

Преподавание курса «Устройства приема и преобразования сигналов» в МГТУ им. Н.Э. Баумана

77-48211/582881

06, июнь 2013

Кузьмина Е. К., Жаркова Н. А.

УДК 621.396.7

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

poletekk@rambler.ru

Zarkova06@mail.ru

Преподавание курса «Устройства приема и преобразования сигналов» («УПиПС», ранее – курс «Радиоприемные устройства») в МГТУ им. Н.Э. Баумана ведет кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства» с момента своего образования в 1947г. Основными целями изучения дисциплины являются приобретение теоретических знаний и практических навыков в области приема и преобразования сигналов (УП и ПС), овладение принципами функционирования, методами расчета и анализа УП и ПС.

Основным акцентом при формировании структуры курса «УПиПС» в МГТУ и ранее и в настоящее время являлось ознакомление учащихся, будущих радиоспециалистов, с чувствительными приемниками радиотехнических систем диапазона сверхвысоких частот (СВЧ). Как известно, в этом диапазоне целесообразно построение наиболее чувствительных приемников в связи с тем, что шум пространства может быть сравнительно невысоким, а информативность передаваемых сообщений высока. На кафедре «Радиоэлектронные системы и устройства» совместно с НИИ РЭТ МГТУ с середины прошлого века и по настоящее время ведется постоянная разработка и оптимизация таких устройств. Так в 60-90-е годы прошлого века при непосредственном участии и под руководством профессора кафедры Б.А. Розанова были разработаны и внедрены в серию полупроводниковые параметрические маломощные усилители дециметрового диапазона, позволившие в несколько раз улучшить чувствительность приемников РЛС и в полтора раза увеличить дальность работы этих РЛС. Разработаны смесители и приемники миллиметрового диапазона. В это же время на загородной базе МГТУ совместно с ФИАН им. П.Н.Лебедева и УЭЦ Дмитровского филиала был создан

уникальный радиотелескоп миллиметрового диапазона РТ-7,5, который в настоящее время служит научной и учебной лабораторией при исследовании различных и постоянно совершенствующихся чувствительных приемников. Создана серия приемников шумовых сигналов – радиометров, обеспечивающих пассивную локацию различных природных объектов в миллиметровом диапазоне волн.

Выполненные на кафедре и в НИИ работы по расчету элементов структуры приемников (МШУ, конструкций СВЧ-смесителей и пр.), вариантов реализации схем самих приемников и оптимизации процедур обзора пространства регулярно публиковались и составили существенную часть разработанного курса «Радиоприемные устройства» (далее «УПиПС»). В 2000г и 2003г. профессором Б.А. Розановым были опубликованы первая и вторая части конспекта лекций «Приемники радиосистем», ч.1 и 2 [1,2], прочтенных в основном потоке специальности.

С появлением спутников быстрое развитие получило направление создания радионавигационных устройств. Учебно-научная лаборатория кафедры и НИИ «Приема и обработки сигналов», руководимая профессором И.Б.Власовым, в настоящее время активно развивает работы по расчету и реализации навигационных устройств, в том числе и приемников, для ГЛОНАСС. Результаты этих научных разработок также находят отражение в учебном процессе: при чтении лекций, при выполнении лабораторных работ, домашних заданий, курсовых и дипломных работ.

Настоящая программа курса «УПиПС» составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования с учетом требований к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по специальности 201601 «Радиоэлектронные системы и комплексы». Программа опирается в значительной части на разработанные ранее варианты, а также учитывает последние достижения в области радиоприема и развития образовательных технологий. Современным и перспективным направлением в целях повышения уровня и качества образования является применение информационно-коммуникационных технологий как в теоретической подготовке, так и в практических занятиях. Интернет-ресурсы программы включают различные мультимедийные составляющие, значительный объем текстовой и графической информации, что может послужить дополнительной мотивацией студента к освоению теоретической и практической части курса.

Освоение дисциплины «УПиПС» предусматривает наличие у студентов первоначальных знаний и умений по предварительно изучаемым в МГТУ дисциплинам: «Инженерная и компьютерная графика», «Радиоматериалы и радиокомпоненты», «Метрология и радиоизмерения», «Электроника», «Основы теории цепей»,

«Радиотехнические цепи и сигналы», «Схемотехника аналоговых электронных устройств», «Цифровые устройства и микропроцессоры», «Цифровая обработка сигналов».

