

Предисловие

В современных системах радиосвязи с помощью радиоприемного устройства осуществляется не только прием (в узком смысле), но и обработка сигналов. Осуществление такой обработки предъявляет повышенные требования к стабильности частоты, работе систем автоматического и ручного управления, структуре частных трактов приемника. В связи с этим возросла роль радиоприемника как устройства, обеспечивающего как прием слабых радиосигналов, так и преобразование их к виду, необходимому для извлечения содержащейся в них информации. Поэтому радиоприем является не только важнейшей, но одной из наиболее трудных задач радиотехники.

Современный этап развития системы высшего образования характеризуется переходом к федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования (ФГОС ВО) третьего поколения. Они представляют собой совокупность требований, обязательных при реализации основных образовательных программ подготовки специалиста (бакалавра, магистра) образовательными учреждениями высшего профессионального образования (высшими учебными заведениями, вузами), имеющими государственную аккредитацию на территории России. ФГОС ВО — специалитет по специальности 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы» утвержден Приказом Минобрнауки России от 09.02.2018 г. № 95. Область профессиональной деятельности специалистов включает исследования и разработки, направленные на создание и обеспечение функционирования устройств, систем и комплексов, основанных на использовании электромагнитных колебаний и волн и предназначенных для передачи, приема и обработки информации, получения информации об окружающей среде, природных и технических объектах, а также воздействие на природные или технические объекты.

Дисциплина «Устройства приема и обработки сигналов» предназначена для подготовки выпускников по специализациям: «Радиотехнические системы и комплексы специального назначения», «Прием, анализ и обработка сигналов системами специального назначения», «Радиотехнические системы и комплексы сбора и обработки информации».

Дисциплина УПОС реализуется в рамках базовой части основной профессиональной образовательной программы. Актуальность

изучения дисциплины обусловлена необходимостью усвоения теоретических основ построения и овладения навыками практической эксплуатации радиоприемных устройств комплексов специального назначения. Дисциплина УПОС является базовой для изучения специальных дисциплин и вносит непосредственный вклад в подготовку выпускника.

В ходе изучения дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов» обучающиеся овладевают методикой расчета структурных схем радиоприемных устройств и их функциональных узлов по заданным тактико-техническим требованиям, получают навыки эксплуатации устройств приема и обработки сигналов систем радиосвязи и цифровых телевизионных сигналов, достаточные для самостоятельного изучения перспективных устройств приема и обработки сигналов, а также решения специальных задач в профессиональной деятельности.

Для успешного освоения дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов» обучающиеся должны изучить следующие дисциплины: математика, физика, основы теории цепей, радиоматериалы и радиокомпоненты, электроника, электродинамика и распространение радиоволн, радиотехнические цепи и сигналы, схемотехника аналоговых электронных устройств, цифровые устройства и микропроцессоры, устройства генерирования и формирования сигналов, устройства сверхвысоких частот и антенны, радиотехнические системы, сигналы систем радиосвязи и др.

Вследствие этого ряд вопросов, ранее традиционно рассматривавшихся в учебниках по курсу радиоприемных устройств (усилители, преобразователи частоты, детекторы и др.), данный учебник не охватывает.

Учебник по дисциплине «Устройства приема и обработки сигналов» соответствует курсу лекций по дисциплине согласно учебной программе и рассчитан на обучающихся всех специализаций. Он имеет целью оказать помощь в самостоятельном изучении теоретических основ и принципов построения радиоприемных устройств, способов обеспечения их качественных показателей, подготовить обучающихся к эксплуатации радиоприемных устройств в различных условиях помеховой обстановки. Учебник условно состоит из двух частей. Первая часть посвящена рассмотрению физических основ приема сигналов на фоне помех, принципов построения трактов сигнальной и промежуточной частоты радиоприемника супергетеродинного типа различных диапазонов волн, факторов, влияющих на качественные показатели РПУ. Вторая часть содержит основные положения по теории синтеза частоты, способам обеспечения регу-

лировок и построению частных трактов радиоприемного устройства при приеме сигналов с различными видами модуляции, принципам построения РПУ с цифровой обработкой сигналов.

