

Министерство образования и науки Российской Федерации **ТОМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга
(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой РЭТЭМ

_____ В.И. Туев

САПР и технология СВЧ устройств
Методические указания
по практическим занятиям и самостоятельной работе
по направлению подготовки
11.04.03 "Конструирование и технология электронных средств"
Профиль подготовки
Магистерская программа "Инновационные технологии в микро и
наноэлектронике"

Разработчик
доцент кафедры РЭТЭМ
_____ В.М. Коротаев

Коротаев В.М.

САПР и технология СВЧ устройств:

методические указания по практическим занятиям и самостоятельной работе студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.03 –

Конструирование и технология электронных средств/В.М. Коротаев. – Томск: ТУСУР, 2016. – 10 с.

Содержит методические указания, контрольные вопросы, рекомендуемую литературу по практическим занятиям и самостоятельной работе по разделам курса «САПР и технология СВЧ устройств».

Указания предназначены для обучающихся по направлению подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств».

© Коротаев В.М., 2016

© Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники ТУСУР, 2016

Содержание

Введение	4
1. Среда проектирования Microwave Office	4
2. Линейное моделирование	5
3. Графические средства визуализации процессов численного моделирования при решении задач проектирования в среде САПР	5
4. Согласование 1	5
5. Согласование 2	7
6. Малосигнальные модели активных элементов СВЧ и линейные усилительные устройства на них.	7
7. Нелинейное моделирование	7
8. Основные параметры нелинейного усилительного элемента	8
9. Контрольные вопросы	8
10. Литература	9

Введение

Цель настоящего пособия знакомство с системами автоматизированного проектирования микроволновых СВЧ устройств на примерах решения характерных примеров моделирования широкого класса устройств как пассивных (в линейной области работы) так и активных (в нелинейной области). Акцентируется внимание на вопросах решения задач согласования с трактом передачи СВЧ сигнала. Демонстрируются возможности визуального контроля процесса согласования в динамике варьирования параметров согласующих цепей. Формулировка тем и подпунктов практических работ в совокупности с лекционным материалом и литературными источниками имеют целью задать направление самостоятельной работе студентов для формирования компетенций.

1 Среда проектирования Microwave Office.....

1.1. Методические указания по разделу

При изучении раздела следует воспользоваться литературой [2.1, 2.16] и материалами лекции 1. Выполнить п.п. 1.2.-1.5.

1.2. Запуск Microwave Office.