В свою очередь, знания, умения и навыки, приобретенные студентами в результате изучения дисциплины «УПиПС», необходимы для изучения дисциплин, следующих за этим курсом: «Основы радионавигации», «Основы теории и техники радиосистем и комплексов управления», «Основы теории и техники радиосистем передачи информации», «Спутниковые системы связи».

Чтение базовых курсов в МГТУ проводится для всех групп специальности. Дисциплина «УПиПС» входит в базовую часть профессионального цикла подготовки радиоинженеров по специальности 201601. Продолжительность изучения – один семестр. Трудоемкость дисциплины «УПиПС» – 6 зачётных единиц, что составляет 216 учебных часов, из них 102 часа выделяется на аудиторные занятия, включая 68 – на чтение лекций, 17- на проведение семинаров и 17 – на лабораторные занятия. Остальные часы отведены для самостоятельной проработки курса, выполнения двух домашних заданий, подготовки к семинарам и лабораторным работам, подготовки к рубежным контролям, проводимым по окончании каждого модуля курса, для подготовки к экзамену.

Рекомендуемый в настоящее время Минвузом рейтинго-модульный принцип организации преподавания дисциплин хорошо ложится на традиционную методику преподавания курса «УПиПС». Весь курс разбивается на ряд тем, по которым в соответствии с прочитанными лекциями выполняются домашние задания, проводятся семинарские и лабораторные занятия, и каждый цикл замыкается рубежным контролем с зачетной оценкой очередной части пройденного материала. Уровень ответов на экзамене может повысить усредненную по семестру зачетную оценку.

С 2013-го года курс «УПиПС» разбивается на два больших модуля. Первый модуль включает 6 основных тем и посвящен построению основных структурных схем приемников, основным характеристикам приемников, шумам и малошумящим входным устройствам, приемникам шумовых сигналов - радиометрам. Во втором модуле курса рассматриваются основные узлы УП и ПС, способы реализации и анализа их схем. Второй модуль включает также 6 основных тем.

Укрупненно **структура и содержание курса**, с указанием соответствующих временных затрат на изучение отдельных тем модулей, представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ тем модуля	Модули	Лекции, час	Семинары, час	Лабораторные работы, час	Самостоятельная работа, час	Литература
	Модуль 1. Шумы и малозумящие входные устройства					
1.1	Введение	2				[1-5]
1.2	Структурные схемы основных типов приемных устройств и их характеристики	4	4	4	25	[1-5]
1.3	Основные источники шумов приемной аппаратуры	6	2		10	[1-5]
1.4.	Шумовые характеристики приемников	6	2		5	[1-5]
1.5	Малозумящие входные устройства	8	1		5	[2-5]
1.6	Приемники шумовых сигналов - радиометры	8		6	15	[2,7]
	Итого по модулю 1	34	9	10	60	
	Модуль 2. Основные узлы УП и ПС					
2.1	Избирательные усилители с распределенной избирательностью	5	4		20	[2-5]
2.2	Избирательные усилители с сосредоточенной избирательностью	5	2		10	[2-5,9]
2.3.	Преобразователи частоты	8	2		10	[2-5]
2.4.	Гетеродинный тракт и регулировки приемника	4		7	10	[3-5]
2.5	Амплитудные детекторы радиосигналов	6				[2-5]
2.6	Частотные и фазовые детекторы радиосигналов	6			4	[2-5]
	Итого по модулю 2	34	8	7	54	
	Итого по дисциплине	68	17	17	114	

Ниже более подробно приведены содержание лекций, семинаров, лабораторных работ, домашних заданий и структуры оценок по каждой из тем модулей.

Лекции

Модуль 1. Шумы и малошумящие входные устройства

1.1. Введение

Место и значение дисциплины «Устройства приема и преобразования сигналов» в подготовке радиоинженера. Краткий исторический обзор развития радиоприемных устройств. Содержание дисциплины, рекомендуемая литература,

1.2. Структурные схемы основных типов приемных устройств их характеристики.

Назначение, основные функции и характеристики приемных устройств. Типы сигналов и помех в различных диапазонах волн. Функциональные схемы радиоприемников основных типов: детекторного, регенеративного, суперрегенеративного, прямого усиления, супергетеродинного. Назначение отдельных узлов приемников и требования к ним. Выбор промежуточной частоты супергетеродинного приемника.

