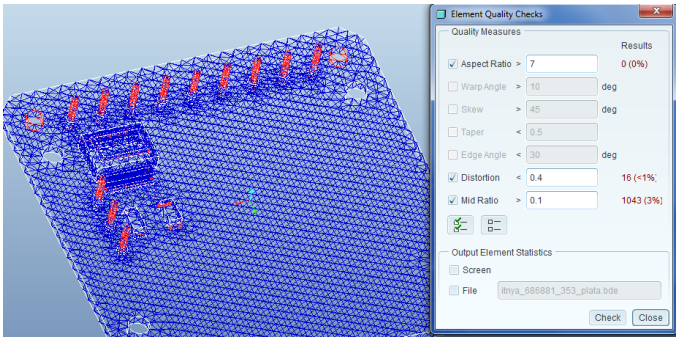


а

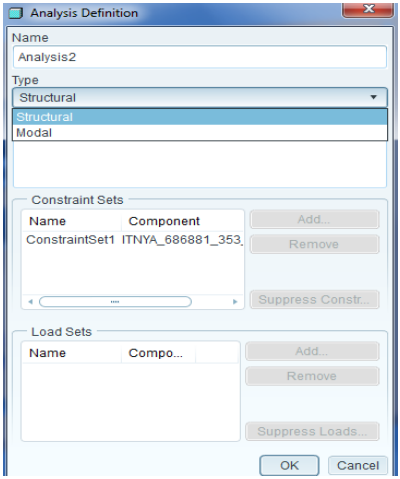


б

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

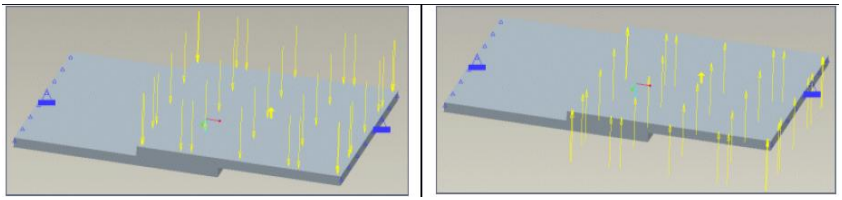
Bonded (связанный)- этот тип анализа входит в структурный и тепловой модуль Mechanica. Компоненты или поверхности всегда соприкасаются во время анализа. Приложенные силы переходят между связанными компонентами или поверхностями.

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.

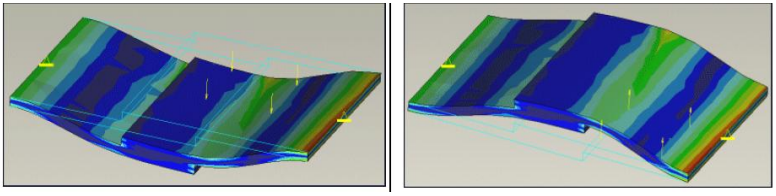
Contact (контакт) - компоненты или поверхности остаются отдельными друг от друга. Приложенные силы передают между соединенными компонентами или поверхностями. Mechanica создает величину, чтобы вычислить результирующую силу. Можно создать анализ с бесконечным трением, можно определить коэффициент трения.

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

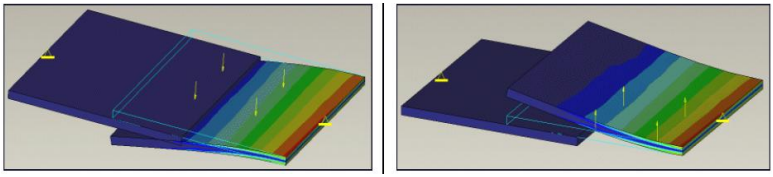
Thermal Resistance- этот интерфейс создает тепловой зазор между соединенными компонентами и поверхностями. Существуют области проводимости, отличающиеся от проводимости компонентов. Определяется коэффициент теплопередачи.