1.3. Структура и компоненты среды проектирования

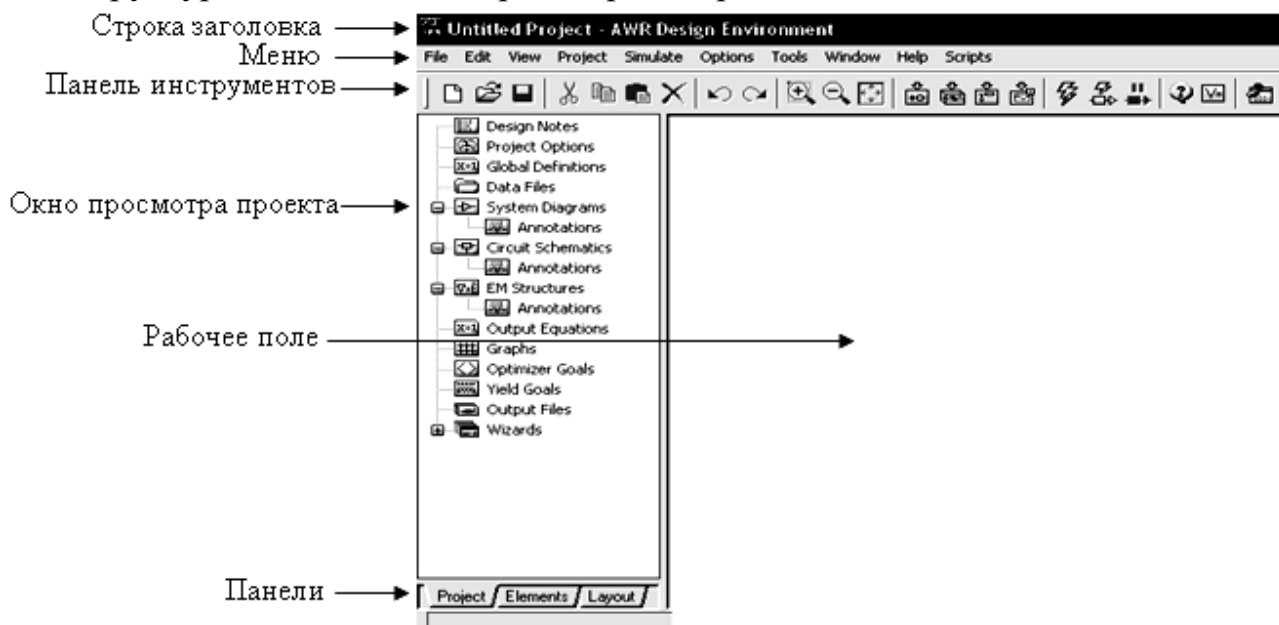


Рис. 1.1

1.4. Организация работы с проектами

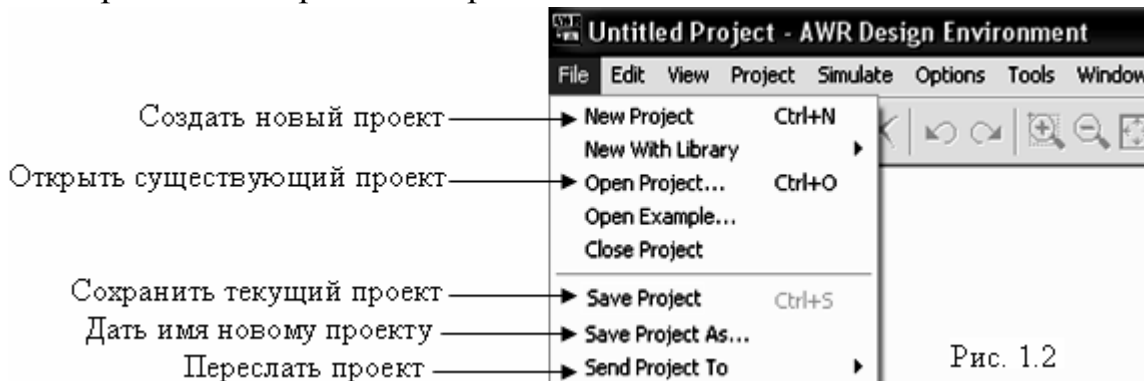


Рис.1.2.

1.5. Основные элементы и средства среды проектирования

2. Линейное моделирование

2.1. Методические указания по разделу

При изучении раздела следует воспользоваться литературой [2.1, 2.16] и материалами лекции 1 и 2. Выполнить п.п. 2.2.-2.4.

2.2. Моделирование ФНЧ на сосредоточенных элементах.....

2.3. Моделирование микрополоскового заграждающего фильтра.....

2.4. Моделирование микрополоскового аттенюатора на резисторах.....

3. Графические средства визуализации процессов численного моделирования при решении задач проектирования в среде САПР

3.1. Методические указания по разделу

При изучении раздела следует воспользоваться литературой [2.1,2.3,2.14, 2.16] и материалами лекции 1, 2, 3. Обратить внимание на аналитическую связь комплексного коэффициента отражения в тракте с волновым сопротивлением Z_B и импеданса нагрузки, подключенного к этому тракту. Выполнить п.п. 3.2.-3.4.

3.2. Диаграмма Смита

3.3. Графическое отображение комплексных коэффициентов отражения в различных системах координат и на диаграмме Смита

3.4. Визуализация преобразования импедансного представления пассивного двухполюсника в его комплексный коэффициент отражения в СВЧ тракте с фиксированным волновым сопротивлением.

4. Согласование 1

4.1. Методические указания по разделу

При изучении раздела следует воспользоваться литературой [2.1,2.3,2.14, 2.16] и материалами лекции 1, 2, 3 и 4. Выполнить п.п. 4.2.-4.5

4.2. Аналитическое решение задачи согласования двух импедансов на СВЧ для чисто активных нагрузок

4.3. Аналитическое решение задачи согласования двух комплексных импедансов на СВЧ

4.4. Решение задачи согласования с 50 омным трактом (в среде САПР) для модели активного четырехполюсника без ОС с чисто активными импедансами входа и выхода с помощью идеальных согласующих трансформаторов.

Эквивалентная схема модели активного четырехполюсника и структура схемы решения приведены на рисунках 4.1. и 4.2. соответственно.

