

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

А. И. Котик, Г. Г. Гаврилов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Одна из задач при конструировании электронных устройств – это повышение надежности элементов при одновременном снижении их материалоемкости. Условием эффективного решения этой задачи является использование математического моделирования и анализа во взаимосвязи с опытом и новейшими конструктивными и технологическими разработками.

Опыт проектирования показывает, что конструктор должен обладать обширными современными знаниями в различных областях науки и техники. Обеспечение надежности в процессе разработки устройств достигается использованием различных конструкторских и технологических методов: выбором материала и метода его упрочнения, проведения расчета допусков и размерных цепей, проведения моделирования, проведения расчетов прочности и жесткости, определения форм потери устойчивости и т. д.

Уровень развития программного обеспечения и электронной вычислительной техники позволяет уйти от традиционных, ручных методов конструирования и последующего расчета конструкций к новым информационным технологиям с использованием ЭВМ. На ЭВМ могут быть спроектированы новые детали и изделия в целом, путем моделирования конструктором требуемых параметров деталей и механизмов. Конфигурация и размеры деталей могут изменяться на любом этапе проектирования, обеспечи-

вая многовариантность создаваемой конструкций. На основе созданных трехмерных геометрических моделей проектируемых изделий возможно применение компьютерных методов решения различных задач прочности и жесткости, что обеспечивает переход на более высокий уровень конструирования, и как результат получается лучшая, более надежная конструкция изделий.

Рассмотрим вопрос применения САПР и автоматизированных расчетных систем на некоторых наглядных примерах трехмерных цифровых моделей (далее модели) реально проектируемых изделий СВЧ, таких как модель антенны СВЧ, модель замедляющей структуры, модель резонатора, модель коллектора. Методология моделирования на ЭВМ следующая:

- создание адекватной модели детали или сборки;
- определение и задание кинематических граничных условий, исключающих движение тела как жесткого целого в бесконечность;
- определение и присвоение статических граничных условий, наличие внешних нагрузений (усилия, давления, вращающий момент, температура и т. д.), и необходимых коэффициентов. При этом заданная совокупность условий должна обеспечить деформированное состояние тела;
- разбиение модели на корректную конечно-элементную дискретизацию;

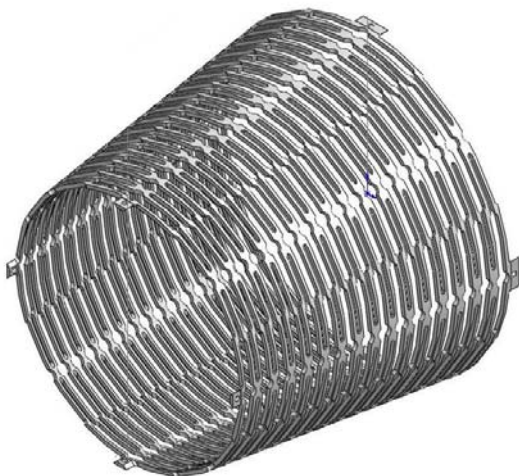


Рис. 1. Модель СВЧ антенны

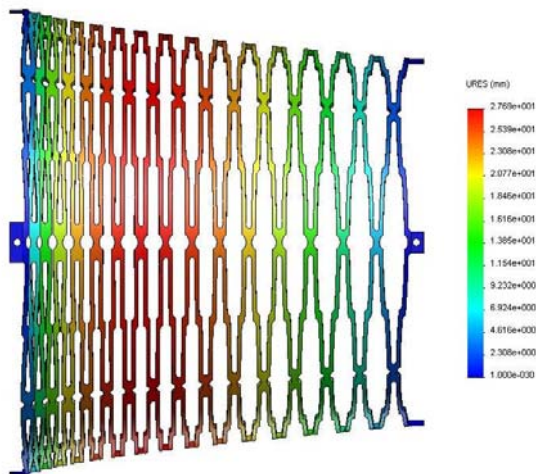


Рис. 2. Деформированное состояние

– проведение расчета, выведение результатов и их интерпретация и анализ полученной информации.

Модель антенны СВЧ показана на рис. 1 и представляет собой усеченный полый конус с пазами, расположенными под углом 45° . Для примера возьмем моделирование осевого нагружения ускорением $30 g$.

Задача моделирования – определить максимальные напряжения и перемещения в центральном сечении модели антенны СВЧ. Материал антенны – медь. Результаты проведенного моделирования и аналитического расчета представлены в табл. 1 и рис. 2. Результаты аналитического расчета и моделирования на ЭВМ практически одинаковы (нет большого расхождения в данных) и показывают, что модель антенны СВЧ не работоспособна по осевому виду нагружения. Происходит смыкание витков антенны у основания и недопустимое растяжение у вершины.