Материалы учебника представляют собой обобщение и систематизацию теоретических положений из источников, приведенных в списке использованной литературы. Их структура соответствует сложившейся на кафедре специальных радиоэлектронных средств военного ордена Жукова университета радиоэлектроники методике чтения лекций и изучения радиоприемных устройств, разработанной и внедренной в учебный процесс преподавателями Н.А. Поповым, Н.В. Черепанкиным, В.В. Казаковым и другими.

Автор выражает глубокую благодарность рецензенту первого издания рукописи канд. техн. наук, доценту кафедры РЭС Санкт-Петербургского электротехнического университета «ЛЭТИ» М.Е. Шевченко, рецензентам Д.А. Тавалинскому и М.В. Печурину за ценные рекомендации, высказанные при рецензировании пособия, С.Н. Наумову — за предоставленные материалы в главу 21 и Е.В. Орехановой — за помощь в подготовке издания в печать.

Введение

Одним из основных этапов профессиональной подготовки по специальности 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы» является изучение дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов», закладывающей основание в специальную подготовку выпускников.

Важность изучаемой дисциплины состоит в ее практической значимости. Без преувеличения можно сказать, что не менее 40 % всей радиоэлектронной аппаратуры, находящейся в эксплуатации, — радиоприемные устройства. Любой пост в составе комплексов специального приема включает от одного до четырех и более радиоприемников. Их умелое использование, эксплуатация и ремонт в значительной мере предопределяет выполнение поставленных задач.

Число образцов устройств приема и обработки сигналов, с которыми придется иметь дело, достаточно велико, а их список, в силу оперативной необходимости, постоянно расширяется, усложняется структура.

Для их успешного освоения и применения нужны как фундаментальная теоретическая подготовка, так и навыки практической работы с радиоприемной аппаратурой.

Таким образом, выпускник вуза должен в совершенстве владеть сложной радиоэлектронной техникой, обеспечивать ее безаварийную эксплуатацию, находить наиболее эффективные пути использования ее в изменяющихся условиях, уметь в кратчайшие сроки осваивать новые образцы техники. Все эти качества призвана дать дисциплина, основные теоретические положения которой изложены в данной книге.

Предмет, цели и задачи дисциплины

Радиоприемное устройство (РПУ) является основной частью системы связи (рис. 1).

В любой системе связи осуществляется передача информации и ее прием. Поэтому система связи состоит из следующих основных частей: источника сообщений ИС, передающего устройства ПРДУ, радиоприемного устройства РПУ и получателя сообщений ПС. Среда, в которой электромагнитные волны распространяются от передающего устройства к приемному, называется каналом связи (КС).

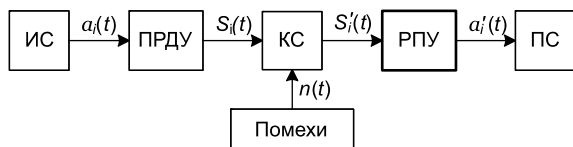


Рис. 1. Обобщенная схема системы связи

Радиоприемное устройство как элемент системы связи содержит антенно-фидерную систему АФС, собственно радиоприемник РПМ и оконечное устройство ОУ (рис. 2). Таким образом, под РПУ будем понимать АФС, радиоприемник и оконечное устройство, объединенные для выделения передаваемой информации с требуемым качеством.

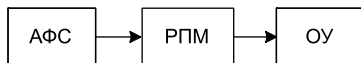


Рис. 2. Обобщенная схема РПУ

Антенно-фидерная система преобразует энергию электромагнитных волн в энергию высокочастотных колебаний и подводит их к входу радиоприемника. Современные АФС могут состоять из нескольких антенн с устройствами коммутации и фазирования.

Радиоприемник выделяет из подведенных к его входу колебаний полезные сигналы, усиливает их и преобразует к виду, необходимому для приведения в действие оконечного устройства.

Оконечное устройство служит для обработки, регистрации, воспроизведения сообщения в требуемой форме: визуальной, звуковой, в виде печатного текста, управляющих сигналов и т. д.