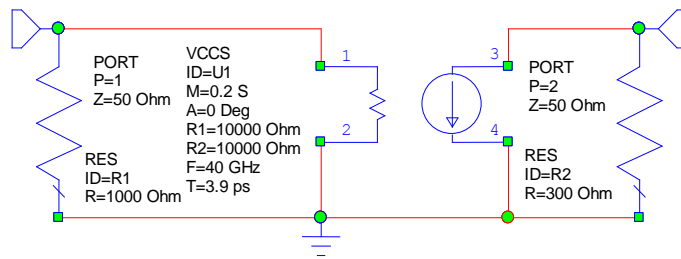


Рис.4.1.

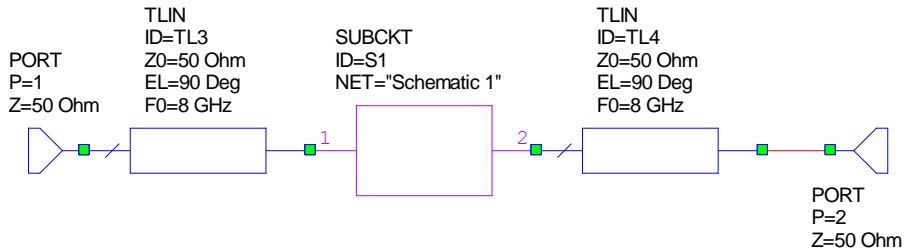


Рис.4.2.

4.5. Решение задачи согласования в 50 омном тракте (в среде САПР) для модели активного четырехполюсника без ОС с комплексными импедансами входа и выхода с помощью идеальных согласующих трансформаторов.

Эквивалентная схема модели активного четырехполюсника и структура схемы решения приведены на рисунках 4.3. и 4.4. соответственно.

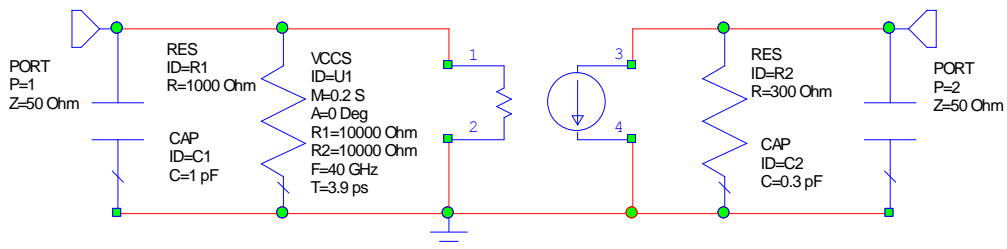


Рис.4.3.

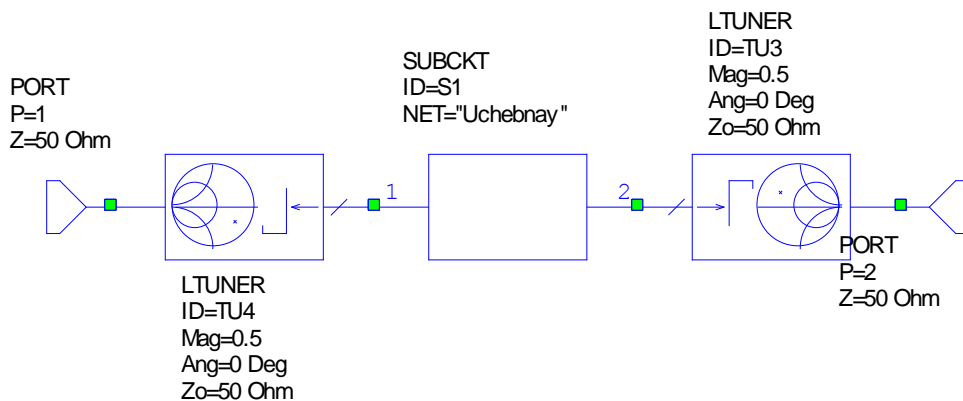


Рис.4.4.

5. Согласование 2

5.1. Методические указания по разделу

Решение задачи согласования для модели активного четырехполюсника 4.4, с графической визуализацией процесса проектирования и результата расчета на диаграмме Смита. При изучении раздела следует воспользоваться литературой [2.1,2.3,2.14, 2.16] и материалами лекции 1, 2, 3, 4 и 5. Выполнить п.п. 5.2.-5.6

5.2. Физической цепью Г-образной структуры L, C

5.3. Физической цепью Г-образной структуры МПЛ, C

5.4. Физической цепью Г-образной структуры L, $XX_{\text{МПЛ}}$

5.5. Физической цепью Г-образной структуры МПЛ, $XX_{\text{МПЛ}}$

5.6. Физической цепью в виде двух последовательно включенных отрезков МПЛ, второй из которых представляет из себя четвертьволновый трансформатор.