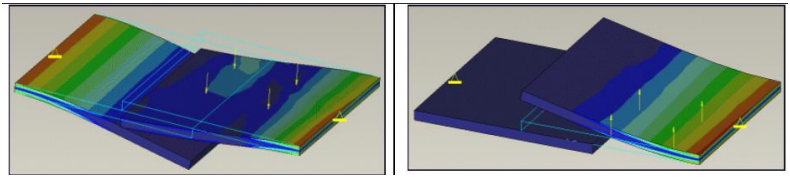
а



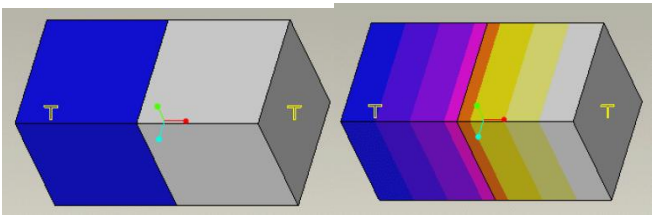
б



в



г



д е

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 Mechanica 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	^0C	^0C	^0F	^0F
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/sec2	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	lbfsec2/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	lbfft/rad	lbfin/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 W	ftl bf/sec	inl bf/sec
Температурный градиент	C/m	C/mm	F/ft	F/in

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 тепло-емкость	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		

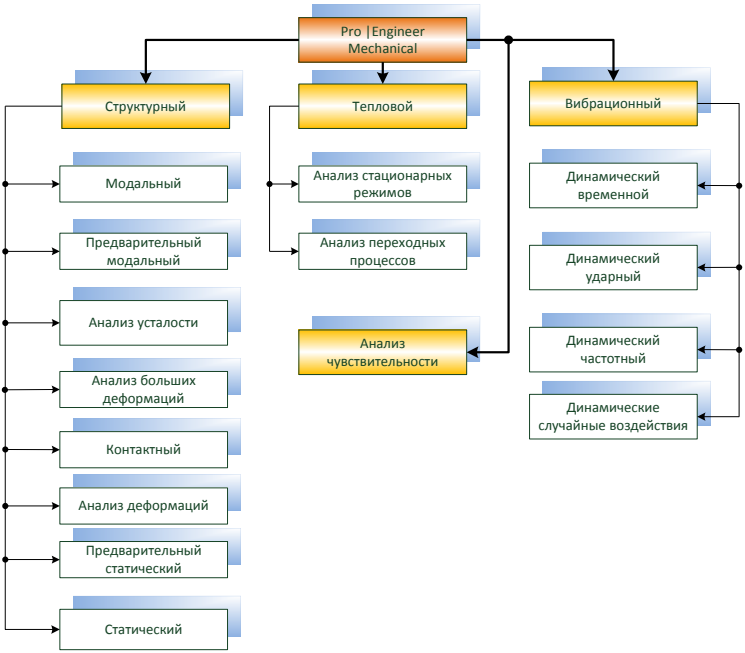


Рисунок 2.5 – Структурная схема модуля Mechanica

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 различ-

ное 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 ограничения.

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 OK.

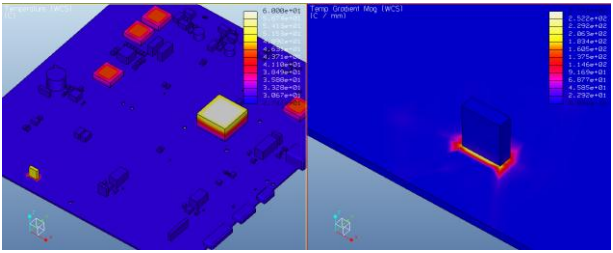


Рисунок 2.6 – Окно результатов стационарного теплового анализа

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. Mechanica соединяет множество всех отобранных наборов нагрузок и вычисляет только одно решение с временной зависимостью для всех нагрузок высокой температуры.

Mechanica 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 DefinitionAnalysis 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 выокотемпературных 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 OK.

Выбор выходных опций для теплового анализа

1. Нажмите Output в диалоговом окне;

2. Если не нужно рассчитывать тепловой поток, уберите 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 Outpu 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 выбирайте 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 следующуа 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, чтобы 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 МесТ
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 МесТ 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.