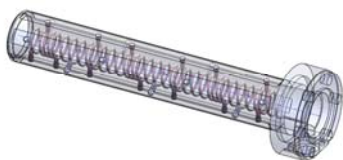


Рис. 3. Модель замедляющей структуры

Модель замедляющей структуры показана на рис. 3. Это – медная спираль, помещенная коаксиально в цилиндрический корпус из нержавеющей стали, спираль поддерживают керамические втулки.

Задача моделирования – определить контактное напряжение в паре спираль и втулка, при осевом нагружении ускорением $30 g$. Результаты расчета представлены в табл. 2. Теоретическое справочное значение контактного напряжения лежит в пределах от $12\text{--}25$ МПа, а перемещения спирали по втулке от положения равновесия может составить до $0,2$ мм и это не изменит работоспособности замедляющей структуры по электродинамическим параметрам. Результаты расчета позволяют сделать вывод, что модель замедляющей структуры вполне работоспособна и надежна по этому конкретному виду нагружения.

Модель резонатора представляет собой тонкий цилиндр с отверстием в центре и пазом над ним.

Задача моделирования – выяснить наиболее нагруженные зоны резонатора при осевом нагружении ускорением до $30 g$. Более напряженное состояние в материале резонатора наблюдается на правом и левом краях паза, что не является критичным местом для резонатора. Эпюра напряженного состояния представлена на рис. 4. Максимальное напряжение в резонаторе, смоделированное на ЭВМ, равно $0,59$ МПа. Аналитический расчет резонатора не проводился.

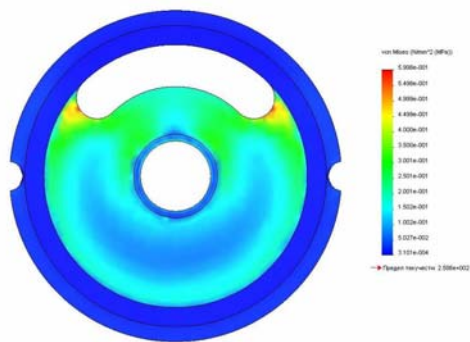


Рис. 4. Эпюра напряженного состояния резонатора

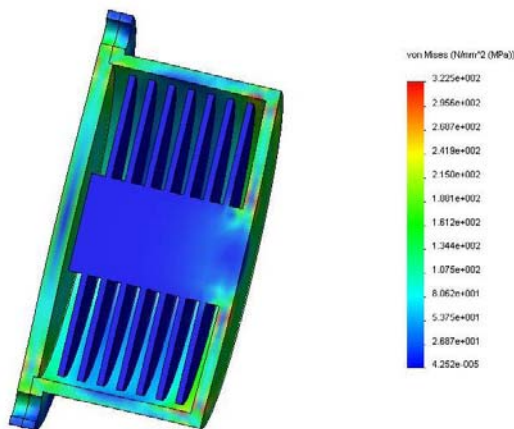


Рис. 5. Эпюра напряженного состояния коллектора

Модель коллектора представляет из себя бак высокого давления (30 кг/см^2) выполненный в виде глухого цилиндра из нержавеющей стали, закрытого крышкой из нержавеющей стали, прикрепленной к нему с помощью болтового соединения.

Задача моделирования – выяснить наиболее нагруженные места, проверить, достаточно ли для крепления крышки восьми болтов М8. Более напряженное состояние коллектора наблюдается в углах с глухой стороны цилиндра. Результаты расчета коллектора представлены в табл. 3 и рис. 5. Результаты расчета болтового соединения на растяжение представлены в табл. 3. Данные аналитического расчета и моделирования на ЭВМ не имеют глобальных расхождений, поэтому можно сделать вывод, что модель коллектора вполне работоспособна и надежна для конкретного нагружения.

Анализ полученных расчетных данных (теоретических и цифровых) показывает, что глобального расхождения в результатах нет, а имеющиеся расхождения – это объективные расхождения, которые невозможно устранить из-за методологических и системных упрощений и допущений. То есть точность, которую обеспечивает автоматизированная система инженерных расчетов, вполне приемлема для этапа проектирования изделий СВЧ. Точность же аналитических методов расчета тоже достаточна, но

Расчетные данные модели антенны

Данные	Напряжение	Перемещение
Аналитический расчет	294,3 МПа	21,6 мм
Моделирование на ЭВМ	244,7 МПа	15,2 мм

Таблица 2

Расчетные данные модели замедляющей структуры

Данные	Контактное напряжение	Перемещение витка по втулке от положения равновесия
Аналитический расчет	16,2 МПа	0,68 мм
Моделирование на ЭВМ	24,8 МПа	0,93 мм

