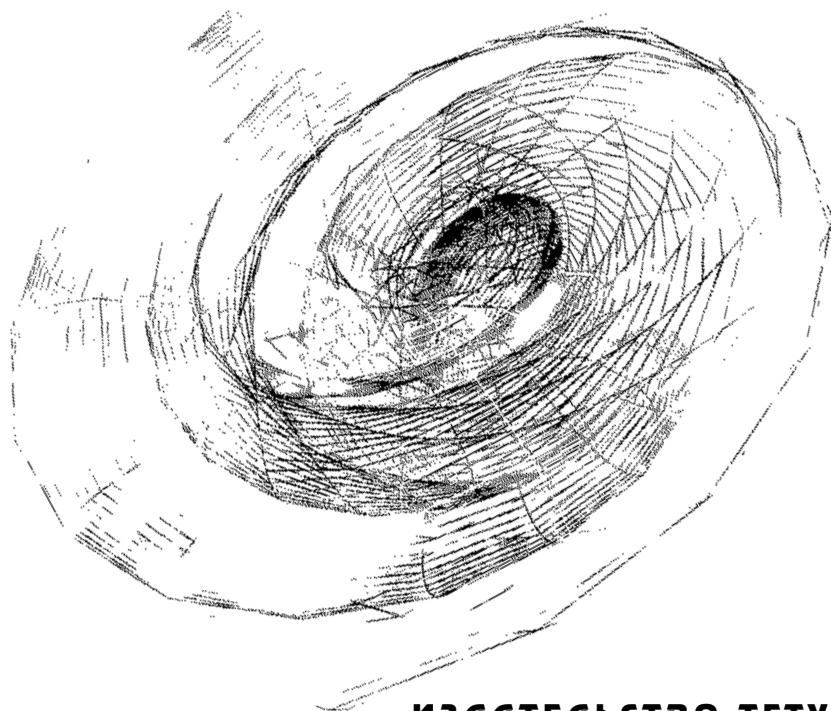


ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА. УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

Учебное издание

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА. УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ

Методические указания

Составитель МАЛКОВ Николай Аркадьевич

Редактор В.Н. Митрофанова
Компьютерное макетирование М.А. Филатовой

Подписано в печать 27.11.2006
Формат 60 × 84 / 16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
1,86 уч.-изд. л. Тираж 100 экз. Заказ № 698

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета,
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14
Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА. УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ

Методические указания по курсовому проектированию
для студентов 4, 5 курсов очного и заочного отделений
специальностей 210201, 210303



УДК 621.385.6(075)

ББК ← 845я73-5

М197

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент

Доктор физико-математических наук, профессор
Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина
В.А. Федоров

Составитель

Н.А. Малков

М197 Техническая электродинамика. Устройства СВЧ и антенны : методические указания по курсовому проектированию / сост. Н.А. Малков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 32 с. – 100 экз.

Методические указания содержат задания, порядок выполнения и оформления курсового проекта. Предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения, специальностей 210201, 210303.

УДК 621.385.6(075)

ББК ← 845я73-5

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2006

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с учебным планом студенты 4, 5 курсов специальностей 210201 «Проектирование и технология РЭС» и 210303 «Радиоэлектронные средства бытового назначения» выполняют курсовой проект.

Целью выполнения курсового проекта является:

- развитие навыков самостоятельной работы с научно-технической и справочной литературой по теории и технике антенн и устройств СВЧ;
- систематизация, закрепление и расширение теоретических знаний по дисциплине;
- освоение передовых методов инженерного проектирования современных антенн и устройств СВЧ, методов научных исследований;
- приобретение практических навыков применения ЭВМ в процессе проектирования конкретных антенн и устройств СВЧ;
- углубление конструкторско-технологической подготовки.

Курсовой проект выполняется в соответствии с полученным заданием, которое выдается каждому студенту индивидуально. Задания на курсовой проект приведены в табл. 1 – 11.

Перед выполнением курсового проекта студент обязан ознакомиться с требованиями данных методических указаний и в процессе выполнения должен пользоваться не только рекомендованной, но и любой другой доступной ему учебной и технической литературой открытого пользования. В качестве основной литературы рекомендуются учебники [1, 7, 43], учебные пособия [23, 24, 25, 26, 27, 30, 33].

При работе над курсовым проектом особое внимание должно быть обращено на использование последних достижений отечественной и зарубежной науки и техники в области антенн и устройств СВЧ.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

Объектом проектирования могут быть как антенно-фидерные системы, так и отдельные устройства СВЧ.

В соответствие с программой дисциплины курсовой проект предусматривает эскизное проектирование и электрический расчет следующих типов антенн и устройств СВЧ:

- рупорных (E , H -секториальных, пирамидальных и др.);
- линзовых (замедляющих и ускоряющих);
- зеркальных (параболоидов вращения, параболических цилиндров и др.);
- антенн радиорелейных линий (РРЛ) связи (рупорно-линзовых, рупорно-параболических, перископических);
- антенн бегущей волны (АБВ) (ромбических, директорных, типа «волновой канал», антенны с элементами связи, спиральных);
- модулей РЛС, СТВ, ССС;
- микроблоков СВЧ, КВЧ;
- частотно-независимых антенн (логопериодических, логоспиральных);
- волноводно-щелевых (резонансного и нерезонансного типа с различным расположением щелей);
- многоэлементных антенных решеток с излучающими элементами разного типа;
- типовых элементов и узлов СВЧ тракта, согласующих переходов, делителей мощности, вращающихся сочленений, мостовых схем, частотно-избирательных фильтров, управляемых фазовращателей, направленных ответвителей, излучающих модулей, приемопередающих модулей, измерительных схем СВЧ, блоков СВЧ устройств.

Проектирование каждого из перечисленных выше устройств имеет свои особенности, обусловленные спецификой и условиями их работы, а также требованиями, предъявляемыми к ним. Эти требования можно разделить на следующие основные группы:

- функциональные (назначение устройства);
- электрические (диапазон рабочих частот, излучаемая или передаваемая мощность, коэффициенты усиления и направленного действия, ширина диаграммы направленности, амплитудные, фазовые, частотные характеристики, вид поляризации, коэффициент бегущей волны в фидерном тракте и др.);
- эксплуатационные (условия размещения на местности или на каком-либо объекте, простота и удобство эксплуатации, контроля и ремонта, устойчивость к перегрузкам, вибрациям, повышенной температуре, влажности, воздействию факторов оружия массового поражения и др.);
- конструктивные (вес и габариты, механическая прочность);

- экономические (стоимость).