1.3. Источники шумов приемной аппаратуры

Прохождение белого шума через линейные четырехполосники. Эквивалентная шумовая полоса четырехполосника. Источники шумов. Тепловые шумы, формула Найквиста. Эквивалентная шумовая температура двухполосника. Шумы антенны и фидерного тракта, их источники. Дробовые шумы, формула Шотки. Низкочастотные шумы.

1.4. Шумовые характеристики приемников

Коэффициент шума и эквивалентная температура четырехполосника и многокаскадной схемы. Шумы вакуумных и полупроводниковых приборов. Измерительные шумовые генераторы. Согласование с источником сигнала, обеспечивающее минимум коэффициента шума.

1.5. Малошумящие входные устройства

Обзор текущего состояния техники малошумящих приемных устройств СВЧ и КВЧ, их особенности. Малошумящие усилители разных типов, принцип действия, характеристики, область применения. Преобразователи частоты как малошумящие входные устройства. Сравнительные характеристики малошумящих устройств на диаграмме частота - шумовая температура. Шумы приемной антенны и методы ее снижения ее шумов.

1.6. Приемники шумовых сигналов - радиометры

Назначение, области применения и классификация радиометров. Радиояркостный контраст металлических объектов на фоне подстилающей поверхности. Перенос

радиотеплового излучения через поглощающую среду. Компенсационный радиометр, его флуктуационная чувствительность. Модуляционный радиометр с амплитудной и диаграммной модуляцией. Радиометр корреляционного типа. Двухантенный интерферометр как фильтр пространственных частот. Понятие апертурного синтеза. Измерение флуктуационной чувствительности и методы калибровки радиометров.

Модуль 2 Основные узлы УП и ПС

2.1.Избирательные усилители с распределенной избирательностью

Основные типы избирательных усилителей. Усилители радио- и промежуточной частоты. Формирование характеристики избирательности в схемах с распределенной и сосредоточенной избирательностью. Многокаскадные усилители напряжения с распределенной избирательностью: резонансные, с расстроенными двойками и тройками контуров, двухконтурными полосовыми фильтрами, смешанного типа. Анализ переходных искажений в избирательных усилителях. Согласование каскадов на биполярных транзисторах при наличии потерь в избирательных системах Устойчивость резонансных каскадов, способы ее повышения: нейтрализация, коррекция, применение каскодных схем. Выбор элементов в схемах избирательных усилителей. Эквивалентность усилителям низкой частоты по вносимым искажениям.

2.2.Избирательные усилители с сосредоточенной избирательностью

Усилители с фильтрами сосредоточенной селекции (ФСС). ФСС электрического и электромеханического типов. Фильтры на объемных и поверхностных акустических волнах. Цифровые фильтры. Активные RC-фильтры.

2.3.Преобразователи частоты

Основные характеристики преобразователей частоты. Типы и схемы преобразователей различных диапазонов волн. Теория преобразования. Внутренние и внешние параметры преобразователей. Их расчет для различных схем. Шумы в преобразователях частоты; роль шумов гетеродина, способы их уменьшения. Балансные схемы смесителей, их конструкции в СВЧ диапазоне. СВЧ смесительные диоды, их эквивалентные схемы. Смесители миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн. Современная теория и расчет волноводных диодных смесителей. Основные типы гетеродинов приемников различных диапазонов, требования к ним. Смесители с фазовым разделением верхней и нижней полос приема.

2.4. Гетеродинный тракт и регулировки приемников

Основные типы используемых гетеродинов и синтезаторы частоты. Автоматическая постройка частоты и методы ее реализации в приемниках (ЧАПЧ и ФАПЧ). Регулировки усиления и автоматические регулировки усиления (АРУ) в приемниках.

2.5. Амплитудные детекторы радиосигналов

Классификация детекторов. Амплитудные детекторы непрерывных сигналов, их основные характеристики, типы и схемы. Детекторы на транзисторах, их схемы и характеристики. Эквивалентная схема детектора для частот модуляции. Внутренние и внешние параметры детекторов в режимах детектирования слабых и сильных сигналов. Расчет детекторов по характеристикам выпрямления и колебательным характеристикам. Частотные и нелинейные искажения при детектировании. Расчет элементов диодного детектора. Детекторы импульсных сигналов: детектор импульсов, пиковый детектор. Расчет переходных искажений. Взаимодействие двух колебаний при детектировании.