В простейшем случае в вещательных радиоприемниках эти элементы конструктивно выполняются как единое целое (внутренняя магнитная антенна — радиоприемник — динамическая головка).

В сложных профессиональных приемниках эти элементы выполняются конструктивно законченными блоками. Иногда с целью повышения качества и надежности приема в состав радиоприемного устройства может входить несколько радиоприемников и антенн.

В профессиональных радиоприемных устройствах специально назначения функции РПУ часто разнесены по различным устройствам, так, например, используются антенно-фидерные устройства коллективного пользования, демодулирующие устройства для сигналов со сложными видами модуляции, анализаторы спектра и собственно радиоприемники. В общем случае вариант применения РПУ в составе поста приема представлен на рис. 3.

Предметом дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов» (УПОС) являются физические процессы при радиоприеме, принципы построения радиоприемников и теоретические основы их проектирования.

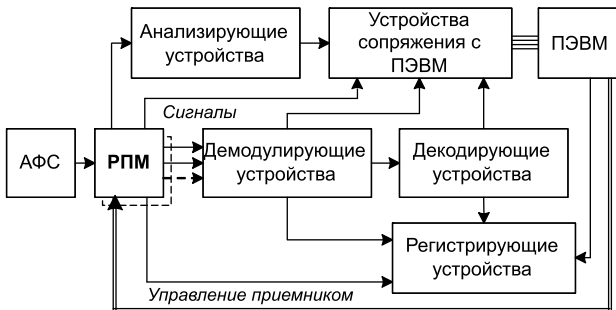


Рис. 3. Место РПУ в составе поста приема

Основная цель дисциплины УПОС — подготовка обучающихся к эксплуатации устройств приема и обработки сигналов радиотехнических систем и комплексов сбора и обработки информации.

Для успешного освоения дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов» обучающиеся должны изучить следующие дисциплины: «Математика», «Физика», «Основы теории цепей», «Радиоматериалы и радиокомпоненты», «Электроника», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Радиотехнические цепи и сигналы», «Схемотехника аналоговых электронных устройств», «Цифровые устройства и микропроцессоры», «Устройства генерирования и формирования сигналов», «Устройства сверхвысоких частот и антенны», «Радиотехнические системы», «Сигналы систем радиосвязи и РТО» и приобрести следующие знания, умения и компетенции.

Знать:

- основные понятия и методы математического анализа, дискретной математики;
- основные физические законы в области электричества и магнетизма, оптики;
- функциональные свойства, основные параметры, типы, принцип работы, режимы работы, основные характеристики и область применения радиоматериалов и радиокомпонентов, используемых в радиоэлектронной аппаратуре;
- основные методы измерения параметров и характеристик радиотехнических цепей и сигналов;
- основные виды сигналов в радиотехнике и методы их преобразования;
- основы схемотехники и элементную базу аналоговых и цифровых электронных устройств, архитектуру, условия и способы использования микропроцессоров и микропроцессорных систем в радиоэлектронных устройствах;

- основы теории дискретных и цифровых сигналов и систем.
Уметь:
 - учитывать в профессиональной деятельности современные тенденции развития электроники;
 - собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию в сфере профессиональной деятельности;
 - работать на современном измерительном оборудовании, используемом для решения научно-технических задач в области радиотехники;
 - анализировать состояние научно-технической проблемы на основе подбора и изучения литературных источников, определять цели и задачи проектирования;
 - рассчитывать основные показатели качества проектируемого устройства;
 - проектировать специальные радиотехнические устройства, выбирать рациональные решения на всех этапах проектирования для обеспечения характеристик объекта, определяющих его качество;
 - применять действующие стандарты, положения и инструкции по оформлению технической документации.
- Владеть:
- основными навыками работы с компьютером в сфере профессиональной деятельности;
 - методами решения задач анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов современной электроники;
 - основными приемами обработки и представления экспериментальных данных.
- Быть способным:
- рассчитывать основные технические характеристики средств приема и обработки сигналов;
 - применять современные средства приема и обработки сигналов;
 - разрабатывать предложения о совершенствовании средств приема и обработки сигналов;
 - выбирать рациональные системотехнические решения построения средств приема и обработки сигналов, удовлетворяющих заданным требованиям;
 - проводить подбор, изучение, анализ и обобщение научно-технической информации, нормативных и методических материалов по методам приема и обработки сигналов.