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Задание на курсовой проект представляет собой совокупность основных технических требований, предъявляемых к проектируемому устройству, целиком определяют те свойства проектируемого устройства, которые необходимы для выполнения поставленной перед ним задачи. Все дополнительные требования (например, требования электромагнитной совместимости – ЭМС и др.) могут быть определены и уточнены в процессе выполнения работы.

Задание на курсовой проект содержит тему курсового проекта, исходные данные и перечень вопросов, подлежащих разработке. В качестве исходных данных могут быть заданы:

- тип антенны и ее назначение;
- рабочий диапазон волн (частот) или рабочая длина волны (частота);
- мощность, подводимая к антенне, или излучаемая антенной;
- мощность, передаваемая антенно-фидерному тракту;
- ширина диаграммы направленности в двух главных плоскостях или коэффициент направленного действия;
- уровень боковых лепестков;
- амплитудное или фазовое распределение в антенне;
- число излучателей (или размеры) антенны;
- угловое положение главного лепестка диаграммы направленности (сектор или угол сканирования);
- требуемая поляризация электромагнитного поля;
- длина линии передачи (от передатчика или приемника до зажимов антенны);
- величина затухания в линии передачи или минимально допустимая величина коэффициента бегущей волны;
- способ обзора пространства радиолокационных антенн (круговой, секторный, сканирование и др.).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект включает проектирование антенны или устройства СВЧ, расчет основных электрических и конструктивных параметров проектируемого устройства, разработку чертежа общего вида или конструкции одного из узлов. Работа по проектированию проводится на базе исходных данных, которые содержатся в техническом задании на проектируемое устройство, и состоит из следующих основных этапов:

- эскизного проектирования антенны или устройства СВЧ;
- электрического и конструктивного расчета проектируемого устройства;
- технико-экономической оценки результатов проектирования;
- оформления расчетно-пояснительной записки.

На этапе эскизного проектирования студент обязан:

- ознакомиться с рекомендуемой литературой;
- изучить технические требования к проектируемому устройству;
- произвести сравнительный анализ существующих устройств, удовлетворяющих поставленным требованиям;
- изучить существующие принципы построения и методы теоретического исследования этих устройств;
- технически обосновать выбор типа антенны, устройства СВЧ или выполнить обоснование заданного типа устройства;
- выбрать и обосновать схемное решение проектируемого устройства;
- определить, от каких параметров проектируемого устройства зависят его выходные характеристики и обосновать, какими из них и в каких пределах требуется варьировать, чтобы удовлетворить заданию на проектирование;
- сформулировать критерий оценки оптимальности полученного варианта проектного решения,

На втором этапе проектирования необходимо:

- рассчитать основные электрические и конструктивные параметры проектируемого устройства, провести их оценку и определить в какой мере это устройство удовлетворяет заданным требованиям;
- выполнить, в случае неудовлетворительных результатов оценки, вариации необходимых параметров и повторить эскизное проектирование до получения приемлемого проектного решения;
- рассчитать и построить диаграммы направленности антенны в главных плоскостях;
- рассчитать и построить частотную характеристику устройства СВЧ;

- разработать и описать конструкцию проектируемого устройства и выполнить все необходимые для этого чертежи;
- выработать рекомендации по настройке, проверке и особенностям эксплуатации разработанного устройства;
- сделать выводы о пригодности разработанного устройства для выполнения поставленной задачи.

Значительно повысить производительность труда проектанта позволяет применение ЭВМ в проектировании. Поэтому при выполнении курсового проекта применение ЭВМ является обязательным.

В математическом обеспечении находятся программы, разработанные на кафедре КРЭМС ТГТУ, позволяющие исследовать диаграммы направленности антенн, а именно:

- находить координаты всех лепестков диаграммы;
- находить направления нулевого излучения;
- определить ширину главного лепестка;
- табулировать диаграмму направленности.

Для исследования устройств СВЧ имеется программа, позволяющая синтезировать и табулировать частотные характеристики сложных устройств СВЧ по известным характеристикам элементарных восьмиполосников.

Технико-экономическая оценка результатов проектирования сводится к сопоставлению основных параметров устройства, полученных в результате проектирования с заданными параметрами, а также к оценке эффективности применения ЭВМ при решении задач проектирования.

Примечание: Если в процессе выполнения курсового проекта студент пришел к выводу о необходимости уточнения или изменения технических требований, то свои предложения он должен обсудить с преподавателем.

ПЛАНИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

На выполнение курсового проекта по учебному графику отводится 14 недель. Учитывая, что курсовой проект относится к самостоятельному виду работ, выполняемых студентами во внеаудиторное время, студент обязан составить и согласовать с преподавателем график выполнения курсового проекта и заканчивать недельные этапы в указанные сроки. Ниже рекомендуется последовательность выполнения этапов курсовой работы и приводится приближенная оценка в процентах по неделям. При этом содержание этапов приведено на примере применительно к проектированию зеркальных антенн. В случае других заданий содержание этапов оказывается практически таким же.

1 неделя – 0 %

Получение задания на проектирование и ознакомление с основными требованиями по его выполнению (по методическим указаниям к выполнению курсовой работы).

2 неделя – 5 %

Выбор и обоснование типа проектируемого устройства, выбор схемы и конструкции, определение размеров. Например, задана зеркальная антенна. Выбирается параболоид вращения, параболический цилиндр или зеркало специальной формы и т.д. Если задана многовибраторная антенна, то выбирается количество вибраторов, число этажей, количество секций и т.д.

3 неделя – 10 %

Выбор и обоснование облучателя, расчет его основных электрических и конструктивных параметров.

4 неделя – 15 %

Расчет распределения тока (поля) на излучающей поверхности, которое обеспечивает получение заданных направленных свойств. Расчет диаграммы направленности и коэффициента направленного действия (КНД).

5 неделя – 5 %

Расчет сопротивления излучения и входного сопротивления антенны и облучателя.

