

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра технической эксплуатации радиоэлектронного
оборудования воздушного транспорта**

Д.Н. Яманов, В.Г. Сергеев

АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

**ПОСОБИЕ
по изучению дисциплины**

*для студентов III курса
специальности 25.05.03 (162107)
заочной формы обучения*

Москва-2015

ББК 537

Я 54

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.И. Логвин

Яманов Д.Н., Сергеев В.Г.

Я 54 Антенны и устройства СВЧ: пособие по изучению дисциплины.
- М.: МГТУ ГА, 2015. - 16 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Антенны и устройства СВЧ» по учебному плану для студентов III курса специальности 25.05.03 (162107) заочной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 24.03.15 г. и методического совета 26.03.15 г.

1. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина "Антенны и устройства СВЧ" изучается студентами заочной формы обучения на третьем курсе. По данной дисциплине читаются обзорные лекции (12 часов), проводятся лабораторные занятия (16 часов) и консультации. Студенты выполняют курсовую работу и сдают экзамен. Общее время, затрачиваемое на самостоятельную работу - 152 часа.

2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДИСЦИПЛИНЕ

2.1. Цель преподавания дисциплины

Целью освоения дисциплины «Антенны и устройства СВЧ» является обучение студентов основным принципам теории, методам анализа, способам построения и основам эксплуатации антенн и СВЧ устройств, применяемых в гражданской авиации.

Основными задачами являются: формирование у студентов необходимого минимума физических, математических, теоретических и практических знаний и навыков, которые обеспечили бы им возможность понимать и анализировать процессы в антенных системах, и технически грамотно эксплуатировать излучающие системы и фидерные тракты.

В результате изучения курса у студентов должен быть сформирован базис знаний и навыков, позволяющий им успешно осваивать в дальнейшем специальные дисциплины профессионального цикла.

2.2. Задачи изучения дисциплины (необходимый комплекс знаний и умений)

В результате изучения дисциплины, студенты должны:

иметь представление об основных электромагнитных процессах в антеннах и устройствах СВЧ;

знать:

- характеристики антенн и устройств СВЧ;
- принципы действия и особенности антенн и СВЧ устройств, область их применения;
- способы формирования необходимых распределений полей излучения;
- основы антенных измерений;
- инженерные методы расчета излучающих систем и устройств СВЧ;
- государственные стандарты и правила ЕСКД;
- правила техники безопасности и защиты окружающей среды при работе с антенно-фидерными устройствами;

уметь:

- разрабатывать пути обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, в конкретных условиях эксплуатации;
- работать с научно-технической литературой и измерительной аппаратурой при исследовании характеристик антенн и СВЧ устройств;
- оценивать соответствие эксплуатируемых устройств современному развитию техники;
- ориентироваться в современных представлениях о методах расчета излучающих устройств и фидеров, принципов их работы;

владеть:

- способами обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств;
- навыками проведения экспериментальных исследований полей и параметров антенн и направляющих систем;
- навыками использования соответствующих учебных, научных и справочных источников;
- навыками использования компьютерных технологий в расчетах.

3. ЛИТЕРАТУРА*Основная*

1. Нечаев Е.Е., Будыкин Ю.А. Антенные устройства в гражданской авиации. - Курск: Пресс – Факт, 2005.
2. Воскресенский Д.И. и др. Антенны и устройства СВЧ. – М.: МАИ, 1999.

Учебно-методическая

3. Нечаев Е.Е. Антенны и устройства СВЧ: Пособие к выполнению курсовой работы. - М.: МГТУ ГА, 2008.
4. Яманов Д.Н. Антенны и устройства СВЧ: Пособие по выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУГА, 2014.

Дополнительная

5. Нечаев Е.Е. Слабонаправленные антенны и линейные антенны бегущей волны. - М.: МГТУГА, 1997.
6. Нечаев Е.Е. Излучающие раскрывы и решетки. – М.: МГТУГА, 1989.

4. ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИИ

Электронные источники информации по дисциплине

CD диск «Антенны и устройства СВЧ (ЗФ)» включает методические материалы по дисциплине.

Ресурсы Интернета

Список сайтов, содержащих информацию по дисциплине: www.radioscanner.ru; <http://www.twirpx.com/antenny/>; <http://www.radioforall.ru>.