6. Малосигнальные модели активных элементов СВЧ и линейные усилительные устройства на них.

6.1. Методические указания по разделу.

При изучении раздела следует воспользоваться литературой [2.1,2.3,2.14, 2.16] и материалами лекции 1- 6. Импортировать файл данных из числа предложенных преподавателем. Выполнить п.п. 6.2.-6.4.

6.2. Работа с линейными моделями активных элементов заданных матрицами параметров рассеяния. Получить графические изображения частотных годографов параметров рассеяния (отражения по входу и выходу на диаграмме Смита и передачи на графиках в прямоугольной системе координат)

6.2. Моделирование работы однокаскадного линейного усилителя СВЧ с учетом устойчивости и согласования. Последовательно, сначала с идеальными трансформаторами, а затем с физическими цепями согласования.

6.3. Моделирование двухкаскадного усилителя.

6.4. Применение балансной схемы для решения задачи обеспечения заданной неравномерности АЧХ при каскадном включении усилителей. Какие еще свойства появляются у усилителя при балансной схеме включения одиночных каскадов?

7. Нелинейное моделирование

7.1. Методические указания по разделу.

При изучении раздела следует воспользоваться литературой [2.1, 2.16] и материалами лекции 1- 7. Импортировать файл данных с моделью нелинейного элемента из числа предложенных преподавателем. Выполнить п.п. 7.2.-7.5.

7.2. Элементы и средства нелинейного моделирования в среде САПР Microwave Office

7.3. Представление результатов нелинейного моделирования во временной области.

7.4. Нелинейное моделирование при одночастотном воздействии

7.5. Нелинейное моделирование при двухчастотном воздействии

8. Основные параметры нелинейного усилительного элемента

8.1. Методические указания по разделу.

При изучении раздела следует воспользоваться литературой [2.1, 2.16] и материалами лекции 1- 8. Импортировать файл данных с моделью нелинейного элемента из числа предложенных преподавателем. Выполнить п.п. 8.2-8.4.

8.2. Определение предельных одночастотных энергетических характеристик усилительного элемента на основе численного исследования его нелинейной модели в среде САПР.

8.3. Определение ожидаемых интермодуляционных искажений характеристик усилительного элемента на основе численного исследования его нелинейной модели в среде САПР.

8.4. Определение расчетной величины точки пресечения (OIP_3) как интегральной характеристики, определяющей нелинейные свойства усилительного элемента в области слабых нелинейностей.

9. Контрольные вопросы

- 1) Диапазон частот СВЧ и микроволновый. Классификация.
- 2) По какому признаку разграничиваются сосредоточенные и распределенные элементы СВЧ схем.
- 3) Первичные параметры одиночных и многосвязанных полосковых линий.
- 4) Классические и волновые матричные параметры четырехполюсников и , в общем случае, многополюсников СВЧ.
- 5) Согласование. Критерии согласования.
- 6) Диаграмма Смита и ее возможности по отображению информации в процессе проектирования усилителей по критериям согласования
- 7) Усилители мощности. Основные параметры, применяемые для характеристики УМ.
- 8) Определение коэффициента отражения
- 9) Пределы изменения коэффициента отражения
- 10) Определение коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН)
- 11) Пределы изменения КСВН
- 12) Трансформирующие свойства отрезка четвертьволнового отрезка длиной линии
- 13) Аналитическая связь КСВН и коэффициента отражения.
- 14) Использование трансформирующих свойств четвертьволнового отрезка длиной линии в инженерных решениях.
 - Для согласования активных сопротивлений
 - Для организации питания активных схем СВЧ.

10 Литература

1. Основная литература

- 1.1. Григорьев, А.Д. Электродинамика и микроволновая техника: Учебник. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2007. — 704 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/118> — Загл. с экрана.
- 1.2. Фальковский, О.И. Техническая электродинамика. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2009. — 432 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/403> — Загл. с экрана.
- 1.3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2009. — 432 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/95> — Загл. с экрана.
- 1.4. Баскаков, Святослав Иванович.
Радиотехнические цепи с распределенными параметрами : учебное пособие для вузов / С. И. Баскаков. – 2-е изд. – М. : ЛИБРОКОМ, 2012. – 154 с. : ил. – (Классика инженерной мысли: радиотехника). – Библиогр.: с. 150 Экземпляры: всего:6 – аул(4), счз1(1), счз5(1).