6 неделя – 10 %

Выбор типа линии передачи, электрический и конструктивный расчет ее элементов и узлов (соединительные фишки, разъемы, фланцы, изгибы, вращающиеся сочленения, переходы и т.д.).

7 неделя – 5 %

Расчет согласования в полосе частот, выбор и расчет согласующего устройства.

8 неделя – 10 %

Конструктивный расчет антенны, ее элементов и узлов.

9 неделя – 15 %

Выполнение чертежей с конструктивной разработкой одного из узлов антенного устройства (уточняется преподавателем).

10 неделя – 10 %

Выполнение чертежа с общим видом (схемой) антенно-фидерного устройства и диаграммой направленности.

11 неделя – 15 %

Оформление расчетно-пояснительной записки и сдача на проверку.

12 неделя

Исправление замечаний руководителя, сдача на повторную проверку записки и чертежей.

13 неделя. Защита**14 неделя. Защита**

Примечание: В целях успешного выполнения плана проектирования результаты работы за неделю должны представляться на проверку руководителю.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Оформленный курсовой проект должен состоять из следующих частей:

- расчетно-пояснительной записки объемом от 25 до 30 страниц текста;
- чертежа общего вида антенно-фидерного устройства антенны, сборочный чертеж функционального узла или модуля, блока и рабочие чертежи деталей (4 – 6 шт.)

ОФОРМЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Весь основной материал курсового проекта (текст, технические работы, графики и т.д.) должны быть оформлены в виде расчетно-пояснительной записки с учетом существующих требований к технической документации. Согласно СТП ТГТУ–97 расчетно-пояснительная записка является отчетным научно-техническим документом, который должен содержать исчерпывающие систематизированные сведения о выполненной работе. Общими требованиями к расчетно-пояснительной записке являются:

- четкость и логическая последовательность изложения материала;
- убедительность аргументации;
- конкретность изложения результатов работы.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать:

- титульный лист (1 страница);
- аннотацию (1 страница);
- содержание (1 страница);
- введение (1–2 страницы);
- основную часть (20 – 25 страниц);
- заключение (выводы по работе) (1–2 страницы);
- список использованных источников (1 страница);
- приложение (1 – 5 страниц).

Аннотация должна отражать: объект исследования; цель работы; метод исследования; полученные результаты; основные конструктивные и технико-эксплуатационные характеристики; область применения.

Введение должно содержать оценку (анализ) современного состояния решаемой проблемы применительно к теме курсовой работы, цели и задачи проектирования.

Основная часть должна отражать содержание работы в целом и включать следующие этапы:

- формулирование основных требований к проектируемому устройству;
- выбор и обоснование принятого направления исследования;
- характер и содержание выполняемых, теоретических исследований, методы исследований, методы расчета;
- обоснование выбора типа и конструкции устройства (антенны, элементов и узлов фидерного тракта);
- электрический и конструктивный расчет элементов и узлов проектируемого устройства;
- описание выбранной конструкции, применяемых материалов, покрытий и т.д.;
- технико-экономическую оценку результатов проектирования.

В заключении необходимо привести краткие выводы по результатам выполненной работы, дать оценку технико-экономической эффективности проектирования, а также указать на народно-хозяйственную, научную, социальную значимость результатов работы.

В приложения следует включать материал о патентных исследованиях, спецификации, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, иллюстрации и таблицы вспомогательного характера.

Основные требования к оформлению расчетно-пояснительной записки определяются ГОСТ 7.32–81 и сводятся к следующему:

– расчетно-пояснительная записка должна быть написана разборчиво темными чернилами на листах стандартного формата А4 (210×297 мм) и сброшюрована в отдельную тетрадь. Записи следует вести на одной стороне листа, соблюдая размеры полей; слева 30 мм; справа – 10 мм; сверху – 15 мм; снизу – 20 мм;

– текст основной части пояснительной записки должен состоять из логически законченных разделов и подразделов. Заголовки разделов должны быть четкими и краткими, расположены симметрично тексту и оформлены прописными буквами. Заголовки подразделов необходимо писать с абзаца (15 – 17 мм) строчными буквами (кроме первой прописной). Заголовки от текста отделяют интервалом 15 мм.

Страницы пояснительной записки нумеруют арабскими цифрами. Титульный лист включают в общую нумерацию отчета, но номер на нем не ставят. На остальных страницах номер проставляют в правом верхнем углу.

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах пояснительной записки и обозначаться арабскими цифрами с точкой в конце. Введение и заключение не нумеруют.

Подразделы нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого раздела. Номер подраздела должен состоять из номера раздела и подраздела разделенных точкой. В конце номера подраздела ставят точку, например: «1.2» (второй подраздел первого раздела).

Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы, графики), которые расположены на отдельных страницах пояснительной записки, включают в общую нумерацию страниц. Таблицу, рисунок или чертеж, размеры которого больше формата А4, учитывают как одну страницу. Листы формата более А4 помещают в конце отчета после заключения в порядке их упоминания в тексте.

Иллюстрации (кроме таблиц) обозначают словом «Рис.» и нумеруют последовательно арабскими цифрами в пределах раздела за исключением иллюстраций, приведенных в приложениях.

Номер иллюстрации (за исключением таблиц) должен состоять из номера раздела и порядкового номера иллюстраций, разделенных точкой. Например: Рис. 1.2 – второй рисунок первого раздела). За номером иллюстрации может следовать название иллюстрации и поясняющий текст.

Таблицы нумеруют последовательно арабскими цифрами (за исключением таблиц, приведенных в приложениях) в пределах раздела. В правом верхнем углу таблиц над соответствующим заголовком помечают надпись «Таблица» с указанием номера таблицы. Номер таблицы должен состоять из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой, например: «Таблица 1.2» (вторая таблица первого раздела). При переносе части таблицы на другой лист слово «Таблица» и номер ее указывают один раз справа над первой частью, над другими частями таблицы пишут слово «Продолжение табл. 1.2».

Формулы нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе разделенных точкой. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках, например: (3.1) (первая формула третьего раздела).

Примечания к тексту и таблицам, в которых указывают справочные и поясняющие данные, нумеруют последовательно арабскими цифрами. Если примечаний несколько, то после слова «Примечания» ставят двоеточие, например:

Примечания:

1.....