5. ЭЛЕКТРОННЫЕ АДРЕСА ДЛЯ КОНСУЛЬТАЦИИ

Ответственный за дисциплину проф. Яманов Дмитрий Николаевич d.yamanov@mstuca.aero.

6. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. Основные электрические параметры и характеристики антенн, их согласование с фидерными линиями

Содержание: задачи теории антенн; классификация антенн; основные характеристики антенн; вторичные параметры антенн; действующая высота и эффективная площадь антенны; согласование антенны с фидером.

Раздел 2. Слабонаправленные антенны

Содержание: элементарные излучатели; принцип эквивалентных токов; элемент Гюйгенса; поле и схема питания симметричного вибратора; шлейф - вибратор Пистолькорса; широкополосные вибраторные антенны; рамочные, кольцевые и ферритовые антенны.

Раздел 3. Линейные антенны бегущей волны и антенные решетки

Содержание: система излучателей, дискретно расположенных вдоль прямой; множитель решетки; теорема перемножения диаграмм направленности; шаг решетки; амплитудно-фазовое распределение; метод зеркального изображения; несимметричная вибраторная, ромбическая, директорная и спиральная антенны; антенна бегущей волны; частотно - независимые антенны; волноводно-щелевые антенны; полосковые антенны.

Раздел 4. Излучение плоских антенных решеток и апертурных антенн

Содержание: плоские антенные решетки; фазирование излучателей; синфазная горизонтальная антенна; схемы питания ФАР.

Раздел 5. Волноводные излучатели, рупорные и линзовые антенны

Содержание: волноводные излучатели; рупорные антенны; замедляющие и ускоряющие линзы; линзы Люнеберга.

Раздел 6. Зеркальные параболические антенны

Содержание: зеркальные антенны; двухзеркальные антенны; зеркала специальной формы.

Раздел 7. Волноводные линии передачи, объемные резонаторы.

Элементы и узлы волноводных трактов

Содержание: выбор размеров волновода; затухание волн в волноводе; мощность в волноводе; методы возбуждения волноводов; Е- и Н-тройники; двойной Т-мост; аттенюаторы; вентили; объемные резонаторы; фильтры СВЧ.

7. ТЕРМИНОЛОГИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Передающая антенна - устройство, излучающее электромагнитную энергию.

Приемная антенна - устройство, принимающее электромагнитную энергию.

Согласующее устройство предназначается для обеспечения режима работы питающей фидерной линии как можно более близкого к режиму бегущей волны.

Излучающая система - это область пространства, в которой протекают токи, возбуждающие электромагнитные волны.

Коэффициент полезного действия (КПД) - отношение излучаемой мощности к полной мощности, подводимой к антенне.

Амплитудная характеристика направленности определяет зависимость амплитуды напряженности создаваемого антенной поля от направления в пространстве.

Диаграмма направленности антенны (ДНА) - графическое изображение характеристики направленности.

Диаграмма направленности по мощности - графическое изображение зависимости плотности потока мощности от направления в пространстве.

Поляризация волн - ориентационная характеристика, определяющая закон изменения направления и величины вектора \vec{E} (или \vec{H}) этой волны в данной точке пространства за период колебания.

Коэффициент направленного действия (КНД) - число, показывающее, во сколько раз пришлось бы увеличить мощность излучения антенны при замене направленной антенны абсолютно ненаправленной при условии сохранения одинаковой напряженности поля в точке приема.

Коэффициент усиления (КУ) - параметр, характеризующий направленные свойства антенны и учитывающий потери в антенне.

Рабочей полосой частот антенны называют область частот, в которой все параметры антенны не выходят из заданных пределов.

Предельная рабочая мощность - такая мощность, которую можно подвести к антенне без опасения выхода ее из строя.

Эффективная поверхность антенны - поверхность фронта плоской электромагнитной волны, с которой антенна собирает и передает в

согласованную нагрузку принимаемую мощность при точном наведении максимума ДН на направление прихода волны.

Линейные антенны - антенны, у которых токи протекают по сравнительно узким поперечным каналам, размеры которых малы по сравнению с продольными и с длиной волны.

Линейные решетки и антенны - антенны, состоящие из большого числа одинаковых излучателей.

Линейные антенны бегущей волны - антенны, возбуждаемые бегущей вдоль оси антенны волной тока.

Апертурные антенны - антенны, излучение у которых происходит через раскрыт, называемый апертурой.