Особенности детектирования однополосных сигналов и структурная схема однополосного приемника.

2.6. Частотные и фазовые детекторы радиосигналов

Частотные и фазовые детекторы, области применения, основные схемы и характеристики. Дифференциальный и дробный частотные детекторы. Частотные детекторы, построенные с использованием цифровой техники. Частотные детекторы с линией задержки и на интегральных микросхемах. Импульсно-счетные частотные детекторы. Предыскажения и их коррекция при частотной модуляции.

Балансный и коммутационный фазовые детекторы. Фазовая синхронизация. Синхронный прием. Цифровой фазовый детектор и ФД умножительного типа

Семинары

На семинарах студенты под руководством преподавателя выполняют упражнения для закрепления знаний, приобретенных на лекциях. Решение задач проводится в интерактивном режиме, когда преподаватель ставит задачу и, в случае необходимости, помогает студентам найти правильное решение.

Одновременно с прохождением лекционного материала **модуля 1** по п.п.1.2-1.5 (см.таблицу 1) на семинарских занятиях учащиеся знакомятся с методикой эскизного расчета высокочастотной части супергетеродинного приемника, выбором его схемы и оценкой параметров каскадов, расчетом шумовых характеристик двух- и четырехполосников, оценкой чувствительности вариантов МШУ и системы антенна-приемник (всего 9час).

При прохождении лекционного материала по п.п.2.1-2.3 **модуля 2** (см.таблицу 1) на семинарах учащиеся рассчитывают параметры электрических схем избирательных каскадов, оценивают их устойчивость, знакомятся с расчетом преобразователей частоты и технологиями расчета ФСС (всего 8час).

Лабораторные работы

На лабораторных работах студенты приобретают практические навыки работы с исследуемыми устройствами. Эти занятия проводятся в специализированных лабораториях, оснащенных современными генераторами сигналов и измерительной аппаратурой на специально разработанных в МГТУ макетах и стендах. В компьютерных классах исследуемые устройства моделируются с помощью специализированных пакетов программ.

Тема 1.3 **модуля 1** включает исследование основных характеристик супергетеродинного приемника (4ч). Работа выполняется на основе специально разработанного и изготовленного в МГТУ макета приемника.

Тема 2.4 **модуля 2** включает лабораторное исследование систем автоматических регулировок (АРУ и АПЧ) на основе модификаций того же макета (3+4часа).

Для изучения темы 1.6 **модуля 1** «Антенны и аппаратура РТ-7,5 МГТУ» (6 часов) организуется выезд студентов на территорию филиала МГТУ им. Баумана в Дмитровский район МО, пос. Орево. Работа комплекса устройств РТ-7,5 в некоторых аспектах может осуществляться, как уже отмечалось, и в режиме удаленного доступа (см. сайт Интернет-лаборатории ГНСС МГТУ www.lab-gnss.bmstu.ru). На площадке радиотелескопа студенты знакомятся непосредственно с самими антеннами, устройствами управления и контроля работы радиотелескопа, приемниками различных частотных диапазонов. С помощью радиотелескопа МГТУ в настоящее время, кроме обслуживания лабораторного практикума, ведется постоянное наблюдение солнца, снимаются солнечные карты, ведутся работы по распространению радиоволн, работы, связанные с приемом спутниковых сигналов и пр. Знакомство с этими работами позволяет студентам в дальнейшем расширить круг выбираемых реальных тем курсовых и дипломных работ в рамках выбранной специализации.

Самостоятельная работа

Модуль 1 «Шумы и малошумящие входные устройства» включает выполнение домашнего задания №1 «Эскизный расчет высокочастотных каскадов приемника» (25 ч.) и самостоятельную проработку курса лекций и методических материалов в рамках подготовки к лабораторным работам и к рейтинговому контролю по материалам модуля 1.

Используются конспекты лекций и литература [1,2,8], в том числе методические указания по лабораторным работам [7,10].(35 ч.). Выполняется домашнее задание №1 «Эскизный расчет высокочастотных каскадов приемника» [6] (25 ч.)

Модуль 2 «Основные узлы УП и ПС» включает выполнение домашнего задания №2 «Электрический расчет высокочастотных каскадов приемника» [6] (25 ч.) и самостоятельную проработку курса лекций с целью подготовки к рейтинговому контролю по материалам модуля 2 и к сдаче экзамена. Используются конспекты лекций и прочая литература. (34ч.)

