

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

А.И. Башкиров

МИКРОВОЛНОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания по организации самостоятельной работы и практических
занятий

Томск
2022

УДК 621.373.8

ББК 32.854

Б 334

Рецензент:

Аксенов А.И., доцент каф. электронных приборов ТУСУР, канд. техн. наук

Башкиров, Александр Иванович

Б 334 Микроволновая электроника: методические указания по организации самостоятельной работы и практических занятий / А.И. Башкиров. - Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022. - 10 с.

Настоящие методические указания по организации самостоятельной работы и практических занятий для студентов составлены с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО).

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника» по дисциплине «Микроволновая электроника».

Одобрено на заседании каф. ЭП протокол № 02-22 от 04.02.2022 г.

УДК 621.373.8

ББК 32.854

© Башкиров Александр Иванович,
2022

© Томск, гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2022

Оглавление

Введение	4
1.Микроволновые направляющие системы	4
1.1 Содержание раздела.....	4
1.2 Методические указания по изучению раздела	4
1.3 Вопросы для самопроверки.....	5
2 Микроволновые колебательные системы	5
2.1 Содержание раздела.....	5
2.2 Методические указания по изучению раздела	5
2.3 Вопросы для самопроверки.....	5
3.Элементы волноводной микроволновой техники	6
3.1 Содержание раздела.....	6
3.2 Методические указания по изучению раздела	6
3.3 Вопросы для самопроверки	6
4 Лабораторные работы	6
5.Практические занятия	7
6 Темы для самостоятельного изучения.....	8
Заключение.....	9
Рекомендуемая литература.....	10

Введение

Цель дисциплины «Микроволновая электроника» состоит в подготовке к разработке, исследованию и эксплуатации приборов и устройств микроволновой электроники на основе изучения базовых физических принципов функционирования основных элементов микроволновой электроники.

Задачи дисциплины заключаются в изучении явлений, используемых для анализа и расчета электромагнитных полей в микроволновых направляющих и колебательных системах, проектирования микроволновых устройств.

Для освоения дисциплины «Микроволновая электроника» необходимы знания по дисциплинам математика, физика, материалы электронной техники, твердотельная электроника.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать: принципы использования физических эффектов в вакууме, плазме и в твердом теле в приборах и устройствах микроволновой электроники; конструкции, параметры, характеристики и методы моделирования приборов микроволновой электроники;

уметь: применять методы расчета параметров и характеристик приборов микроволновой электроники; применять методы моделирования и проектирования приборов и устройств микроволновой электроники; анализировать информацию о новых типах микроволновых приборов.

владеть: методами экспериментальных исследований параметров и характеристик материалов, приборов и устройств микроволновой электроники; современными программными средствами моделирования и проектирования приборов микроволновой электроники; методикой расчета основных узлов приборов микроволновой электроники.

1. Микроволновые направляющие системы

1.1 Содержание раздела

Плоские электромагнитные волны в неограниченных, непоглощающих, поглощающих, анизотропных средах и на границе раздела сред. Общие свойства направленных электромагнитных волн. Типы волн: электрические (E – волны), магнитные (H – волны), T - волны. Волновое уравнение и его решение для произвольной направляющей системы. Фазовая, групповая скорости, дисперсия, явление отсечки электромагнитных волн.

Основные типы направляющих систем. Решение волнового уравнения для волн типа H- и E- в прямоугольном волноводе. Диаграмма критических длин волн. Структура полей и токов. Круглый волновод. Возбуждение электромагнитных волн в направляющих системах. Основные типы замедляющих систем.

1.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Микроволновые направляющие системы» следует обратить внимание на общее выражение для поля плоской волны, распространяющейся в произвольном направлении, поперечный характер поля плоской волны, особенности структуры плоской волны в среде с потерями, плоские волны в анизотропных средах, отражение плоских волн на границе раздела двух сред. При изучении раздела следует хорошо понимать, что представляют собой электрические или E – волны, магнитные или H – волны, поперечные или T – волны.

Следует обратить внимание на методику решения волнового уравнения для волн типа H - и E - в прямоугольном волноводе, на основные свойства различных типов волноводов, области применения волноводов различных типов, принципы возбуждения различных типов электромагнитных волн в волноводах.

1.3 Вопросы для самопроверки

1. Запишите математическое выражение для напряженности электрического поля плоской электромагнитной волны, распространяющейся в произвольном направлении. Поясните все обозначения.
2. Какое поле называют поляризованным, а какое неполяризованным?
3. Чем отличаются волны с линейной, эллиптической и круговой поляризациями?
4. Запишите математическое выражение для фазовой скорости света через материальные параметры среды распространения. Поясните все обозначения.
5. Что такое фронт волны?
6. Как определяется коэффициент затухания электромагнитной волны?
7. Что такое толщина скин-слоя?
8. Опишите явление полного внутреннего отражения.
9. Запишите граничные условия Леонтовича.
10. Какая направляемая волна является магнитной?
11. Какая направляемая волна является E - волной?
12. В каких направляющих системах возможно существование T – волн?
13. Как связаны между собой продольные и поперечные составляющие поля в однородной направляющей системе?
14. Что такое критическая частота, критическая длина волны?
15. Что такое дисперсия в направляющей системе?
16. Что такое дисперсионная характеристика направляющей системы?
17. Какие типы волн существуют в прямоугольных волноводах?
18. Какой физический смысл имеют символы m и n , обозначающих тип волны в прямоугольном волноводе.
19. Дайте определение длины волны в волноводе.
20. Дайте определение критической длины волны в волноводе.
21. Дайте определение фазовой скорости в волноводе.
22. Сформулируйте граничные условия для E – волн в прямоугольном волноводе.
23. Сформулируйте граничные условия для H – волн в прямоугольном волноводе.