При реализации программы специалитета по специальности 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы» вуз выбирает одну из специализаций. Например, в рамках специализации «Пример, анализ и обработка сигналов системами специального назначения» осуществляется подготовка выпускников, которые по своему уровню, разносторонности и глубине научно-технических знаний должны быть способны к самостоятельному решению инженерных задач высокой степени сложности.

По окончании обучения специалисты должны уметь:

- применять современные средства приема, анализа и обработки сигналов;
- разрабатывать и программно реализовывать алгоритмы приема, анализа и обработки сигналов;
- модифицировать базовое программное обеспечение средств приема, анализа и обработки сигналов;
- выбирать рациональные системотехнические решения построения средств приема, анализа и обработки сигналов;
- проводить подбор, изучение, анализ и обобщение научно-технической информации, нормативных и методических материалов по методам приема, анализа и обработки сигналов.

Дисциплина УПОС является базовой для изучения дисциплин (модулей) специализации и вносит непосредственный вклад в подготовку выпускника.

В ходе изучения дисциплины обучающиеся:

- изучают теоретические основы построения устройств приема и обработки сигналов различных диапазонов волн;
- овладевают методикой расчета структурных схем основных трактов радиоприемных устройств и их функциональных узлов по заданным тактико-техническим требованиям;
- получают навыки эксплуатации устройств приема и обработки сигналов систем радиосвязи, достаточные для самостоятельного изучения перспективных устройств приема и обработки сигналов, а также решения специальных задач в профессиональной деятельности.

Знания и умения, приобретенные в процессе изучения дисциплины, используются при освоении специальных дисциплин, в ходе изучения которых обучающиеся углубляют знания по эксплуатации радиоприемных устройств, их сопряжению с другими элементами специальных комплексов.

В процессе обучения особое внимание должно уделяться подготовке выпускников к практической деятельности по применению устройств приема и обработки сигналов, формированию способно-

стей самостоятельно осваивать новые (перспективные) типы радиоприемных устройств.

Одной из целей дисциплины УПОС является изучение общих теоретических принципов и методов анализа, синтеза и оптимизации радиоприемных устройств. Сущность задачи анализа заключается в том, что необходимо определить, как влияют структуры и параметры тех или иных функциональных устройств на характеристики радиоприемника, какими способами обеспечиваются ТТХ РПУ. Сущность синтеза заключается в том, что необходимо найти такие функциональные узлы и их параметры, так их согласовать, чтобы получить законченное устройство — радиоприемник, который обладал бы заданной совокупностью требуемых качественных показателей.

Четыре–пять десятилетий назад задачи синтеза радиоприемных устройств, соответствующих предъявленным к ним техническим требованиям, не отличались большой сложностью, они сводились к уточнению небольшого числа параметров ряда узлов и компонентов приемника, построенного по более или менее канонической схеме.

Сравнительная простота этих задач определялась тем, что:

- в радиосистемах применялись всего лишь 4–5 сравнительно простых видов модуляции сигналов;
- помехи радиоприему также не отличались сложностью, а интенсивность их была невысокой;
- уровень развития электронной техники затруднял применение тонких и сложных методов обработки радиосигналов в приемнике.

В последние десятилетия чрезвычайно увеличилось число радиосистем, разнообразие типов применяемых в них сигналов. Соответственно повысились уровни сложности взаимных помех, кроме того, возросла роль систем электронного противодействия и радиоэлектронной борьбы (РЭБ). В то же время развитие полупроводниковой электроники и особенно микроэлектроники дало возможность усложнить структуры радиоприемных устройств и способы обработки принимаемых сигналов, расширились функции радиоприемников. Радиоприемники получили новое качественное развитие, связанное с автоматизацией процессов радиоприема.

