

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

\_\_\_\_\_ д.т.н. В.И. Туев

САПР И ТЕХНОЛОГИЯ СВЧ УСТРОЙСТВ  
Методические указания для курсовой работы  
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

2016

Коротаев В.М.

САПР и технология СВЧ устройств: Содержит методические указания по выполнению курсовой работы по курсу «САПР и технология СВЧ устройств». Профиль подготовки: Магистерская программа "Инновационные технологии в микро и нанoeлектронике". Направлению подготовки 11.04.03 – Конструирование и технология электронных средств/ В.М. Коротаев. – Томск: ТУСУР, 2016. – 14 с.

В описании содержатся необходимые теоретические аспекты и методика выполнения курсовой работы, контрольные вопросы, рекомендуемая литература

© Коротаев В.М., 2016

© Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники ТУСУР, 2016

## Содержание

Аннотация	2
Содержание	3
Цель курсовой работы	4
Требования к содержанию	5
Рекомендации по выполнению курсовой работы	6
Тематика курсовых работ	7
Методические указания по проектированию	8
Требования к оформлению пояснительной записки	9
Защита	10
Основная рекомендуемая литература	11

## **Цель курсового проектирования**

Целью курсового проектирования является закрепление теоретических знаний курса «САПР и технология СВЧ устройств» на примере разработки функциональных элементов и устройств СВЧ диапазона, освоение методологии проектирования на уровне схмотехнического моделирования, приобретение навыков работы с технической и справочной литературой, приобретения опыта оформления проектной документации.

## **Требования к содержанию**

Работа должна содержать основные теоретические положения, связанные с состоянием вопроса по методологии проектирования и расчета СВЧ устройств, предназначенных для реализации в виде гибридных и монолитных интегральных микрополосковых схем.

Должен быть произведен анализ технического задания. Выбрана структурная схема и основные активные элементы для реализации технического задания. Обоснована микрополосковая реализация ГИС.

Приведены результаты моделирования на уровне предварительного эскизного проектирования структуры устройства в целом. Обоснован выбор материала подложки для ГИС

Сделан обоснованный выбор технических решений на уровне принципиальных схем каскадов и конструктивных исполнений элементов пассивной части. Выбор активных компонентов СВЧ усилительных схем.

Приведены результаты численного моделирования принципиальных схем каскадов и топологических элементов согласующих цепей и устройства в целом.

На основании результатов предварительного эскизного проектирования и численного моделирования в среде САПР разработаны и представлены эскизы топологии подложек ГИС. Представлены эскизы подложек ГИС в сборе. Разработан эскиз компоновки устройства в целом.

Анализ результатов проектирования.

## **Рекомендации по выполнению курсовой работы**

Теоретический материал должен показать общий уровень технической эрудированности автора и отражать степень осведомленности в вопросах состояния технологий систем автоматизированного проектирования в технике СВЧ на современном уровне. Включая информацию по основным пакетам САПР СВЧ доминирующих в мировой практике проектирования в настоящее время. Краткие характеристики пакетов программ, отражающие их назначение, возможности и рекомендуемые области эффективного использования. Ограничения сфер применимости тех или иных пакетов САПР накладываемые алгоритмами и методами численного моделирования.

### **Анализ технического задания**

Выполнение работы следует начинать с анализа технического задания и изучения технической литературы. Список основной и рекомендуемой литературы приведен в конце методического пособия.

На основании анализа технического задания и информации из технической и справочной литературы выбирается техническое решение устройства на уровне структурной функциональной схемы с учетом наиболее подходящей по комплексу требований элементной базы активных компонентов СВЧ, а также обосновывается микрополосковая ГИС реализация. В процессе выбора обязательно производится сравнение конкурирующих вариантов по компонентам и по типам передающих линий пассивной части устройства (микрополосковая, щелевая, копланарная и т.п.). Все обоснования должны сопровождаться ссылками на литературу.

Более подробные рекомендации по анализу технического задания приведены в разделе «Методические указания по проектированию».