Линзовой антенной называют совокупность электромагнитной линзы и облучателя.

Фазированные антенные решетки (ФАР) - многоэлементные антенные решетки, в которых реализуется фазовый способ электрического сканирования.

8. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ПРОГРАММЫ

Раздел 1. Основные электрические параметры и характеристики антенн, их согласование с фидерными линиями

Тема 1.1. Общие сведения об антенно-фидерных устройствах. Цель и содержание курса. Задачи теории антенн. Классификация антенн. Основные характеристики антенны.

Тема 1.2. Вторичные параметры антенн: КНД, КПД, КУ. Действующая высота и эффективная площадь антенны.

Тема 1.3. Согласование антенны с фидером. Виды согласования.

Методические указания к изучению раздела 1

Литература: [1, с. 11 - 35]; [2, с. 63 - 104].

Центральные вопросы раздела: классификация антенн; основные параметры и характеристики антенн; методы согласования антенны.

Вопросы для самопроверки

1. Что понимается под диаграммой направленности антенны по мощности? Какие ещё диаграммы характеризуют антенну?
2. Как определить ширину диаграммы направленности в полярной и декартовой системе координат?
3. Что такое коэффициент направленного действия антенны?
4. Что понимается под сопротивлением излучения? Почему целесообразно иметь антенну с большим сопротивлением излучения?

5. Какова связь КНД с КУ антенны?
6. Что такое поляризация характеристика антенны?
7. В чём суть согласования приёмной и передающей антенн по поляризации?
8. Что понимается под согласованием антенны и фидера?
9. Какие методы согласования Вы знаете?

Раздел 2. Слабонаправленные антенны

Тема 2.1. Элементарные электрический и магнитный излучатели. Принцип эквивалентных токов. Элемент Гюйгенса.

Тема 2.2. Поле симметричного вибратора. Схемы питания симметричного вибратора. Шлейф-вибратор Пистолькорса.

Тема 2.3. Широкополосные вибраторные антенны. Диполь Надененко. Биконический вибратор. Турникетная антенна.

Тема 2.4. Рамочные и кольцевые антенны. Ферритовые антенны, механизм их работы.

Методические указания к изучению раздела 2

Литература: [1, с. 36 - 75]; [2, с.105 - 127].

Центральные вопросы раздела: принцип эквивалентности и принцип Гюйгенса-Френеля; ближняя, промежуточная и дальняя зоны поля излучения антенны; распределение тока и заряда на симметричном вибраторе; симметрирующие устройства вибраторных антенн; антенна гониометра.

Вопросы для самопроверки

1. В чём суть принципа эквивалентных токов?
2. Что понимается под элементарным электрическим, магнитным диполем и под элементом Гюйгенса?
3. Что понимается под ближней, промежуточной и дальней зоной поля излучения антенны?
4. В чём разница в структуре поля в дальней зоне элементарного электрического и магнитного диполей?
5. Какой характер имеет распределение тока и заряда на симметричном вибраторе?
6. Как объяснить появление боковых лепестков в диаграмме направленности симметричного вибратора при его электрической длине, большей 1,25?
7. Какие симметрирующие устройства вибраторных антенн Вы знаете?
8. Чем объясняется широкополосность биконического вибратора?
9. Какую форму имеет диаграмма направленности турникетной антенны?
10. Как ориентировано направление максимального излучения относительно плоскости расположения рамочной антенны?

Раздел 3. Линейные антенны бегущей волны и антенные решётки

Тема 3.1. Система излучателей, дискретно расположенных вдоль прямой. Множитель решётки. Теорема перемножения диаграмм направленности. Побочные главные максимумы. Выбор шага решётки. Влияние амплитудно-фазового распределения на ДН линейной антенной решётки.

Тема 3.2. Система двух излучателей. Метод зеркального изображения. Конструкции несимметричных вибраторных антенн.

Тема 3.3. Ромбическая антенна. Антенна бегущей волны с собирательной линией. Директорная антенна. Спиральные антенны.

Тема 3.4. Частотно-независимые антенны. Принцип электродинамического подобия. Логарифмическая спираль. Антенны на основе спиралей Архимеда. Логопериодические антенны.

Тема 3.5. Волноводно-щелевые антенны. Резонансные и нерезонансные антенны.