2 Микроволновые колебательные системы

2.1 Содержание раздела

Принцип действия объемных резонаторов. Общие свойства и параметры свободных колебаний в резонаторах. Учет потерь. Добротность резонаторов. Электромагнитное поле в прямоугольном резонаторе. Другие типы полых резонаторов. Диэлектрические резонаторы.

2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Микроволновые колебательные системы» следует обратить внимание на общность в расчете резонаторов и волноводов, нужно хорошо понимать, что представляют собой различные типы колебаний в резонаторах.

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Как образуется поле колебаний в резонаторах, выполненных на базе отрезков волновода?
2. Какой физический смысл имеют индексы в обозначении типов колебаний?
3. Какой тип волны в прямоугольном резонаторе является основным?
4. Какой тип колебаний не может существовать в прямоугольном резонаторе?

5. Как вычислить резонансную частоту произвольного типа колебаний в прямоугольном резонаторе?

Дайте определение собственной и нагруженной добротности объемного резонатора.

3.Элементы волноводной микроволновой техники

3.1 Содержание раздела

Замедляющие системы. Согласованные нагрузки, аттенюаторы. Микроволновые фильтры, устройства широкополосного согласования. Волноводные тройники. Направленные ответвители. Принципы действия, конструкции, характеристики, методы анализа, проектирование. Ферритовые микроволновые устройства. Фазовращатели, вентили, циркуляторы.

3.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Элементы волноводной микроволновой техники» следует обратить внимание на устройства согласования, микроволновые фильтры, направленные ответвители, ферритовые микроволновые устройства.

3.3 Вопросы для самопроверки

1. Зарисуйте конструкции основных типов согласованных нагрузок.
2. Сформулируйте теорему Фостера для идеального реактивного двухполюсника.
3. Запишите матрицу рассеяния для идеального аттенюатора.
4. Зарисуйте конструкции основных типов аттенюаторов.
5. Нарисуйте амплитудно-частотные характеристики фильтров нижних частот, верхних частот.
6. Назовите основные принципы работы устройств широкополосного согласования.
7. Какие ограничения накладываются на ширину полосы согласования?
8. Запишите матрицу рассеяния симметричного тройника.
9. Поясните принцип действия E – тройника и H – тройника.
- 10.Опишите принцип работы направленных ответвителей со связью через отверстия.
- 11.Опишите принцип работы направленных ответвителей на связанных линиях.
- 12.Назовите основные типы невзаимных фазовращателей и проведите сравнительный анализ.
- 13.Запишите матрицу рассеяния идеального циркулятора.
- 14.Поясните принцип действия взаимных ферритовых фазовращателей.

4 Лабораторные работы

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

Вступительный этап включает анализ полученного индивидуального задания, изучение рекомендуемых литературных источников по теме задания, знакомство с приборами, методами и схемами измерений.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: они уточняют порядок выполнения работы распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования и в часы сверх расписания по договоренности с преподавателем. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций, изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным, составленным по установленной форме, и содержать следующие разделы: наименование работы; цель работы; индивидуальное задание; применяемая аппаратура; ее описание (система, класс, цена давления и т.д.); краткое изложение методики, схемы опытов; таблицы данных измерений; итог обработки результатов и расчетные формулы; графики; анализ результатов и погрешностей; фрагмент конструкции соединения. Анализ результатов является важной частью отчета.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Исследование электромагнитного поля в прямоугольном волноводе
2. Исследование электромагнитного поля в круглом волноводе
3. Исследование объемных резонаторов

5. Практические занятия

На практических занятиях студенты приобретают навык расчета параметров микроволновых устройств. Целью занятий является углубление понимания процессов, происходящих при исследовании микроволновых направляющих и колебательных систем, микроволновых устройств на основе изучения студентами базовых физических принципов функционирования основных элементов микроволновой техники, а также изучение и освоение студентами современных подходов и методов, используемых для анализа и расчета электромагнитных полей в микроволновых направляющих и колебательных системах; изучение основных методов анализа и проектирования микроволновых устройств.

Перед практическими занятиями студент должен повторить лекционный материал, ответив на вопросы для самоконтроля по необходимой теме, а также просмотреть рекомендации по решению типичных задач этой темы.