Таблица 3

Расчетные данные модели коллектора

Данные	Максимальное напряжение в коллекторе	Расчетная нагрузка на болт	Напряжение в болте М8
Аналитический расчет	260,4 МПа	6712 Н	119 МПа
Моделирование на ЭВМ	322,5 МПа	5736,5 Н	206 МПа

они занимают гораздо больше времени. Основные достоинства современных систем проектирования и последующего расчета следующие:

- гибкость моделирования позволяет проектировать и анализировать изделия различной сложности;
- возможность определения связей деталей в изделии и непосредственно в конструктиве самой детали;
- наглядность нагружения позволяет изучить работу детали или изделия в целом при различных нагружениях;
- программное обеспечение позволяет выполнить статический и динамический анализ с получением значений перемещений, деформации, механических напряжений;
- расчет размерных цепей на любом этапе анализа обеспечивает оценку изделия из условия целостности конструкции;
- оценка прочности конструкции, отдельных ее узлов и деталей позволяет выявить недостатки конструкции;
- более наглядное представление конструкции, как следствие более быстрый выпуск конструкторской документации без системных ошибок;
- более точный расчет необходимого количества материалов, которые требуются для изготовления;
- существенное сокращение временных затрат на проектирование.

Следует отметить так же следующие недостатки систем проектирования и последующего расчета:

- неоднозначность заложенного математического аппарата для получения матриц жесткости конечных элементов, приведенных нагрузок, приложенных к поверхностям или объему элемента к усилиям в узлах, а также решения обратных задач: вычисле-

ния полей деформации и напряжений в объеме элемента на базе перемещений в узлах. То есть конкретные реализации могут существенно отличаться от стандартных схем;

- отсутствие адекватных баз данных со свойствами материалов. Очень скудный набор баз данных с геометрическими моделями стандартизованных изделий;

- заложенный математический аппарат и алгоритм получения матрицы жесткости конечного элемента, требует уплотнение сетки в зонах значительных нагрузок или же около мест приложения граничных условий;

- конечно-элементная дискретизация является уникальной для каждой модели, что влечет за собой невозможность написания общей методики разбиения на конечные элементы, возможно лишь дать рекомендации, а также перенос сетки из одного программного средства в другое;

- геометрическая модель, как правило, существенно упрощается для проведения расчетных процедур. То же можно сказать и об используемых граничных условиях и нагрузках. В результате точность проводимых расчетов падает;

- матрица жесткости конечного элемента малой геометрической формы, например фаски, не является адекватной (слишком жесткий элемент) т.е. расчет малых форм производится некорректно;

- при расчете моделей с деталями из различных материалов возникает неоднозначность постановки задач и различных условий (например, матрица жесткости неадекватна);

- невозможность написания общей методики проведения расчета в общем плане. Возможно лишь написание методики только для конкретной модели или класса моделей с одинаковой формой, но разных

конкретных и ограниченных типоразмеров. В общем случае можно только дать рекомендации по моделированию и дальнейшему расчету;

– постоянная работа с автоматизированными системами проектирования и расчета требует постоянного обновления программных средств и аппаратного оборудования.

Из выше изложенного следует вывод, что многогранность применения систем автоматизированного проектирования и систем инженерных расчетов, несмотря на недостатки таких систем, однозначно повышает надежность разрабатываемых изделий СВЧ. Применение современных систем инженерных расчетов обеспечивает требуемую точность результатов, также снижает затраты на проектирование, с одновременным повышением качества разрабатываемых изделий. Но в тоже время не стоит «увлекаться» автоматизированным проектированием, нельзя пренебрегать предшествующим опытом конструирования, теоретическими данными и расчетами и экономить на проведении соответствующих экспериментов и опытах. Никогда нельзя исключать творческий поиск, даже имея в своем распоряжении са-

мую современную систему автоматизированного проектирования и инженерного расчета. Основной целью применения любых автоматизированных систем должно являться лишь снижение материальных, физических, психологических и других затрат на рутинную часть работы конструктора. Не следует всецело полагаться на данные цифрового моделирования. Создать надежную и работоспособную конструкцию возможно, лишь используя все конструкторские и технологические методики.

Литература

1. Дарков А. В., Шпиро Г. С. Сопротивление Материалов. М.: Высшая школа, 1989.
2. Чуков А. Н. Техника 21 века. Т.: Шар, 2001.
3. Алямовский А. А. Компьютерное моделирование в инженерной практике. С.-Пб.: БХВ - Петербург, 2006.
4. Краузе В. Конструирование приборов. М.: Машиностроение, 1987.