2.....

Иллюстрации должны быть выполнены аккуратно и четко черной тушью или чернилами (допускается выполнение карандашом) на белой непрозрачной бумаге или на миллиметровке. Иллюстрации располагают после первой ссылки на них и должны иметь наименование. При необходимости иллюстрации, снабжают поясняющими данными (подрисуночный текст). Наименование иллюстрации помещают над ней, поясняющие данные под ней.

Таблицы оформляют в соответствии с ГОСТ 2.105–79. Каждая таблица должна иметь заголовок. Заголовок и слово «Таблица» начинают с прописной буквы. Заголовок не подчеркивается. Таблицу размещают после первого упоминания о ней в тексте. При переносе таблицы на другой лист заголовок помещают только над ее первой частью.

Уравнения и формулы следует выделять из текста свободными строками. Выше и ниже каждой формулы должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не умещается в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков (+), минус (–), умножения (×) и деления (:).

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, следует приводить непосредственно под формулой, начиная первую строку объяснения со слова «где» без двоеточия. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки.

Условные обозначения физических величин должны соответствовать ГОСТ 8.417–81 (СТ СЭВ 1052–78). Все величины должны выражаться в стандартных единицах международной системы СИ.

Ссылки в тексте должны быть сделаны на все таблицы, иллюстрации, формулы, используемые источники, приложения.

При оформлении ссылок на таблицы, слово «Таблица» в тексте пишут полностью, если таблица не имеет номера, и сокращенно, если имеет номер, например: табл. 1.3.

Ссылки на иллюстрации указывают порядковым номером иллюстрации, например: ... на рис. 1.2.

Ссылки на формулы указывают порядковым номером формулы в скобках, например: ... в формуле (2.1).

При ссылках на ранее упомянутые разделы, формулы, таблицы и иллюстрации следует указывать сокращенно слово смотри, например: (см. табл. 1.3), (см. рис. 2.1), (см. ил. 5.13) и т.д.

Ссылки на источники указывают порядковым номером по списку источников, который помещают в конце пояснительной записки.

Номер источника выделяют двумя квадратными скобками, например: ... в [10].

В тексте пояснительной записки необходимо указывать источник, из которого взята та или иная формула или необходимые для расчета таблицы и графики, например: [8, (1.5)] (формула (1.5) приведена в [8]).

Примечание. В пояснительной записке следует использовать сокращение русских слов и словосочетаний по ГОСТ 7.12–77 Применение сокращенных слов, кроме, общепринятых, не допускается.

Расчеты диаграмм направленности антенн и частотных характеристик СВЧ устройств должны быть выполнены с применением ЭВМ.

Примечание. На ЭВМ могут быть рассчитаны и другие параметры (например, КНД антенн, затухание в линиях передачи и т.д.). В тексте пояснительной записки необходимо указать тип ЭВМ, на которой выполнялся расчет, и язык программирования, привести формулу, по которой произведен расчет, блок-схему алгоритма и программу. Результаты расчетов представляют в виде данных, отпечатанных буквопечатающим устройством ЭВМ с пометкой о машинном времени, затраченном на расчет. В пояснительной записке должны быть приведены графики диаграмм направленности антенн и частотных характеристик устройств СВЧ. По результатам расчетов необходимо сделать выводы.

Распечатки с ЭВМ должны соответствовать формату А4 (при необходимости могут быть разделены) и могут быть оформлены в виде приложения.

Приложения оформляют как продолжение пояснительной записки и располагают в конце записки в порядке появления ссылок на них в тексте. В форме приложения могут быть даны громоздкие и трудоемкие расчеты, представляющие определенный интерес для данной работы, а также таблицы. Приложением может быть общая схема антенно-фидерного устройства со спецификацией и диаграммой направленности, общий вид и конструкция одного из элементов или узлов антенно-фидерного тракта с детализацией и спецификацией. Рисунки, таблицы, формулы, помещаемые, в приложениях, нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого приложения, например: «Рис. П. 1.1» (первый рисунок первого приложения).

В конце пояснительной записки приводят список использованных источников, на которые в тексте делают ссылки. Источники следует располагать в порядке их появления в тексте. Оформление списка использованных источников следует осуществлять в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1–76. В качестве примера оформления можно использовать список источников, приведенных в методических указаниях.

Графическая часть курсовой работы должна выполняться в соответствии с ЕСЭД. Конструктивный чертеж антенны или устройства СВЧ выполняют простым карандашом на ватмане формата А1 (812×576 мм) по ГОСТ 2.702–75. Конструктивный чертеж выполняют либо в двух проекциях (вид сверху и вид спереди), либо в объемном изображении (аксонометрии) с обязательным указанием габаритных размеров.

Выбор узла антенной системы для детальной конструктивной разработки проводится по указанию руководителя курсовой работы. В качестве узла может быть выбран какой-либо элемент антенны (например, облучатель в параболической антенне), либо элемент или узел фидерного тракта (например, согласующее или переходное устройство, вращающееся сочленение, система управления антенной и т.д.). Конструктивная разработка узла предусматривает детализацию и спецификацию к конструктивному чертежу.

Конструктивные листы с общим видом (схемой) должны иметь подписи исполнителя и консультанта.

При выборе фидера антенны необходимо брать стандартные коаксиальные кабели и волноводы по ГОСТ 17426–72 и ГОСТ 11326.0–71

Расчетные диаграммы направленности антенн могут быть построены в декартовой или полярной системе координат. Если ширина главного лепестка больше $10...15^\circ$, а уровень боковых лепестков составляет не меньше 0,1 от основного, можно пользоваться полярной системой координат.

При меньших уровнях боковых лепестков и меньшей ширине главного лепестка диаграммы направленности необходимо строить в прямоугольных координатах.

Сборочный чертеж проектируемого устройства, детализированные чертежи его элементов и узлов, в также расчетные кривые (диаграммы направленности, частотные характеристики) должны быть размещены на одном листе формата А1.

С целью облегчения труда проектанта все чертежи рекомендуется сначала выполнить на миллиметровой бумаге.

Все графические работы выполняют в стандартных масштабах, т.е. единице длины (1 см) должно соответствовать 1×10^n ; 2×10^n ; или 5×10^n единиц данной физической величины. На графиках необходимо указывать размерности величин.

ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Не позднее, чем за три дня до защиты, расчетно-пояснительная записка представляется на проверку руководителю, который делает замечания на полях. После проверки проектант делает исправления замеченных ошибок на специально вкладываемых для этой цели листах. Замечания руководителя стирать не разрешается. Записка считается принятой после новой проверки и подписи руководителя «к защите».

Курсовая работа защищается перед комиссией в составе двух-трех преподавателей, из которых один является консультантом по данной работе.

Во время защиты студент должен в течение 8 – 10 мин четко сформулировать содержание задания на проектирование, порядок его выполнения, результаты проделанной работы и основные выводы. Вопросы задаются как преподавателем, так и студентами, присутствующими на защите. После ответов на вопросы членами комиссии выносится решение об оценке. При определении оценки учитываются в обязательном порядке как результаты защиты, так и качество оформления пояснительной записки и графических работ, а также степень самостоятельности выполнения курсовой работы и своевременность завершения всех этапов проектирования.

ЗАДАНИЕ 1

Спроектировать пирамидальную рупорную антенну кругового обзора для обнаружения целей в воздушном пространстве. Средняя рабочая частота $f_{cp} = \dots$ ГГц. Коэффициент направленного действия $D = \dots$. Диапазон рабочих частот $2\Delta f = 0,2f_{cp}$. Мощность передатчика в импульсе $P_{и} = \dots$ кВт. Поляризация излучаемого поля – вертикальная. Длина фидерной линии – 5 м. КБВ в питающем фидере не должен быть меньше 0,85.

В расчете необходимо:

- 1) выбрать тип питающего фидера и рассчитать его конструктивные и электрические параметры;
- 2) рассчитать конструктивные параметры антенны;
- 3) рассчитать амплитудное и фазовое распределение поля в раскрытии рупора;
- 4) проверить фазовые искажения в раскрытии рупора. Если они превышают допустимые, произвести коррекцию фазы;
- 5) рассчитать оптимальный рупор;
- 6) рассчитать диаграммы направленности антенны в двух главных плоскостях;
- 7) определить ширину главного лепестка в обеих плоскостях;
- 8) определить величину коэффициента усиления антенны на крайних частотах диапазона;
- 9) рассчитать вращающееся сочленение для кругового обзора;
- 10) выполнить согласование антенны с питающим фидером.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенны;
- 2) графики диаграммы направленности антенны.

Числовые значения исходных данных приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5
f_{cp} (ГГц)	3	37	7	10	12
$P_{и}$ (кВт)	20	15	32	35	42
D	60	70	80	90	100

ЗАДАНИЕ 2

Спроектировать рупорно-линзовую антенну для радиорелейной линии связи, работающую в диапазоне частот $f \pm \Delta f$ ГГц. Линза выполнена из искусственного диэлектрика. Антенна должна обеспечить на выходе приемника мощность сигнала $P_{пр} = \dots$ мкВт, при мощности передатчика $P = 3$ Вт. Длина ретрансляционного участка $r = \dots$ км. Высота подъема передающей и приемной антенны одинакова и равна 60 м. Длина фидера между антенной и передатчиком (или приемником) – 5 м. Поляризация излучаемого поля – вертикальная. Ширина диаграммы направленности в двух главных плоскостях должна быть примерно одинаковой.

В расчете необходимо:

- 1) выбрать тип и конструктивные размеры фидера и рассчитать его затухание на средней и крайних частотах диапазона;
- 2) определить требуемые коэффициент усиления и коэффициент направленного действия антенны на средней частоте и его изменение в полосе частот;
- 3) рассчитать конструктивные размеры антенны;
- 4) рассчитать и построить профиль линзы в плоскостях E и H ;
- 5) рассчитать диаграммы направленности антенны в плоскостях E и H ;
- 6) рассчитать и построить амплитудное и фазовое распределение поля в раскрыве антенны;
- 7) рассчитать технические допуски на изготовление линзы;
- 8) оценить влияние линзы на облучатель и предусмотреть устройство для снижения этого влияния.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенны;
- 2) графики диаграммы направленности антенны.

Числовые значения исходных данных приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вариант	1	2	3	4	5
f_{cp} , ГГц	3,4	3,8	5,6	8	11
Δf , %	10	10	7	5	5
r , км	40	42	42	46	49
$P_{пр}$, мкВт	6,4	7,9	10	13,5	12,8

ЗАДАНИЕ 3

Спроектировать рупорно-линзовую антенну с металло-пластинчатой линзой, предназначенную для мало-канальной радиорелейной линии связи. Антенна работает на частоте $f_{cp} \dots$ ГГц и должна обеспечивать в месте приемной станции напряженность электрического поля $E = \dots$ мВ/м при мощности передатчика – $P = 5$ Вт. Диапазон рабочих частот $2\Delta f = 20\%$. Высота передающей и приемной антенн одинакова и равна $h = \dots$ м. Длина ретрансляционного участка $r = \dots$ км. Поляризация излучаемого электромагнитного поля – горизонтальная. Ширина главного лепестка диаграммы направленности должна быть примерно одинаковой в плоскостях E и H . Длина фидера – 7 м.

В расчете необходимо:

- 1) избрать тип и конструктивные размеры питающего фидера и рассчитать его основные электрические параметры;
- 2) рассчитать конструктивные размеры рупора и линзы;
- 3) рассчитать и построить профиль линзы в плоскостях E и H ;
- 4) рассчитать диаграммы направленности в плоскостях E и H ;
- 5) рассчитать и построить амплитудное и фазовое распределение поля в раскрыве антенны;
- 6) определить коэффициент усиления антенны на средней частоте и его изменение в полосе частот;
- 7) оценить влияние линзы на облучатель и предусмотреть меры для уменьшения этого влияния.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенны;
- 2) графики диаграммы направленности антенны.

Числовые значения исходных данных приведены в табл. 3.

Таблица 3

Вариант	1	2	3	4	5
f_{cp} , ГГц	1,8	2,2	3,2	4,0	7,0
E , мВ/м	0,9	1,3	2,0	2,5	5,6
h , км	30	32	34	36	40
r , км	31	33	35	37	38

ЗАДАНИЕ 4

Спроектировать диэлектрическую антенну-линзу для корабельной станции обнаружения, работающей на длине $\lambda = \dots$ см. Требуемая ширина диаграммы направленности по полю в горизонтальной плоскости $2\varphi_{0,7} = \dots$, в вертикальной плоскости $2\theta_{0,7} = \dots$. Мощность передатчика в импульсе $P = \dots$ кВт.