Темы практических занятий приведены ниже:

1. Плоские электромагнитные волны в неограниченных, непоглощающих, поглощающих средах. Направленные электромагнитные волны. Электромагнитные поля в направляющих системах
2. Электромагнитные поля в объемных резонаторах

На практических занятиях проводятся тестовые опросы и контрольные работы.

Методические указания по решению задач

Материал пособия должен помогать закреплению теоретических знаний, а также вырабатывать навык в решении практических вопросов и задач.

Прежде чем решить задачу или ответить на поставленный вопрос, надо понять их сущность, физический смысл заданных величин, вспомнить физические процессы, законы и соотношения, относящиеся к данному вопросу.

Все аналитические решения следует проводить, используя общеизвестные физические законы, физические постоянные и физические системы единиц. Сначала надо написать исходные формулы, сделать, если это необходимо, соответствующие преобразования, получить конечные формулы, а затем подставить в эти формулы числовые значения и найти результат. Помните, что все физические величины в формуле должны быть в одной системе единиц. Не забывайте в ответе давать размерность полученной величины.

Ход всех преобразований и вычислений должен быть четко показан в решении задачи. Вычисления, как правило, достаточно делать до третьего знака, а в ряде случаев и до второго.

Полученный в виде числа ответ надо постараться проверить каким-либо способом. Полезно обратиться к справочной литературе и сравнить полученную величину с известными подобными величинами в справочнике. Если отличие в несколько порядков, то ищите ошибку в своем решении.

Примеры решения типичных задач и задачи для самостоятельного решения приведены в [4, 5].

Задачи по теме 1. «Плоские электромагнитные волны в неограниченных, непоглощающих, поглощающих средах. Направленные электромагнитные волны. Электромагнитные поля в направляющих системах» приведены в разделах 4.3, 4.4, 6.5, 6.6 [4].

Задачи по теме 2. «Электромагнитные поля в объемных резонаторах» приведены в разделах 8.2, 8.3 [5].

6 Темы для самостоятельного изучения

Темы для самостоятельного изучения обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать задачи. Тематика самостоятельных работ предполагает углубленное изучение нижеперечисленных тем.

1. Возбуждение электромагнитных волн в направляющих системах
2. Диэлектрические резонаторы
3. Общие принципы согласования нагрузки с линией передачи
4. Основные свойства многополюсников и их матриц
5. Фазовращатели

Студент пишет реферат по выбранной теме.

Заключение

В итоге изучения тем студент должен твердо, как минимум знать следующие вопросы:

1. Плоские электромагнитные волны в неограниченных непоглощающих, поглощающих, анизотропных средах
2. Плоские электромагнитные волны на границе раздела сред
3. Типы волн: электрические (E – волны), магнитные (H – волны), T - волны
4. Диаграмма критических длин волн в направляющей системе
5. Дисперсия в направляющей системе
6. Структура полей и токов в прямоугольном волноводе
7. Типы колебаний в прямоугольном резонаторе
8. Структура полей в прямоугольном резонаторе
9. Добротность резонаторов
10. Эквивалентные параметры линии передачи
11. Коэффициент отражения, коэффициенты стоячей волны, бегущей волны
12. Входное сопротивление линии передачи, сопротивление нагрузки
13. Круговая диаграмма полных сопротивлений
14. Основные режимы работы линии передачи
15. Согласование линии передачи с нагрузкой
16. Волновая матрица рассеяния, ее основные свойства
17. Микроволновые устройства: согласования, фильтры, направленные ответвители
18. Ферритовые микроволновые устройства

Рекомендуемая литература

1. Боков, Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие/ Л.А. Боков, В.А.Замотринский, А.Е. Мандель - Томск: ТУСУР, 2012. - 301 с.,
2. Гошин, Г.Г. Устройства СВЧ и антенны: Учебное методическое пособие/ Г.Г. Гошин, В.А. Замотринский, Л.И. Шангина – Томск: ТУСУР, 2012. – 163 с.
3. Григорьев, А.Д. Электродинамика и техника СВЧ: Учебник для вузов/А.Д. Григорьев,– Москва: Высшая школа, 1990 г. – 335 с.
4. Замотринский В.А., Соколова Ж.М., Падусова Е.В.; Шангина Л.И. Электромагнитные поля и волны: Учебное пособие для вузов. – Томск: ТУСУР, 2007. – 188 с.
5. Боков, Л. А. Электромагнитные поля и волны: Сборник задач и упражнений/ Л. А. Боков — Томск: ТУСУР: 2013. — 271 с.
6. Никольский, В.В. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие для вузов/ В.В. Никольский, Т. И. Никольская – Москва: Наука, 1989. – 543 с.
7. Петров, Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебник для вузов/ Б.М. Петров– Москва: Горячая линия – Телеком, 2007. – 558 с.
8. Татур Т.А. Основы теории электромагнитного поля: Справочное пособие. – М.: Высшая школа, 1989 г. – 271 с.
9. Фальковский, О.И. Техническая электродинамика: Учебник. 2-е изд./ О.И. Фальковский– СПб.: Изд-во "Лань", 2009 . – 432 с.