В результате возросли актуальность и сложность задач синтеза структур радиоприемных устройств, отвечающих новым требованиям и оптимальных по своим техническим и экономическим показателям.

Порядок прохождения и методические указания по изучению дисциплины

Изучение дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов» осуществляется путем чтения лекций, проведения семинаров, групповых, лабораторных и практических занятий, а также в ходе самостоятельной подготовки обучающихся. Обязательным является выполнение курсового проекта по расчету функциональной схемы радиоприемного устройства. При изучении дисциплины особое внимание уделяется приобретению обучающимися твердых знаний по принципам построения структурных схем базовых РПУ различных диапазонов волн и привитию навыков в технически грамотной эксплуатации радиоприемной аппаратуры.

Лекции составляют основу теоретического обучения по дисциплине «Устройства приема и обработки сигналов» и должны:

- дать систематизированные основы научных знаний по дисциплине;
- раскрывать состояние и перспективы развития радиоприемных устройств различных диапазонов частот, методов формирования и обработки сигналов цифрового телевизионного вещания;
- концентрировать внимание обучающихся на наиболее сложных и узловых вопросах, стимулировать их активную познавательную деятельность и способствовать формированию творческого мышления.

В ходе лекционных занятий у обучающихся формируется теоретическая база универсальных, профессиональных и профессионально-специализированных компетенций.

Чтобы быть полноценным участником лекционного процесса, на лекцию обучающийся должен приходить внутренне настроенным и подготовленным к ее восприятию. Материал предыдущей лекции должен быть проработан и освежен в памяти.

Лекцию нужно уметь слушать и конспектировать. Отвлечение посторонним, неаккуратная, небрежная запись приводят к плохому усвоению материала.

При написании конспекта хорошо оставлять свободные места, полезно предусматривать поля, так как при проработке материала с использованием книги может возникнуть и часто возникает необходимость дополнить, а иногда и скорректировать записи. Важно подчеркнуть, что именно такая работа с конспектом приводит к необходимой глубине понимания и освоения предмета.

Однако конспект не может рассматриваться как главное, а тем более единственное пособие. Его скорее следует представлять как развернутую программу дисциплины.

Основным учебным пособием должна оставаться книга. При подготовке к лекциям, групповым и практическим занятиям использование источников литературы, рекомендованных для соответствующих дидактических единиц, является обязательным условием успешного освоения профессиональных компетенций.

В разделе «основная литература» обучающимся предлагается ознакомиться с базовыми учебными источниками, обеспечивающими необходимый уровень освоения теоретического материала. При этом обучающимся могут быть использованы и иные альтернативные источники, рекомендуется также проведение сравнительного анализа позиций и взглядов авторов источников, указанных в учебной программе и найденных самостоятельно. В случае возникающих логических противоречий, выявления неточностей, связанных с разными источниками, необходимо обратиться к преподавателю, ведущему дисциплину, за консультацией.

Раздел «дополнительная литература» также содержит источники, обязательные для аудиторной и внеаудиторной работы, как в изучении теоретического материала, так и конкретных инженерно-технических решений базовых устройств приема и обработки сигналов, принципов их проектирования и т. п. Ознакомление с ними формирует углубленные знания обучающихся о предмете дисциплины, позволяет сформировать практические навыки и умения. Вся рекомендованная литература учебной программы либо находится в библиотеке, либо обеспечена доступом в электронную библиотечную систему вуза.

Кроме того, целесообразно периодически просматривать статьи в журналах «Журнал радиоэлектроники», «Компоненты и технологии», «Радиотехника», «Техника радиосвязи», «Успехи современной радиоэлектроники», «Электросвязь» и др.

Семинары проводятся по наиболее сложным вопросам (темам) учебной программы и имеют целью углубленное изучение учебной дисциплины, проверку усвоения учебного материала, привитие обучающимся навыков самостоятельного поиска и анализа учебной и научной информации, формирование и развитие у них научного мышления, умения активно участвовать в творческой дискуссии, делать выводы, аргументировано излагать и отстаивать свое мнение. Семинары являются также одной из форм контроля самостоятельной работы обучающихся.