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

На первой лекции курса «УП и ПС» студенты получают представленные в электронном виде все минимально необходимые материалы по курсу либо перемещая их на свой электронный носитель из электронной библиотеки преподавателя , либо обращаясь на сайт кафедры РЛ-1 www.bmstu.ru/~rl1/ в электронном университете. Большая часть рекомендуемых материалов существует и в печатном виде.

Перечень предоставляемых студентам материалов включает:

- 1)курс лекций [1, 2] (сокращения, исправления и дополнения вносятся ведущими преподавателями по мере чтения лекций и на практических занятиях),
- 2)методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу с контрольными вопросами и формами отчетов по каждой из работ [6,10],
- 3)учебное пособие для ознакомления с аппаратурой комплекса РТ-7,5[6],
- 4)учебные пособия по расчету домашних заданий (с указаниями по решению ряда встречающихся при расчете приемников типичных задач) [6,8],
- 5) экзаменационные вопросы и контрольные вопросы для подготовки к рубежным контролям, завершающим прохождение материала модулей,
- 6)список основной и дополнительной литературы (приведен ниже).

Прохождение рубежных контролей (РК1 и РК2) и сдача экзамена

Проведение рубежных контролей позволяет оценить степень усвоения каждой части материала модулей дисциплины. На кафедре использовались различные технологии опроса по темам курса. При прохождении рубежных контролей по каждому из модулей студенты письменно отвечают на предложенный преподавателем билет, содержащий несколько вопросов данного модуля. Опрос с выбором правильного ответа из предложенных нескольких альтернативных вариантов, хотя существенно мог бы сократить затраты времени на проверку контрольных, кафедра не сочла

удовлетворительным. Пользование конспектом и прочими источниками по курсу допускается лишь при сдаче экзамена, но исключено при текущем контроле в семестре.

Пример билета РК1

1. Супергетеродинный приемник: структурная схема, достоинства, недостатки.
2. Что такое динамический диапазон приемника? Чем ограничен?
3. Эквивалентная шумовая температура антенны с потерями.
4. Определить, при каком высокочастотном усилении приемника (в дБ) эффективное значение шума на входе детектора составит 1 мВ, если $T_A=90\text{К}$, $T_{ш\text{ пр}}=200\text{К}$, $R_{вх\text{ дет}}=100\text{Ом}$, $\Pi_{ш\text{ э}}=100\text{МГц}$.
5. Квантовые парамагнитные усилители: принцип получения усиления, шумовая температура.

Пример билета РК2

1. Усиление многокаскадного резонансного усилителя.
2. Детектирование АМ-сигналов: синхронный детектор.
3. Преобразователи частоты: выбор режима работы и амплитуды гетеродина.
4. Что такое низкочастотный эквивалент высокочастотного усилителя?
5. Основные соотношения для входной цепи при согласовании по шуму.

Пример экзаменационного билета.

1. Основные типы частотных детекторов. Примеры схемной реализации.
2. Модуляционный радиометр. Структурная схема. Чувствительность.
3. Коэффициент шума и эквивалентная шумовая температура многокаскадной схемы.

Рейтинговая система оценки знаний

Результатирующая оценка знаний студента по дисциплине складывается на основе суммирования баллов, начисляемых за каждый отдельный этап прохождения курса по результатам различных форм промежуточного контроля.

При этом максимальное количество баллов, которое студент может набрать за семестр, – 100, из них максимальное число баллов в семестре за оба модуля – 70 и максимальное число баллов за экзамен – 30.

Пример предлагаемых минимально удовлетворительных и максимально возможных проходных оценок в баллах по конкретным контрольным мероприятиям курса «УПиПС» приведены в таблице 2

Таблица 2

Модуль	Лекции	Семинары	Домашние задания	Рубежный контроль	Лабораторные работы	Всего
M1	4...6	2...4	3...7	7...14	2...4	18...35
M2	4...6	2...4	3...7	7...14	2...4	18...35
Итого за оба модуля семестра						36...70
Экзамен						24...30
Итоговая оценка в баллах по дисциплине						60...100

Как видно из таблицы 2, защита модулей 1 и 2 принимается при получении от 18 до 35 баллов. Минимальная суммарная оценка по обоим модулям ниже 36 баллов равносильна оценке «не зачтено» и «не допуск» к экзамену.