Моделирование на уровне предварительного эскизного проектирования структуры устройства в целом может быть произведено с использованием общеизвестных аналитических соотношений для оценки многокаскадных схем. Соотношения должны быть приведены в пояснительной записке. А для многовариантного просчета конкурентных решений рекомендуется использовать интегрированную математическую систему Matchcad или, как вариант, специализированный калькулятор RF, в котором эти соотношения запрограммированы. При обосновании материала

подложки ГИС для микрополосковой реализации согласующих цепей следует произвести сравнение конкурирующих материалов из числа наиболее подходящих по параметрам и доступных в рамках существующих технологий.

Обоснованный выбор технических решений на уровне принципиальных схем каскадов и конструктивных исполнений элементов пассивной и активной частей предполагает знание и сравнение основных схемотехнических решений усилительных каскадов СВЧ и функциональных элементов, реализуемых топологическими средствами. Основой для сравнения должна быть информация, полученная в процессе прослушивания курса лекций по тематике проектирования и самостоятельного изучения материалов по источникам, приведенным в списке основной и рекомендуемой литературы в конце методического пособия. Также могут быть использованы информационные материалы профильной тематики из периодической и иностранной печати, в том числе, доступной в электронной сети. Выбор активных компонентов, при необходимости, производится в пространстве информации предоставляемой основными производителями современной элементной базы активных приборов СВЧ. Обязательно произвести сравнение предельных возможностей гетероструктурных полевых транзисторов СВЧ выполненных на материалах GaAs и GaN. При сравнении принимать во внимание всю совокупность требований к активным элементам, вытекающим из их применения в качестве усилителей СВЧ различного типа (маломощных, усилителей мощности, буферных) и назначения (узкополосных связных, широкополосных измерительных, мощных радиолокационных).

Численное моделирование выбранных на этапе эскизного проектирования принципиальных схем каскадов производится средствами САПР с учетом возможности обоснованного применения пассивной элементной базы как сосредоточенного, так и распределенного типа. Функционально обособленные топологические элементы на распределенных микрополосковых линиях (типа направленных ответвителей) моделируются как отдельные подсхемы с учетом параметров выбранного материала диэлектрической подложки. В равной степени материал подложки должен учитываться при расчете всех элементов пассивной части схем, имеющих распределенный характер. В начале численного моделирования можно воспользоваться укрупненными функциональными моделями, которые

имеются в ресурсах пакета САПР. В частности, для оценки достижимого коэффициента усиления при двухстороннем согласовании можно использовать согласующий тюнер. Параметры импеданса тюнера в сечении усилительного элемента при этом теоретически однозначно определенная величина в приближении отсутствия обратной связи. Элементы распределенной цепи можно в первом приближении моделировать отрезком передающей линии заданным волновым сопротивлением. Анализ с упрощенными моделями элементов позволит убедиться в работоспособности схемы в целом и, будет облегчать поиск и устранение ошибок при расчетах на базе более достоверных и поэтому более сложных моделей элементов, учитывающих более мелкие, но не менее важные для практической реализации на СВЧ факторы.

Эскизы топологий сборок и компоновки могут быть выполнены средствами графических редакторов. Основное назначение эскизов наглядная демонстрация результатов проектирования.

Анализ результатов проектирования. В заключение следует провести сравнение параметров и характеристик разработанного устройства с заданными в ТЗ. Прокомментировать компромиссные решения, если они возникли в процессе проектирования. Указать на моменты, которые вызвали трудности и сопровождалось максимальными трудозатратами. Какие требования ТЗ не удалось выполнить в полной мере и почему. Оценить степень соответствия и полноты характеристик разработанного устройства требованиям ТЗ. Указать возможности и направления совершенствования с целью улучшения свойств и технико-экономических показателей.

### **Тематика курсовых работ**

В качестве курсовой работы по курсу «САПР и технология СВЧ устройств» предлагается спроектировать активный или пассивный функциональный элемент или узел СВЧ техники.

Примерный перечень основных технических требований к усилителю приведен в таблице 1. В выдаваемом на проектирование задании могут содержаться дополнительные требования.