Длина фидерной линии – 4 м. Облучателем линзы является секториальный рупор. Поляризация излучаемого поля – вертикальная. Допустимый КБВ в тракте 0,8.

В расчете необходимо:

- 1) выбрать тип питающего фидера и рассчитать его конструктивные и электрические параметры;
- 2) выбрать тип диэлектрика для изготовления линзы и рассчитать конструктивные размеры антенны-линзы;
- 3) рассчитать и построить профиль-линзы;
- 4) при большой толщине линзы провести зонирование;
- 5) рассчитать и построить амплитудное и фазовое распределение поля в раскрытии линзы;
- 6) выбрать тип облучателя антенны-линзы и рассчитать его основные конструктивные и электрические параметры;
- 7) рассчитать диаграммы направленности антенны в двух главных плоскостях и определить из них ширину главного лепестка,
- 8) рассчитать технические допуски на точность изготовления антенны;
- 9) рассчитать вращающееся сочленение.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенны;
- 2) графики диаграммы направленности антенны.

Числовые значения исходных данных приведены в табл. 4.

Таблица 4

Вариант	1	2	3	4	5
λ , см	9,4	6,2	4,2	3	2,5
$2\varphi_{0,7}$	7	5	4	2	3
$2\theta_{0,7}$	22	18	16	15	10
$P_{из}$, кВт	50	48	45	40	35

ЗАДАНИЕ 5

Спроектировать металлопластинчатую волноводную антенну-линзу, предназначенную для самолетного радиолокатора. Средняя рабочая частота $f_{cp} = \dots$ ГГц. Коэффициент усиления антенны $G = \dots$ дБ. Диапазон рабочих частот $2\Delta f = 0,2f_{cp}$. Тип облучателя – секториальный рупор. Поляризация излучаемого поля – вертикальная.

Длина фидерной линии – 4 м. КБВ в фидерном тракте не должен быть меньше 0,9.

В расчете необходимо:

- 1) выбрать тип питающего фидера, рассчитать его основные конструктивные и электрические параметры;
- 2) выбрать тип облучателя антенны-линзы и рассчитать его конструктивные параметры;
- 3) рассчитать конструктивные параметры антенны. Построить профиль линзы. При большой толщине линзы провести зонирование;
- 4) рассчитать и построить амплитудное и фазовое распределения поля в раскрытии антенны-линзы;
- 5) рассчитать диаграммы направленности антенны в двух главных плоскостях и определить из них ширину главного лепестка;
- 6) рассчитать технические допуски на точность изготовления антенны-линзы;
- 7) рассчитать дроссельно-фланцевое соединение волноводного фидерного тракта.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенны;
- 2) графики диаграммы направленности антенны.

Числовые значения исходных, данных приведены в табл. 5.

Таблица 5

Вариант	1	2	3	4	5
f_{cp} , ГГц	3,2	4,8	7	10	12
G , дБ	25	25	27	30	35

ЗАДАНИЕ 6

Спроектировать рупорно-параболическую антенну, предназначенную для радиорелейной линии связи. Антенна работает в диапазоне частот, $f_{cp} \pm \Delta f$ ГГц и должна обеспечивать на входе приемника мощность сигнала $P_{пр} \dots$ мкВт при мощности передатчика 3 Вт. Длина ретрансляционного участка $r = \dots$ км. Высота подъема передающей, и приемной антенны одинакова и равна 100 м. Поляризация излучаемого поля – вертикальная. Длина фидера между антенной и передатчиком (или приемником) 100 м.

В расчете необходимо:

- 1) выбрать конструктивные размеры фидера и рассчитать его затухание на средней и крайней частотах диапазона;
- 2) определить требуемые коэффициент усиления и коэффициент направленного действия антенны на средней частоте и его изменение в полосе частот;
- 3) рассчитать конструктивные размеры антенны (размеры апертуры, углы раскрытия и облучения, фокусное расстояние и др.);
- 4) рассчитать диаграммы направленности антенны в плоскостях E и H и по ним определить ширину главного лепестка по половинной мощности;
- 5) определить величину защитного действия антенны под углами 90° и 180° к направлению главного излучения;
- 6) выбрать конструкцию и рассчитать основные размеры согласующего перехода от питающего волновода к рупору;
- 7) рассчитать и построить амплитудное распределение поля при раскрытии антенны.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенны;
- 2) графики диаграммы направленности.

Числовые значения исходных данных приведены в табл. 6.

Таблица 6

Вариант	1	2	3	4	5
f_{cp} , ГГц	2,6	4	5,8	10	14
Δf , %	10	10	7	5	5
r , км	50	52	54	57	60
$P_{пр}$, мкВт	0,53	0,5	0,65	0,8	1

ЗАДАНИЕ 7

Спроектировать перископическую антенную систему для радиорелейной линии связи. Средняя рабочая частота $f_{cp} \dots$ ГГц.

Полоса рабочих частот $2\Delta f = 20\%$. Антенна должна обеспечивать в месте приемной станции напряженность электрического поля $E = \dots$ мВ/м при мощности передатчика $P = 5$ Вт. Высота мачты (расстояние между зеркалами) равна $h = \dots$ м. Длина ретрансляционного участка $r = \dots$ км. Поляризации излучаемого электромагнитного поля – горизонтальная. Излучатель (нижнее зеркало) выполнен в виде эллипсоида вращения, переизлучатель (верхнее зеркало) – в виде парабооида вращения. Облучатель – пирамидальный рупор. Длина питающего фидера – 5 м.

В расчете необходимо:

- 1) определить коэффициент усиления антенны на средней частоте и его изменение в полосе частот;
- 2) определить конструктивные размеры элементов, антенной системы;
- 3) рассчитать диаграммы направленности в плоскостях E и H и по ним определить ширину главного лепестка по половинной мощности;
- 4) определить коэффициент использования верхнего зеркала и КПД антенны; уточнить коэффициент усиления;
- 5) рассчитать технические допуски на изготовление элементов антенной системы и точность взаимного расположения излучателя и переизлучателя;
- 6) рассчитать величину защитного действия и переходное затухание между антеннами, расположенными в одном ретрансляционном пункте на расстоянии 20 м друг от друга.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенной системы;

2) графики диаграммы направленности.