Тема 3.6. Конструкции полосковых антенн. Расчётная модель антенны, структура поля излучения.

Методические указания к изучению раздела 3

Литература: [1, с. 76 - 145]; [2, с. 128 – 230].

Центральные вопросы раздела: теорема перемножения диаграмм направленности; линейная антенная решётка; влияние амплитудного и фазового распределения на характеристики направленности линейной антенной решётки; метод зеркальных изображений, принцип построения многовибраторных антенн бегущей волны; спиральные антенны; принцип электродинамического подобия; свойства поверхностных волн; волноводно-щелевые антенны; полосковые антенны.

Вопросы для самопроверки

1. В чём суть теоремы перемножения диаграмм направленности?
2. Какой вид имеет диаграмма направленности линейной синфазной равноамплитудно возбуждённой антенной решётки?
3. Какие способы подавления побочных главных максимумов Вы знаете?
4. Как влияет амплитудно-фазовое распределение на диаграмму направленности антенной решётки?
5. В чём суть метода зеркальных изображений?
6. Как зависит КНД линейной решётки от её длины?
7. В чём суть принципа электродинамического подобия?
8. Какие достоинства и недостатки имеет ромбическая антенна?
9. Какие способы возбуждения поверхностных волн вы знаете?
10. Как влияет экран конечных размеров на характеристики направленности щелевых антенн?

11. В чём отличие принципа работы резонансных и нерезонансных волноводно-щелевых антенн?

12. В чём суть «эффекта нормали» в нерезонансных волноводно-щелевых антеннах?

13. Какие недостатки имеют полосковые антенны?

Раздел 4. Излучение плоских антенных решёток и апертурных антенн

Тема 4.1. Плоские антенные решётки. Фазирование излучателей. Синфазная горизонтальная антенна. ФАР с оптической схемой питания.

Методические указания к изучению раздела 4

Литература: [1, с. 216 - 242]; [2, с. 430 – 438].

Центральные вопросы раздела: влияние амплитудного и фазового распределения на ДНА; изменение коэффициента направленного действия антенны при отклонении луча от нормали к апертуре; схемы размещения излучателей на плоскости; управление положением луча ФАР; схемы разводки СВЧ мощности в ФАР.

Вопросы для самопроверки

1. Какие схемы размещения излучателей на плоскости Вы знаете?
2. В чём преимущество схемы управления положением луча по строкам и столбцам?
3. Параллельные и последовательные схемы питания ФАР, их достоинства и недостатки?
4. Какие особенности конструкции имеет синфазная горизонтальная диапазонная антенна?

Раздел 5. Волноводные излучатели, рупорные и линзовые антенны

Тема 5.1. Волноводный излучатель. Типы рупорных антенн. Рупоры с круговой поляризацией.

Тема 5.2. Замедляющие и ускоряющие линзы. Уравнение профиля линз. Линзы Люнеберга.

Методические указания к изучению раздела 5

Литература: [1, с. 170 - 195]; [2, с. 339 - 354, с. 376 - 398].

Центральные вопросы раздела: оптимальный рупор; коррекция фазовых искажений в раскрыве рупора; металлопластинчатые линзы.

Вопросы для самопроверки

1. Как влияет амплитудное распределение по раскрыву на поле излучения антенны?
2. Как влияет фазовое распределение поля по раскрыву на поле излучения антенны?
3. В чём суть метода линейного эквивалентного излучателя?
4. Какой рупор называется оптимальным?
5. Какие типы фазирующих секций Вы знаете?
6. Как влияет ускоряющая линза на амплитудное и фазовое распределение поля по раскрыву?
7. Как влияет замедляющая линза на амплитудное и фазовое распределение поля по раскрыву?
8. Что такое зонирование линзы?
9. Какую конструкцию имеет сферическая линза Лüneберга?

Раздел 6. Зеркальные параболические антенны

Тема 6.1. Зеркальные антенны. Уравнение профиля зеркала. Двухзеркальные антенны. Зеркала специальной формы.

Методические указания к изучению раздела 6

Литература: [1, с. 196 - 215]; [2, с. 354 - 376].

Центральные вопросы раздела: методы расчёта поля излучения; коэффициент усиления и ширина ДН зеркальной антенны; сканирование ДН в зеркальной антенне; методы получения косекансной ДН; двухзеркальные антенны.