\* - с учетом профессиональной ориентации и опыта работы студент может выбрать любую тему при согласовании с преподавателем. Если

рекомендуемая тема курсовой работы не совпадает с профилем работы студента, то по согласованию с преподавателем она может быть изменена на другую при соблюдении общих требований по содержанию и рекомендаций по выполнению работы с применением САПР.

Таблица 1 Варианты заданий

№ Зада- ния	Требование ТЗ к основным электрическим параметрам					
	Тип усилитель-ного элемента	Диапазон рабочих частот, ГГц	Коэффици-цент усиления, дБ	Коэффи-циент шума, дБ	Выходная мощность 1дБ, дБм	Согласова-ние КСВН <sub>вх/вых</sub>
1	ЕРА025	8-9	20	3	25	2

Общие требования к конструктивному исполнению (для всех вариантов)

Разрабатываемый модуль должен быть выполнен в виде отдельного блока с учетом специфики схемотехники и технологии СВЧ.

### Методические указания по проектированию

На стадии выбора структурной схемы расчеты могут выполняться с использованием общетеоретических соотношений и аналитических выражений, используемых в практике проектирования в настоящее время, при этом обязательна ссылка на литературу.

Численные расчеты в среде САПР должны предварительно оговариваться целями этих расчетов, сопровождаться иллюстративным графическим материалом, отражающим начальные характеристики, при необходимости промежуточные параметры и достигнутые характеристики. Все приводимые рисунки должны сопровождаться комментариями с позиций достижения целей этих расчетов и обеспечения требований ТЗ.

Использование конструктивных функциональных элементов СВЧ также должно быть проиллюстрировано их характеристиками полученных в результате расчетов с учетом свойств материалов и геометрических размеров.

При расчетах согласующих цепей и элементов питания в микрополосковой технологии их реализации следует учитывать ограничения практической реализуемости на геометрию полосковых линий и связанные с технологией ограничения на зазоры между полосковыми линиями.

Расчет топологических элементов должен сопровождаться рисунком (иллюстрацией) вида этого элемента на реальной топологии.

### **Требования к оформлению пояснительной записки [20]**

1. Оформление пояснительной записки (ПЗ) должно удовлетворять общим требованиям к текстовым документам согласно ЕСКД (ГОСТ 2.105-68 и 2.106-68) и ОС ТУСУР 6.1. [15]. ПЗ оформляется на листах формата А4 в редакторе WORD, шрифт 14 через 1-1,5 интервала. Текст размещается на одной стороне листа. Задание подшивается после титульного листа, затем идут содержание (с основной надписью), введение и т.д. В содержание вносятся только наименования разделов и подразделов. Введение и заключение номеруются. Разделы, подразделы и пункты номеруются, а их заголовки отделяются от текста дополнительными интервалами.

2 Титульный лист выполняется согласно ОС ТУСУР 6.1, приложение А.

3 При выборе и обосновании принимаемых конструктивных решений, конструкционных материалов, физических величин, расчетных коэффициентов и т.д. необходимо делать ссылки на литературу с указанием номера источника (из списка), а также номера страницы, таблицы, рисунка, например: [1, с.612, таблица ПЗ.7], [2, с.83, рисунок П4], [3, с.65].

4 Таблицы и рисунки (графики), представленные в пояснительной записке должны быть пронумерованы и подписаны согласно ОС ТУСУР 6.1. Номеруются по разделам и подписываются таблицы сверху, а рисунки снизу. Например: Таблица 2.1 – Результаты предварительных расчетов АЧХ. Рисунок 3.1 Схема усилительного каскада. На все таблицы и рисунки должны быть ссылки в тексте ПЗ.

5. В расчетной части ПЗ должна соблюдаться следующая последовательность записи:

- краткие пояснения цели расчета и ссылка на литературу (если расчет производится на основании аналитических выражений);
- выражение в общем виде (формула) и номер формулы в круглых скобках по правому полю листа;
- расшифровка вновь введенных условных (буквенных) обозначений физических величин, а для коэффициентов, взятых из справочной литературы, должна быть еще ссылка на источник, (литературу);
- запись выражения в числовых значениях физических величин в той же последовательности, что и их условные обозначения в формуле;
- результат расчета – числовое значение и размерность через пробел.