Числовые значения исходных данных приведены в табл. 7.

Таблица 7

Вариант	1	2	3	4	5
f_{cp} , ГГц	1,2	2,2	3,2	4,8	7
E , мВ/м	0,9	1,6	2,5	3,5	5,7
h , км	30	30	33	38	40
r , км	30	33	35	37	40

ЗАДАНИЕ 8

Спроектировать передающую антенну для радиолокационной станции. Антенна выполнена в виде параболического цилиндра и работает на частоте $f_{cp} = \dots$ ГГц. Она должна обеспечить максимальную дальность действия станции $r = 150$ км. Импульсная мощность на выходе передатчика $P_{и} = \dots$ кВт. Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника $P_{вх} = 0,01$ Вт при эквивалентной отражающей поверхности объекта $S_0 = \dots$ м². Длина зон рабочих частот $2\Delta f = 20\%$. Поляризация излучаемого электромагнитного поля – горизонтальная. Антенна должна обеспечивать примерное отношение ширины главных лепестков диаграммы направленности в плоскостях H и E как 1 : 4. Длина фидера – 7 м.

В расчете необходимо:

- 1) выбрать тип облучателя, рассчитать его основные размеры и диаграммы направленности в плоскостях E и H ;
- 2) выбрать основные конструктивные размеры параболического цилиндра;
- 3) определить коэффициент усиления антенны и его неравномерность в полосе частот;
- 4) рассчитать диаграммы направленности антенны в плоскостях E и H и из них найти ширину главного лепестка по нулям и по половинной мощности;
- 5) рассчитать технические допуски на изготовление антенны.
- 6) выбрать схему питания, конструктивные размеры фидера, рассчитать затухание в фидере на средней частоте;
- 7) оценить влияние зеркала на облучатель.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенны и облучателя;
- 2) графики диаграмм направленности облучателя и антенны.

Числовые значения исходных данных приведены в табл. 8.

Таблица 8

Вариант	1	2	3	4	5
f_{cp} , ГГц	3,2	4,8	7	10	14
$P_{и}$, кВт	18	24	27	29	30
S_0 , м ²	40	25	20	15	12

ЗАДАНИЕ 9

Рассчитать антенну для передвижной телевизионной станции вестудийного вещания, работающей на несущей частоте видеосигнала $f_{н} = \dots$ ГГц. Антенна выполнена в виде параболоида вращения и должна в месте расположения приемной антенны (на радиоцентре) обеспечить напряженность электрического поля $E = \dots$ мВ/м при мощности передатчика $P = 5$ Вт. Расстояние между передвижной станцией и радиоцентром $r = \dots$ км. Высота приемной антенны 100 м, высота передающей антенны 5 м. Полоса рабочих частот $2\Delta f = 8$ МГц. Поляризация излучаемого поля – вертикальная. Длина фидера – 5 м.

В расчете необходимо:

- 1) выбрать конструктивные размеры фидера и рассчитать его затухание в рабочей полосе частот;
- 2) определить требуемые коэффициенты усиления и направленного действия антенны на несущей частоте с учетом затухания в фидере;
- 3) выбрать тип облучателя и рассчитать его основные размеры и диаграммы направленности в плоскостях E и H ;
- 4) рассчитать конструктивные размеры параболического зеркала (диаметр, угол раскрытия, фокусное расстояние);

- 5) рассчитать диаграммы направленности антенны в плоскостях E и H и из них определить ширину главного лепестка по нулям и по половинной мощности;
- 6) определить неравномерность коэффициента усиления антенн в рабочей полосе частот;
- 7) рассчитать технические допуски на изготовление антенны;
- 8) оценить влияние зеркала на облучатель и рассчитать устройства для уменьшения этого влияния.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенны и облучателя;
- 2) графики диаграммы направленности антенны и облучателя.

Числовые значения исходных данных приведены в табл. 9.

Таблица 9

Вариант	1	2	3	4	5
$f_{\text{н}}$, МГц	798	814	846	894	926
r , км	21	22	24	27	30
E , мВ/м	1	0,9	0,8	0,6	0,45

ЗАДАНИЕ 10

Спроектировать двухзеркальную антенну для наземной станции связи через ИСЗ. Антенна работает в диапазоне частот $f \pm \Delta f$ ГГц и должна обеспечивать на выходе приемной антенны ИСЗ с коэффициентом усиления 20 дБ уровень сигнала $P_{\text{пр}} = \dots$ мВт при расстоянии 40 тыс. км и при мощности передатчика 5 кВт. Длина фидера между антенной и передатчиком 3 м.

В расчете необходимо:

- 1) выбрать конструктивные размеры фидера и рассчитать его затухание в рабочей полосе частот;
- 2) рассчитать требуемые коэффициент усиления и коэффициент направленного действия антенны на средней частоте диапазона;
- 3) выбрать тип облучателя и рассчитать его размеры;
- 4) выбрать профили большого и малого зеркала и рассчитать конструктивные размеры (диаметр, угол раскрытия, фокусное расстояние);
- 5) рассчитать диаграммы направленности антенн в плоскостях E и H ; определить ширину главного лепестка по нулям и по половинной мощности;
- 6) определить изменение коэффициента усиления антенны в рабочем диапазоне частот;
- 7) оценить экранирующее действие малого зеркала.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенны;
- 2) графики диаграммы направленности антенны.

Числовые значения исходных данных приведены в табл. 10.

Таблица 10

Вариант	1	2	3	4	5
$f_{\text{ср}}$, ГГц	4	4,6	6	7,5	8,3
$P_{\text{пр}}$, мВт	6,1	5,8	4,4	3,6	4,5
Δf , %	10	10	7	5	5

ЗАДАНИЕ 11

Спроектировать трехэлементную директорную антенну (волновой канал), предназначенную для приема телевидения. Антенна настроена на частоту $f_{\text{ср}} = \dots$ МГц и должна обеспечить прием сигнала на телевизор с чувствительностью 100 мкВ при напряженности электрического поля $E = \dots$ мкВ/м. Полоса рабочих частот $2\Delta f = 8$ МГц. Вход приемника несимметричный с сопротивлением 75 Ом. Минимально допустимое значение коэффициента бегущей волны в фидере $K_{\text{доп}} > 0,8$. Длина фидера 30 м.