Групповые занятия — вид занятий с учебной группой, на котором положения теоретического материала рассматриваются с широким показом их приложения к решению конкретных практических задач. Они проводятся с целью изучения принципов построения

ния базовых РПУ и составляют основу обучения по организации их применения, эксплуатации и ремонта. Групповые занятия проводятся также для изучения вопросов, освоение которых не достигается проведением других видов занятий.

Групповые занятия по дисциплине «Устройства приема и обработки сигналов» проводятся в целях изучения:

- тактико-технических характеристик, возможностей, принципов построения структурных (функциональных) схем базовых РПУ различных поколений и диапазонов рабочих частот;
- способов обеспечения основных качественных показателей (диапазона рабочих частот, чувствительности, одно- и многосигнальной избирательности, частотной точности) в радиоприемных устройствах;
- аппаратуры, принципов формирования и обработки цифровых телевизионных сигналов.

Кроме того, в ходе групповых занятий у обучающихся должна быть выработана общая методика изучения новых образцов устройств приема и обработки современных сигналов.

Практические занятия по разделу «Теоретические основы построения радиоприемных устройств» дисциплины УПОС проводятся в целях:

- выработки практических умений и приобретения навыков в применении методов, методик и техники научно-исследовательской работы, в решении задач, выполнении чертежей, производстве расчетов, в использовании специализированного программного обеспечения;
- привития умений и навыков в решении задач с использованием электронно-вычислительной техники, средств автоматизации и механизации;
- закрепления основных теоретических положений о принципах построения линейного тракта приемника в зависимости от обеспечения заданных качественных показателей, о назначении и физических процессах, происходящих в нем.

Практические занятия по разделу «Радиоприемные устройства комплексов специального приема» проводятся в целях:

- освоения базовых РПУ, овладения методами их применения и эксплуатации в различных режимах работы (подготовки к работе, проверки работоспособности, проведения эксплуатационных регулировок, эксплуатации);
- отработки нормативов по практической работе на базовых радиоприемных устройствах.

Главным содержанием практических занятий является практическая работа каждого обучающегося.

Лабораторные работы посвящены экспериментальному исследованию тракта принимаемой частоты, детальному изучению физической стороны процессов, протекающих в реальных устройствах.

Курсовой проект предполагает проведение расчета функциональной схемы РПУ по индивидуальным для каждого обучающегося исходным данным.

Самостоятельная работа является частью учебной деятельности обучающихся по освоению основной профессиональной образовательной программы и организуется в целях закрепления и углубления полученных на всех видах учебных занятий знаний и навыков, формирования культуры умственного труда, самостоятельности и инициативы в поиске и приобретении новых знаний, а также выполнения курсовых работ (учебных заданий), подготовки к предстоящим занятиям, зачетам и экзаменам.

Самостоятельная работа должна носить систематический и непрерывный характер в течение всего периода обучения. Ее методическое обеспечение осуществляется кафедрой. Для обеспечения целенаправленной и систематической самостоятельной работы обучающихся кафедры должны:

- выносить на самостоятельную работу те вопросы учебных дисциплин, которые могут быть ими освоены при активной самостоятельной работе и развивают их навыки в проведении научных исследований;
- указывать обучающимся обязательную и дополнительную литературу, исходя из реальных возможностей ее проработки в рамках предусмотренного бюджета времени;
- обеспечивать обучающихся актуальными учебниками, учебными пособиями и другими учебно-методическими материалами;
- в заданиях на подготовку к различным видам учебных занятий тщательно разрабатывать методические рекомендации по самостоятельной подготовке обучающихся к этим занятиям;
- проводить индивидуальные и групповые консультации;
- обеспечивать самостоятельную работу обучающихся техническими средствами обучения, тренажерами и специальной техникой.

Консультации являются одной из форм руководства самостоятельной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном освоении учебного материала. Консультации проводятся регулярно в часы самостоятельной работы в течение всего периода обучения по мере возникновения потребности, по предварительной