В конце расчёта должны быть сделаны краткие выводы.

6. В заключении необходимо дать краткий анализ принятых схмотехнических и конструктивных решений, провести сравнение достоинств и недостатков разработанной конструкции с существующими прототипами, сделать выводы о реализации технического задания и указать возможные пути совершенствования разработанного устройства.

7 Список литературы, использованный при курсовом проектировании, должен быть составлен в соответствии с требованиями ГОСТ 19600-74, примеры см. в Приложении Ж ОС ТУСУР [15].

### **Защита курсовой работы [20]**

Защита разрешается только при наличии зачетной книжки и допуска руководителя проектирования к защите.

Защита курсовой работы имеет своей целью выявить и оценить:

- качество знаний студента, полученных при выполнении курсовой работы;
- умение технически грамотно принимать и обосновывать схмотехнические и конструктивные решения;
- умение пользоваться технической и справочной литературой;
- качество оформления ПЗ и соблюдение требований стандартов;

-знание и умение использовать системные средства автоматизации инженерного труда и т.д.

Вместе с тем защита позволяет оценить степень владения студентом теоретическим материалом по теме курсовой работы.

При оценке курсовой работы учитывается:

- качество оформления пояснительной записки;
- правильность и обоснованность принятых конструктивных решений;
- качество расчетов и использование технических средств;
- качество защиты, умение обосновывать и защищать принятые решения.

Если защита прошла неудовлетворительно, то работа возвращается на доработку, а студенту предлагается обратить внимание на конкретные недочеты, выявленные в процессе защиты. В случае повторной неудовлетворительной защиты заведующим кафедрой назначается комиссия по приему курсовой работы. При несогласии с оценкой комиссии по защите студент может опротестовать её, подав заявление на имя заведующего кафедрой. В таком случае заведующий кафедрой назначает комиссию по защите под своим председательством. Оценка комиссии является окончательной.

Студенты, не защитившие курсовую работу, к экзаменационной сессии не допускаются.

### **Основная рекомендуемая литература**

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.
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.
3. 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).

Дополнительная литература:

1. 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.

2. Новиков, Ю.Н. Основные понятия и законы теории цепей, методы анализа процессов в цепях. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2011. — 368 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/691> — Загл. с экрана.

3. 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.

4. 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.

5. 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»).

6. 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.

7. Р. Карсон Высококачественные усилители: Пер. с англ./Под ред. В.Р. Магнушевского.- М.: Радио и связь, 1981.-216с., с ил.

8. 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.

9. Сычёв 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.
10. В. Фуско СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.: ил.
11. Малютин Н.Д., Сычев А.Н., Семенов Э.В., Лошилов 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.
12. Малютин Н.Д., Сычев А.Н., Семенов Э.В., Лошилов 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.
13. Андронов Е.В., Глазов Г.Н. Теоретический аппарат измерений на СВЧ: Т.1. Методы измерений на СВЧ. Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. 804 с
14. Сычев А.Н. Управляемые СВЧ устройства на многомодовых полосковых структурах. Томск. ТГУ. 2001. 318 с.
15. Сычев А.Н. Комбинированный метод частичных емкостей и конформных отображений для анализа многомодовых полосковых структур. Томск. ТУСУР. 2007. 138 с.
16. Смит.Ф. Круговые диаграммы в радиоэлектронике. Пер. с англ. М. Н. Бергера и Б. Ю. Капилевича М., «Связь», 1976. 144 с. с ил.
17. ОС ТУСУР 6.1-97. Система образовательных стандартов. Работы студенческие учебные и выпускные квалификационные. Общие требования и правила оформления. – Томск: ТУСУР, 1997. – 38 с.
18. 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.

19. MathCAD, Microwave Office.

20. Кузевных, Николай Иванович.

Курсовое проектирование [Электронный ресурс] : методическое пособие по выполнению курсовой работы по дисциплине “Перспективная элементная база РЭС” / Н. И. Кузевных ; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). - Электрон. текстовые дан. - Томск : [б. и.], 2011. - on-line, 40 с. - Б. ц.