2. Дополнительная литература:

- 2.1. В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office под ред. В.Д. Разевига. - М.: СОЛОН-Пресс, 2003. -469с.: ил. - (Серия «Системы проектирования»).
- 2.2. И.П. Бушминский, А.Г.Гудков, В.Ф.Дергачев и др. Конструкторско технологические основы проектирования полосковых микросхем.: Под ред. И.П.Бушминского-М.:Радио и связь, 1987 – 272 с.: ил.
- 2.3. Р.Карсон Высокочастотные усилители: Пер.с англ./Под ред. В.Р. Магнушевского. -М.: Радио и связь, 1981. -216с., с ил.
- 2.4. Системы автоматизированного моделирования и проектирования технологических процессов и технологических маршрутов производства СВЧ МИС, оптимизация производства (основы САПР Synopsys TCAD): учеб. пособие / Д.Д. Зыков, К.Ю. Осипов. – Томск: В-Спектр, 2010. – 76 с.: ил.
- 2.5. Сычѳв А.Н. САПР и технология ВЧ и СВЧ устройств. Учебно-методическое пособие для студентов специальности 210201 – Проектирование и технология радиоэлектронных средств. Лабораторные работы.–Томск: Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектрон., 2012.– 28 с.
- 2.6. В.Фуско СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ.-М.: Радио и связь, 1990.-288с.:ил.
- 2.7. Малютин Н.Д., Сычев А.Н., Семенов Э.В., Лоцилов А.Г. Регулярные и нерегулярные многосвязные полосковые и проводные структуры и устройства на их основе: анализ, синтез, проектирование, экстракция первичных параметров. Томск. ТУСУР. 2012. 168 с.
- 2.8. Малютин Н.Д., Сычев А.Н., Семенов Э.В., Лоцилов А.Г. Регулярные и нерегулярные многосвязные полосковые и проводные структуры и устройства на их основе: расчет первичных параметров, импульсные измерения характеристик. Томск. ТУСУР. 2012. 218 с.

- 2.9. Андронов Е.В., Глазов Г.Н. Теоретический аппарат измерений на СВЧ: Т.1. Методы измерений на СВЧ. Томск:ТМЛ-Пресс, 2010.804с
- 2.10. Белецкий, А.Ф. Теория линейных электрических цепей. [Электронный ресурс] Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2009. — 544 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/710> — Загл. с экрана.
- 2.11. Ермуратский, П.В. Электротехника и электроника. [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2011. — 417 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/908> — Загл. с экрана
- 2.12. Сычев А.Н. Управляемые СВЧ устройства на многомодовых полосковых структурах. Томск. ТГУ. 2001. 318 с.
- 2.13. Сычев А.Н. Комбинированный метод частичных емкостей и конформных отображений для анализа многомодовых полосковых структур. Томск. ТУСУР. 2007. 138 с.
- 2.14. Смит.Ф. Круговые диаграммы в радиоэлектронике. Пер. с англ. М. Н. Бергера и Б. Ю. Капилевича М., «Связь», 1976. 144 с. с ил.
- 2.15. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р. Синтез четырехполосников и восьмиполосников на СВЧ М., «Связь», 1971. 196 с. с ил.
- 2.16. mirknig.com 2009/11/15/osnovy...v-microwave-office...
Автор: **Е.Е. Дмитриев** Название: Основы моделирования в **Microwave Office 2007** (на примерах) Год: 2008 Формат: PDF Размер: 3.2 Мб Для сайта: www.mirknig.com
- 2.17. [«Основы моделирования в Microwave Office 2009» \(Дмитриев Е. Е., 2010..kodges.ru\)](http://kodges.ru) Компьютерная литература Программы...-v-microwave-office...

3. Учебно-методические пособия

1. Системы автоматизированного моделирования и проектирования технологических процессов и технологических маршрутов производства СВЧ МИС, оптимизация производства (основы САПР Synopsys TCAD): учеб. пособие / Д.Д. Зыков, К.Ю. Осипов. – Томск: В-Спектр, 2010. – 76 с.: ил.
2. Красько Александр Сергеевич. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / А. С. Красько; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра радиоэлектроники и защиты информации. – Электрон. текстовые дан. – Томск, 2012 on-line; 64 с.: ил., табл. – Библиогр.: с. 25.