Экзаменационный билет состоит из нескольких вопросов и соответствует следующей градации оценок :

30 – полный ответ, 24 – достаточно полный ответ с небольшими неточностями, 21 – неполный, но по сути правильный ответ, 12 – неполный ответ со значительными неточностями, 6 – приведены логически не связанные, но частично правильные утверждения, 0 – неявка на экзамен.

Оценка (в баллах), полученная на экзамене, суммируется с баллами, полученными за семестр. Перевод проходной суммы баллов в итоговую оценку по дисциплине в семестре осуществляется в соответствии с положением модульно-рейтинговой системы в МГТУ им. Н.Э. Баумана: оценка «удовлетворительно» или «зачет» по дисциплине выставляется при накоплении от 60 до 74 баллов, «хорошо» от 75 до 89 баллов, «отлично» от 90 до 100 баллов.

Дополнительные баллы.

Студент может получить дополнительные аттестационные баллы, если он выполняет учебную работу, не предусмотренную календарным учебным планом, как-то:

- успешно принимает участие в олимпиадах;
- занимается научной работой на кафедре, участвуя в студенческих научных конференциях (с подготовкой и представлением доклада, реферата или презентации) и т.п.

Сумма дополнительных баллов в каждом конкретном случае определяется кафедрой (не более 10 баллов).

В течение семестра проводится обязательная передача данных в электронный университет о состоянии рейтинга студента на указанный момент времени обучения:

- на 7-й неделе – результаты контрольных мероприятий модуля 1;
- на 15-й неделе – результаты контрольных мероприятий модуля 2;

Заключение

В результате освоения курса «УПиПС» приобретённые знания, умения и навыки учащихся будут удовлетворять требованиям общепрофессиональных компетенций, компетенций в проектно-конструкторской и научно-исследовательской деятельности, формулируемых образовательным стандартом МГТУ для специальности 201601.

Список основной и дополнительной литературы по курсу «УПиПС»

Основная литература:

1. Розанов Б.А. Приемники радиосистем (конспект лекций). - Часть 1. - М.: Изд. МГТУ, 2000. - 56с.
2. Розанов Б.А. Приемники радиосистем: Конспект лекций по курсу «Радиоприемные устройства». – Ч. II. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 152с.: ил.
3. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов./Н.Н.Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин и др.; Под ред. Фомина Н.Н. – 3-е издание, стереотип.-М.: Горячая линия-Телеком, 2007. - 520 с.: ил.
4. Радиоприемные устройства: Учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / Ю.Т. Давыдов, Ю.С. Данин, А.П. Жуковский и др.; Под ред. Жуковского. - М.: Высш.шк., 1989. - 342 с.
5. Буга Н.Н., Фалько А.П., Чистяков Н.И.: Радиоприемные устройства. - М.: Радио и связь, 1986.

Дополнительная литература:

6. Жаркова Н.А. Кузьмина Е.К. Эскизный расчет радиоприемника. Учебное пособие - М.: Изд-во МГТУ, 2007. - 25 с.: ил. (электронная версия)
7. Парщиков А.А., Жаркова Н.А., Рыжов В.А. Антенна и аппаратура радиотелескопа МГТУ., 2010 (электронная версия).
8. Сифоров В.И. Сборник задач и упражнений по курсу «Радиоприемные устройства». Учебное пособие для вузов. - М.: - 1984
9. Розанов Б.А., Соловьев Г.Н., Кузьмина Е.К. Техника оптимальной фильтрации (учебное пособие). - М.: Издательство МВТУ. - 1988. - 25 с.

10. Ефремов В.А., Кузьмина Е.К., Мыкольников Я.В. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Устройства приема и преобразования сигналов»/Под ред. Власова И.Б. – М.- Изд-во МГТУ, 2009. - 28 с.: ил. (электронная версия)
11. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / Гассанов Л.Г., Липатов А.А., Марков В.В. и др.; Под ред. Л.Г. Гассанова. - М.: Радио и связь, 1988. - 288 с.
12. Радиоприемные устройства / Н.В. Бобров, Г.В. Максимов, В.И. Мичурин и др.; Под ред. В.Н. Боброва. - М.: Сов. радио, 1971. - 496 с.