В расчете необходимо:

- 1) определить коэффициент усиления и коэффициент направленного действия на средней частоте;
- 2) определить резонансную длину одиночного вибратора и изменение его длины с учетом взаимодействия вибраторов в системе;

- 3) определить длины всех вибраторов и расстояния между ними;
- 4) определить волновое сопротивление вибраторов и полное входное сопротивление антенны, а также его изменение на краю полосы пропускания;
- 5) выбрать тип фидера и осуществить согласование его с антенной, выбрать тип и конструктивные размеры согласующего или симметрирующего устройства;
- 6) рассчитать затухание фидера на средних и крайних частотах диапазона;
- 7) рассчитать диаграммы направленности антенны в E и H плоскостях и определить ширину главного лепестка по половинной мощности.

Графический материал:

- 1) конструктивный чертеж антенны;
- 2) графики диаграммы направленности.

Числовые значения исходных данных приведены в табл. 11.

Таблица 11

Вариант	1	2	3	4	5
$f_{\text{ср}}$, МГц	52,5	62	82	88	96
E , мВ/м	60	70	95	105	115

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкции СВЧ устройств и экранов / под ред. А.М. Чернушенко. – М. : Радио и связь, 1985. – 374 с.
2. Антенны и устройства СВЧ (проектирование фазированных антенных решеток) : учебное пособие / под ред. Д.И. Воскресенского. – М. : Радио и связь, 1981. – 426 с.
3. Кочержевский, Г.Н. Антенно-фидерные устройства : учебник. – М. : Радио и связь, 1981. – 471 с.
4. Антенны и устройства СВЧ (Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов) : учебное пособие / под ред. Д.И. Воскресенского. – М. : Сов. радио, 1972. – 320 с.
5. Метрикин, А.А. Антенны и волноводы РРЛ / А.А. Метрикин. – М. : Связь, 1977. – 183 с.
6. Драбкин, А.Л. Антенно-фидерные устройства : учебник / А.Л. Драбкин, В.Л. Зузенко, А.Г. Кислов. – М. : Сов. радио, 1974. – 536 с.
7. Сазонов, Д.М. Антенны и устройства СВЧ / Д.М. Сазонов. – М. : Высшая школа, 1988. – 432 с.
8. Вамберский, М.В. Передающие устройства СВЧ / М.В. Вамберский. – М. : Высшая школа, 1984. – 448 с.
9. Романычева, З.Т. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА / З.Т. Романычева. – М. : Радио и связь, 1984. – 448 с.
10. Воробьев, Е.Л. Расчет производственных допусков устройств СВЧ / Е.Л. Воробьев. – М. : Судостроение, 1972. – 265 с.
11. Вамберский, М.В. Конструирование ферритовых развязывающих приборов СВЧ / М.В. Вамберский. – М. : Радио и связь, 1982. – 412 с.
12. Воробьев, Е.Л. Экранирование СВЧ конструкций / Е.Л. Воробьев. – М. : Сов. Радио, 1979. – 311 с.
13. Удалов, А.И. Изготовление элементов и устройств СВЧ / А.И. Удалов. – Рязань, 1977. – 57с.
14. Бушминский, И.П. Технология гибридных интегральных схем СВЧ / И.П. Бушминский. – М. : Высшая школа, 1980. – 170 с.
15. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / под ред. Е.В. Котова. – М. : Радио и связь, 1982.

16. Данилин, В.Н. Аналоговые полупроводниковые интегральные схемы СВЧ / В.Н. Данилин. – М. : Радио и связь, 1985. – 152 с.
17. Малорацкий, Л.Г. Микронимитаризация элементов и устройств СВЧ / Л.Г. Малорацкий. – М. : Радио и связь, 1978. – 216 с.
18. Захарьяцев, Л.Н. Проектирование СВЧ аттенюаторов : учебное пособие / Л.Н. Захарьяцев. – Рязань, 1977. – 88 с.
19. Радиоприемные устройства / под ред. А.П. Жуковского. – М. : Высшая школа, 1989. – 342 с.
20. Модули СВЧ. – М. : Радио и связь, 1984. – 72 с.
21. Бушминский, И.П. Приемные системы спутникового телевидения / И.П. Бушминский, М.Д. Тюхтин. – М. : Радио и связь, 1998. – 244 с.
22. Малков, Н.А. Основы технической электродинамики / Н.А. Малков, Г.А. Барышев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – 128 с.
23. Малков, Н.А. Микроэлектронные устройства СВЧ / Н.А. Малков, В.П. Шелохвостов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 124 с.
24. Микроэлектронные устройства СВЧ / под ред. Г.И. Веселова. – М. : Высшая школа, 1988. – 280 с.
25. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ. – М. : Радио и связь, 1982. – 272 с.
26. Малков, Н.А. Антенны СВЧ : учебное пособие / Н.А. Малков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 104 с.
27. Нефедов, Е.И. Микрополосковые излучатели и резонансные устройства / Е.И. Нефедов, В.В. Козловский, А.В. Згурский. – Киев : Техника, 1990. – 160 с.
28. Бранд, А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах / А.А. Бранд. – М. : 1963. – 404 с.
29. Справочник конструктора РЭА. Компоненты, механизмы, надежность / под ред. Р.Г. Варламова. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.
30. Мищенко, С.В. Проектирование радиоволновых (СВЧ) приборов неразрушающего контроля : учебное пособие / С.В. Мищенко, Н.А. Малков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – 128 с.
31. Устройства СВЧ. Полосковые линии. Платы. Отраслевой стандарт ОСТ 4ГО.710.001. Редакция 2-75.
32. Пудовкин, А.П. Проектирование многослойных печатных плат : учебное пособие / А.П. Пудовкин, Ю.Л. Муромцев, Н.А. Малков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 88 с.
33. Малков, Н.А. Гиротронные среды в технике СВЧ : учебное пособие / Н.А. Малков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 107 с.