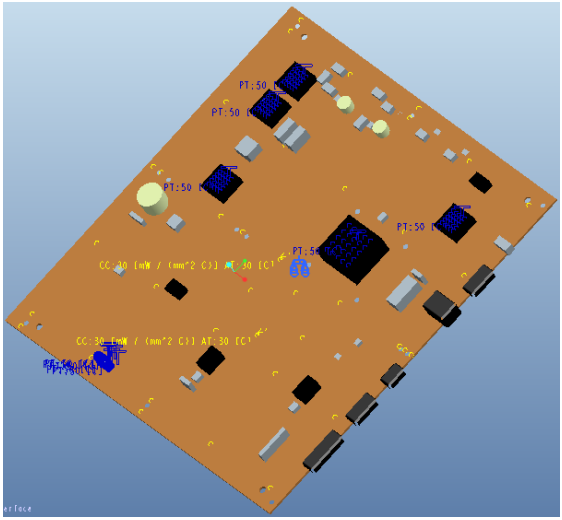


Рисунок 2.7 – Модель с заданными тепловыми нагрузками и ограничениями

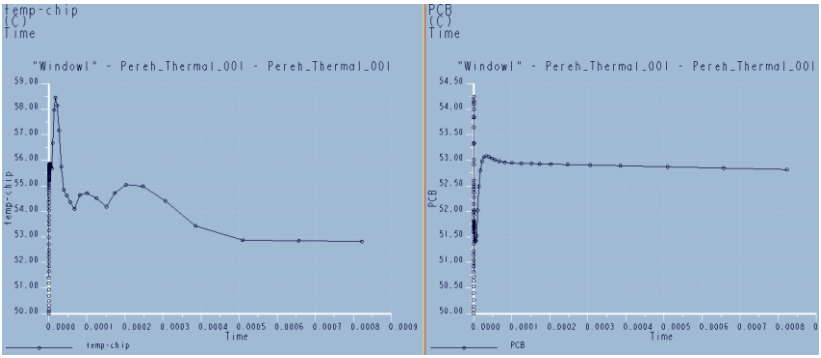


Рисунок 2.8 – Результаты переходного теплового анализа

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;

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дульнев Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре.- М.: Высш. шк., 1984.- 247 с.

1. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Е.В. Аметистов, В.А. Григорьев, Б.Т. Емцев и др.; Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982. 512 с.

2. Обеспечение тепловых режимов изделий электронной техники / А.А. Чернышев, В.И. Иванов, А.И. Аксенов, Д.Н. Глушкова. М.: Энергия, 1980. 216 с.

3. Шуваев В.А., Муратов А.В., Макаров О.Ю. Методы обеспечения тепловых режимов при проектировании радиоэлектронных средств: учеб. пособие Воронеж: ВГТУ, 2008. 138 с.

6. Шуваев В.А. Повышение эффективности теплового проектирования РЭС на основе методов конструктивно-теплового синтеза // Системные проблемы надежности, качества, информационных и и электронных технологий: материалы. Междунар. конф. и Рос. науч. школы Секция 5. М.: Радио и связь, 2006. С. 109-111.

7. Дульнев Г. Н., Парфенов В. Г., Сигалов А. В. Методы расчета теплового режима приборов.- М.: Радио и связь, 1990.- 312 с.

8. Дульнев Г. Н., Тарновский Н. Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры.- Л.: Энергия, 1971.- 248 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Моделирование тепловых характеристик конструкций РЭС.....…….....……1

Библиографический список……...22

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ РЭС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе
по дисциплине “Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС ” для студентов направления подготовки 211000.68 «Конструирование и технология электронных средств» магистерская программа «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения»
очной формы обучения

Составители:
Ципина Наталья Викторовна
Шуваев Владимир Андреевич

В авторской редакции

Подписано к изданию 11.11.2013.
Уч.-изд. л. 1,3. «С»

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, московский просп., 14