Вопросы для самопроверки

1. Какие методы расчёта поля излучения Вы знаете?
2. От чего зависит ширина ДН зеркальной антенны?
3. Какие факторы влияют на КИП зеркальной антенны?
4. Перечислите требования, предъявляемые к облучателю зеркальной антенны, какие типы облучателей Вы знаете?
5. От чего зависит предельный КНД зеркальной антенны?
6. Каким образом осуществляется сканирование ДН в зеркальной антенне?
7. Какую конструкцию имеют двухзеркальные антенны?
8. Какие методы получения косекансной ДН Вы знаете?

Раздел 7. Волноводные линии передачи, объёмные резонаторы. Элементы и узлы волноводных трактов

Тема 7.1. Выбор размеров волновода по заданному диапазону рабочих частот. Затухание волны в волноводе. Мощность в волноводе (рабочая, допустимая, предельная). Методы возбуждения поля в волноводе.

Тема 7.2. Соединения волноводных трактов. Е- и Н-тройники. Двойной Т-образный мост. Атенюаторы. Объёмные резонаторы.

Тема 7.3. Частотно-избирательные фильтры СВЧ.

Методические указания к изучению раздела 7

Литература: [2, с. 48 – 58, с. 269 - 282].

Центральные вопросы раздела: выбор размеров волновода; средняя, предельная и допустимая мощности в волноводе; Н и Е – тройники; Т – образные соединения; аттенюаторы; резонансные частоты и добротность резонаторов; классификация фильтров СВЧ.

Вопросы для самопроверки

1. Чем руководствуются при выборе размеров сторон поперечного сечения волновода?
2. Чем определяется пробивная мощность волновода?
3. Нарисуйте схему замещения Н- и Е –тройника.
4. Какие виды конструкций аттенюаторов Вам известны?
5. Нарисуйте конструкцию двойного Т – моста. Опишите, как он работает при подаче сигнала в разные плечи.
6. Что называется добротностью резонатора?
7. В чём заключаются особенности СВЧ фильтров?
8. Что представляют собой волноводные полосно-пропускающие фильтры?

9. СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ

Лекция 1. Установочная лекция – 2 курс.

Лекция 2. Обзорная лекция. По темам 1.1 – 2.4

Лекция 3. Обзорная лекция. По темам 3.1 – 4.1

Лекция 4. Обзорная лекция. По темам 5.1, 5.2

Лекция 5. Обзорная лекция. По теме 6.1

Лекция 6. Обзорная лекция. По темам 7.1 – 7.3

10. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Перечень лабораторных занятий [4]

1. Исследование симметричного вибратора (для данного раздела базовым является раздел 2).
2. Исследование линейной антенной решётки (для данного раздела базовым является раздел 3).
3. Исследование рупорных антенн (для данного раздела базовым является раздел 5).

4. Исследование зеркальных антенн (для данного раздела базовым является раздел 6).

На каждое лабораторное занятие отводится 4 часа.

11. КУРСОВАЯ РАБОТА

Цель курсовой работы – закрепление и углубление знаний по курсу, и применение их для решения инженерных задач.

Содержание и темы курсовых работ приведены в [3].

Базовыми для выполнения работы являются разделы 2 - 7.

Курсовая работа содержит расчёт, проектирование и сведения по эксплуатации антенны вместе с фидерным трактом, включающим в себя необходимые устройства СВЧ. При этом спроектированное устройство специализировано для применения в гражданской авиации.

Пояснительная записка содержит 15 - 20 страниц текста (стандартная писчая бумага формата А4), графическая часть работы содержит один чертёжный лист формата А3 с изображением антенны и фидерного тракта (эскиз).

Общее время самостоятельной работы над курсовой работой определяется в пределах 20 часов.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Учебный план дисциплины.....	3
2. Основные сведения о дисциплине.....	3
3. Литература.....	4
4. Электронные средства информации.....	4
5. Электронные адреса для консультации.....	4
6. Структура дисциплины.....	5
7. Терминология дисциплины.....	6
8. Учебная программа дисциплины и методические указания к изучению разделов и тем программы.....	7
9. Содержание лекций.....	12
10. Лабораторные занятия.....	12
11. Курсовая работа.....	13

Подписано в печать 27.04.2015 г.

Печать офсетная
1,16 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 2002/

0,92 уч.-изд. л.
Тираж 70 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а